

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



**TESIS DE GRADO**

**EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS  
ORGÁNICOS URBANOS EN COMPOSTAJE BAJO DIFERENTES  
FRECUENCIAS DE OXIGENACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

**YESSENIA APAZA PALACIOS**

**La Paz- Bolivia**

**2022**

**Universidad Mayor De San Andrés**

**Facultad de agronomía**

**Ingeniería agronómica**

**EVALUACIÓN DE LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
URBANOS EN COMPOSTAJE BAJO DIFERENTES FRECUENCIAS DE  
OXIGENACIÓN EN LA CIUDAD DE LA PAZ**

*Tesis de grado presentado como requisito  
parcial para optar al título de  
Ingeniero agrónomo*

**Yessenia Apaza Palacios**

**ASESORES:**

Ph. D. Vladimir Orsag Cespedes \_\_\_\_\_

Ph. D. Roberto Miranda Casas \_\_\_\_\_

**TRIBUNAL REVISOR:**

Ing. Carlos Mena Herrera \_\_\_\_\_

Ing. Carlos López Blanco \_\_\_\_\_

Ing. Luis Humberto Ortuño Rojas \_\_\_\_\_

**APROBADA**

Presidente del tribunal revisor \_\_\_\_\_

## *Dedicatoria*

*Dedico el presente trabajo a Dios,  
pues sin el nada de esto sería posible.*

*Gracias por concederme el  
maravilloso regalo de la existencia.*

*A mis padres Julio y Angela, por todo  
el amor y sacrificio a lo largo de estos años,  
demostrando la nobleza de sus almas, mi  
más sincero afecto y profunda admiración.*

*A mis hermanos y sobrinos, gracias  
por tantos momentos compartidos, sin  
ustedes la vida no sería tan amena.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por todo lo que se precisó para realizar el presente trabajo de investigación desde las ideas abstractas hasta la materialización de los resultados.

A la Universidad mayor de San Andrés y en especial a la facultad de Agronomía, por mi formación profesional y ser parte de la travesía del continuo aprendizaje en el extraordinario mundo de la agricultura.

A mis asesores Ph. D. Vladimir Orsag y Ph. D. Roberto Miranda, por su tiempo y correcciones puntuales para lograr constituir el presente trabajo de investigación

A los miembros tribunal revisor Ing. Carlos Mena, Ing. Carlos López e Ing. Humberto Ortuño por las observaciones y reflexiones que permitieron mejorar la investigación.

A la fundación alternativas, por acogerme en sus instalaciones y permitirme compartir ese proyecto tan noble como es, la enseñanza de la agricultura urbana.

A mi familia, este trabajo también lleva plasmado su incondicional colaboración.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	i
SUMMARY .....	ii
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos .....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.1.3 Hipótesis.....	2
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 Residuos sólidos urbanos y su clasificación.....	3
a) Residuos inorgánicos.....	3
b) Residuos orgánicos.....	3
c) Residuos peligrosos.....	3
2.2 Los residuos sólidos en el contexto internacional y nacional .....	4
2.2.1 Contexto internacional .....	4
2.2.2 Contexto nacional de los residuos solidos.....	4
2.3 Composición de residuos sólidos en Bolivia.....	5
2.4 Disposición final de los residuos sólidos en Bolivia.....	5
2.5 Prevención y aprovechamiento de residuos solidos.....	6
2.6 Tratamiento de residuos orgánicos .....	7
2.7 Tratamiento de residuos orgánicos mediante compostaje .....	7
2.7.1 Compostaje.....	7
2.7.2 Reseña histórica del compostaje .....	8
2.7.3 Sistemas de compostaje.....	9

2.7.4	Características específicas del compostaje .....	10
2.7.5	Fases del compostaje .....	11
2.7.6	Factores que afectan el proceso de compostaje .....	12
2.7.6.1	Parámetros de seguimiento .....	12
2.7.6.2	Parámetros relacionados a la naturaleza del sustrato .....	15
2.7.7	Cosecha y tamizado del compost .....	17
2.8	Compost y parámetros de calidad .....	19
2.8.1	Parámetros químicos .....	19
2.8.2	Parámetros de madurez en compost .....	20
2.8.2.1	Fitotoxicidad .....	20
2.8.2.2	Viabilidad de semillas de maleza .....	20
2.8.3	Cromatografía .....	20
2.8.3.1	Interpretación de los análisis cromatográficos .....	21
2.9	Desventajas y beneficios del compostaje .....	23
2.9.1	Desventajas del compostaje .....	23
2.9.2	Beneficios del compostaje .....	23
2.9.2.1	Beneficios sociales-económico .....	23
2.9.2.2	Acondicionamiento del suelo .....	24
3	LOCALIZACIÓN. ....	26
4	MATERIALES Y MÉTODOS .....	28
4.1	Materiales .....	28
Materiales .....		28
Herramientas .....		28
Equipos .....		28

Materiales e insumos de laboratorio .....	28
4.2 Construcción de las unidades de compostaje .....	28
4.3 Recolección de residuos sólidos orgánicos urbanos .....	29
4.4 Preparación de los residuos para el compostaje .....	30
4.5 Modelo estadístico .....	31
4.6 Tratamientos .....	32
4.7 Diseño del experimento.....	32
4.7.1 Aireación en el proceso de compostaje .....	33
4.7.2 Cosecha y tamizado del compost .....	33
4.8 Control de variables .....	34
4.8.1 Contenido de materia orgánica (MO).....	35
4.8.2 Contenido de macronutrientes.....	35
4.8.3 Relación carbono/ nitrógeno C/N.....	36
4.8.4 Temperatura .....	36
4.8.5 Humedad y pH.....	36
4.8.6 Conductividad Eléctrica CE .....	37
4.8.7 Periodo de compostaje .....	38
4.8.8 Rendimiento.....	38
4.8.9 Prueba de fitotoxicidad en compost.....	38
4.8.10 Viabilidad de semillas de maleza.....	39
4.8.11 Cromatografía.....	40
4.9 Análisis económico.....	42
5 RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43
5.1 Monitoreo de los parámetros físico, químico y biológico .....	43

5.1.1	Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje .....	43
5.1.2	Evolución de la humedad en el proceso de compostaje.....	46
5.1.3	Evolución del pH en el proceso de compostaje .....	48
5.1.4	Evolución de la conductividad eléctrica (CE) en el proceso de compostaje 49	
5.1.5	Periodo de compostaje .....	51
5.2	Características del compost .....	53
5.2.1	Rendimiento.....	53
5.2.2	Propiedades químicas del compost.....	55
5.2.2.1	Contenido de materia orgánica .....	55
5.2.2.2	Contenido de nitrógeno.....	57
5.2.2.3	Contenido de fósforo.....	58
5.2.2.4	Contenido de potasio .....	61
5.2.2.5	Relación carbono/ nitrógeno (C/N).....	63
5.2.2.6	Valor de pH en compost.....	65
5.2.2.7	Valor de la Conductividad Eléctrica CE en el compost .....	66
5.2.3	Características biológicas del compost.....	69
5.2.3.1	Test de fitotoxicidad .....	69
5.2.3.2	Viabilidad de semillas.....	71
5.3	Cromatografía para evaluar la calidad del compost .....	74
5.3.1	Cromatografía tratamiento T1 .....	74
5.3.2	Cromatografía tratamiento T2.....	75
5.3.3	Cromatografía tratamiento T3.....	77
5.3.4	Cromatografía tratamiento T4.....	78
5.4	Análisis económico.....	80



5.4.1	Costos de materiales e insumos de laboratorio y equipos.....	80
5.4.2	Costos de implementación del proceso de compostaje.....	80
5.4.2.1	Costo de materia prima.....	81
5.4.2.2	Costos de mano de obra.....	81
5.5	Relación beneficio/ costo (B/C).....	82
6	CONCLUSIONES.....	85
7	RECOMENDACIONES.....	86
8	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	ANEXOS.....	98

## Índice de figuras

Figura 1. Composición de los residuos sólidos en Bolivia. Fuente: Ministerio de medio ambiente y agua (MMAyA, 2012).....	5
Figura 2 Colapso de relleno sanitario de Alpacoma La Paz. Fuente: MARKA REGISTRADA prensa escrita (Los tiempos, 2019).....	6
Figura 3. Fases del proceso de compostaje. Fuente: Barrón, 2013 .....	12
Figura 4. factores que influyen en el proceso de compostaje. Fuente: Álvarez de la Puente <i>sf.</i> .....	15
Figura 5 zonas que componen una cromatografía. Fuente Fundación Heifer Ecuador, .....	21
Figura 6. Agricultura urbana, huerto Laka uta. Fuente: Fundación Alternativas publicado por (La Razón, 2018) .....	24
Figura 7. Beneficios del compost. Fuente: (Vergara, <i>et al. sf.</i> ).....	25
Figura 8 Imagen georreferenciada del área del proyecto. Fuente: Google .....	27
Figura 9 Construcción de las composteras .....	29
Figura 10 Recolección de residuos orgánicos de los mercados.....	30
Figura 11 Preparación de los residuos orgánicos urbanos a compostar .....	31
Figura 12 Croquis del trabajo de investigación.....	32
Figura 13 Aportación de oxígeno (volteos manuales) .....	33
Figura 14 Tamizado del compost. ....	34
Figura 15 Muestras para análisis en laboratorios IBTEN .....	35
Figura 16. Equipos de medición de temperatura, humedad y pH.....	37
Figura 17. Materiales y equipo para medir la CE .....	37
Figura 18 Semillas de rábano en cámara de germinación .....	38
Figura 19 Registro número de semillas germinadas y elongación radicular.....	39

Figura 20. Prueba de viabilidad de semillas .....	40
Figura 21 Materiales, insumos y equipo, para el proceso de cromatografía .....	41
Figura 22. Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje .....	43
Figura 23. Evolución de la humedad en el proceso de compostaje. ....	46
Figura 24 Evolución del pH en el proceso de compostaje.....	48
Figura 25. Evolución de la CE en el proceso de compostaje .....	49
Figura 26. Periodo de compostaje.....	51
Figura 27. Rendimiento en peso (kg) de compost.....	53
Figura 28 rendimiento (%) de compost.....	53
Figura 29 Índice de germinación .....	69
Figura 30 Viabilidad: semillas de maleza .....	71
Figura 31. Quinuilla ( <i>Chenopodium álbum</i> L.). Fuente: propia de la investigación. 73	
Figura 32 Cromatografía del tratamiento T1.....	74
Figura 33 Cromatografía de compost Tratamiento T2.....	75
Figura 34 cromatografía de compost tratamiento T3.....	77
Figura 35 Cromatografía de compost, tratamiento T4.....	78

## **Índice de tablas**

Tabla 1 Materiales, herramientas y equipos.....	28
Tabla 2 Variables analizadas en la investigación .....	34
Tabla 3 Métodos de análisis de macronutrientes .....	36
Tabla 4 Número de volteos manuales en el periodo de compostaje .....	51
Tabla 5 Contenido inicial y final de materia orgánica en el proceso de compostaje..	56
Tabla 6 Análisis estadístico del contenido de materia orgánica en compost.....	56
Tabla 7 Contenido inicial y final de nitrógeno en el proceso de compostaje .....	58

Tabla 8	Análisis estadístico del contenido de nitrógeno en compost .....	58
Tabla 9	Contenido inicial y final de fosforo en el proceso de compostaje .....	60
Tabla 10	análisis estadístico del contenido de fosforo en compost.....	60
Tabla 11	Prueba de medias Tukey para el contenido de fosforo .....	61
Tabla 12	Contenido inicial y final de potasio en proceso de compostaje .....	62
Tabla 13	Análisis estadístico del contenido de potasio en compost.....	62
Tabla 14	Contenido inicial y final de la relación C/N en el proceso de compostaje ..	64
Tabla 15	Análisis estadístico del contenido de la relación C/N .....	64
Tabla 16	pH inicial y final en compost en el proceso de compostaje .....	66
Tabla 17	Análisis estadístico de los valores de pH en compost.....	66
Tabla 18	Conductividad Eléctrica CE inicial y final en proceso de compostaje .....	68
Tabla 19	Análisis estadístico de la CE en compost.....	68
Tabla 20	Comparación de medias prueba Tukey para CE.....	69
Tabla 21	Costos de materiales, insumos y equipo .....	80
Tabla 22	Costos de materiales de implementación del proceso de compostaje .....	81
Tabla 23	Costo materia prima .....	81
Tabla 24	Costos de mano de obra .....	82
Tabla 25	Costos generales del proceso de compostaje .....	82
Tabla 26	Beneficios en base a rendimiento (kg) e compost.....	82
Tabla 27	Relación beneficio costo B/C.....	83

## RESUMEN

La disposición final de los residuos sólidos orgánicos urbanos en rellenos sanitarios son una problemática ambiental, debido a la contaminación que generan. El compostaje es la forma más eficiente de convertir estos en abono de calidad para la agricultura.

El presente estudio se realizó en la ciudad de La Paz, se evaluó la biodegradación de residuos orgánicos urbanos compuesto de restos de frutas y hortalizas, en compostaje bajo diferentes frecuencias de oxigenación mediante volteos manuales para reducir el tiempo en la obtención de compost.

El método de análisis estadístico aplicado fue de bloques completamente al azar con tres repeticiones. Los tratamientos según frecuencia de oxigenación fueron cuatro: T1 (5 días), T2 (10 días), T (15 días) y T4 (20 días) respectivamente.

Las variables registradas en el proceso de compostaje fueron las siguientes: pH Conductividad eléctrica CE, temperatura y humedad.

Las variables analizadas en compost fueron las siguientes: periodo de compostaje comprendió de 50, 85, 127,148 días para los tratamientos 1,2,3 y 4 respectivamente. El rendimiento de residuos orgánicos procesados oscilo entre 21 a 32%. Propiedades químicas: Materia orgánica 15,92 a 21,02%. nitrógeno 1 a 1,53%, fosforo 0,11 a 0,21%, potasio 0,92 a 1,3%. pH 8,3 a 8,4, CE 2,7 a 5,8 dS/m y relación C/N 6,75 a 10,22%.

Mediante las pruebas biológicas se determinó que, el compost no es vector de maleza y que solo el tratamiento T1 presento una fitotoxicidad moderada.

La cromatografía, indica que el compost de los tratamientos T2 y T3 son adecuados para ser aplicados como abonos, en cambio el compost de los tratamientos T1 y T4 deben ser empleados con antelación al cultivo o como cobertura de suelo.

Según el análisis económico la relación beneficio/costo (Bs) fue de: 2,09 a 2,85 lo cual indica que todos los tratamientos son rentables.

## SUMMARY

The final disposal of urban organic solid waste in landfills is an environmental problem, due to the pollution they generate. Composting is the most efficient way to convert these into quality fertilizer for agriculture.

The present study was carried out in the city of La Paz, the biodegradation of urban organic waste composed of fruit and vegetable remains was evaluated, in composting under different frequencies of oxygenation by manual turning to reduce the time in obtaining compost.

The statistical analysis method applied was completely randomized blocks with three repetitions. The treatments according to oxygenation frequency were four: T1 (every 5 days), T2 (10 days), T (15 days) and T4 (20 days) respectively.

The variables recorded in the composting process were the following: pH Electrical conductivity EC, temperature and humidity.

The variables analyzed in compost were the following: composting period comprised of 50, 85, 127, 148 days for treatments 1, 2, 3 and 4 respectively. The yield of processed 21.02%. nitrogen 1 to 1.53%, phosphorus 0.11 to 0.21%, potassium 0.92 to 1.3%. pH 8.3 to 8.4, CE 2.7 to 5.8 dS/m and C/N ratio 6.75 to 10.22%.

Through biological tests, it was determined that the compost is not a weed vector and that only the T1 treatment presented moderate phytotoxicity.

Chromatography indicates that the compost from treatments T2 and T3 are suitable to be applied as fertilizers, while the compost from treatments T1 and T4 should be used before cultivation or as soil cover.

According to the economic analysis, the benefit/cost ratio (Bs) was: 2.09 to 2.85, which indicates that all treatments are profitable.

# 1 INTRODUCCIÓN

Los residuos orgánicos producidos en las ciudades son recursos perdidos y agentes contaminantes al ser dispuestos en rellenos sanitarios juntamente con otro tipo de residuos. El 72% de los residuos sólidos urbanos son recursos reutilizables la fracción orgánica representa más del 50%.

El compostaje es una biotecnología simple y de bajo costo económico, para el tratamiento de residuos orgánicos basado en la actividad microbiológica realizada en condiciones de oxigenación, que pasa por una etapa de alta temperatura con la que se obtiene un producto utilizado como abono denominado compost.

El factor más importante en el compostaje es el nivel de oxígeno disponible para los organismos descomponedores, sobre todo cuando el material orgánico tiene un alto contenido de humedad, como es el caso de los residuos orgánicos urbanos. La remoción permite una mejor degradación al provisionar el oxígeno y homogenizar la mezcla de residuos.

El compost como aporte de materia orgánica al suelo, se caracteriza por la complejidad de su composición y lenta liberación de nutrientes, evitando pérdidas y toxicidad en plantas y agua, con la capacidad de acumularse en el suelo mejorando su calidad fisicoquímica a largo plazo, favoreciendo el crecimiento microbiano restableciendo el sistema suelo planta.

Una ventaja marcada del compost en la agricultura es la reducción del empleo de agrotóxicos en los sistemas de producción.

Actualmente existen normas internacionales para establecer el grado de madurez del compost, según parámetros químicos físicos y biológicos, que permiten determinar el uso agronómico más adecuado. Los compost maduros son utilizados como sustrato o abono, cuando el material orgánico es inmaduro se aplica como cobertura al suelo "mulch" que inhibe el crecimiento de maleza.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar la biodegradación de residuos orgánicos urbanos en compostaje bajo diferentes frecuencias de oxigenación en la ciudad de La Paz.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- ✓ Monitorear los parámetros físicos y químicos en el proceso de compostaje.
- ✓ Efectuar la caracterización del compost mediante métodos físicos químicos y biológicos.
- ✓ Evaluar la cromatografía del compost para determinar su calidad agronómica.
- ✓ Realizar un análisis económico del proceso y obtención del compost.

### **1.1.3 Hipótesis**

**H<sub>1</sub>** El proceso de compostaje si muestra diferencias significativas en la biodegradación de residuos orgánicos urbanos a diferentes frecuencias de oxigenación.



## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Residuos sólidos urbanos y su clasificación

Los residuos sólidos urbanos (RSU) conocidos comúnmente como “basura,” se generan en las ciudades producto de la actividad doméstica, comercial y de servicios, también proceden de mercados, limpieza de calles, parques y jardines. La generación de (RSU) tiene una triple repercusión medioambiental: contaminación, desperdicio de recursos y necesidad de espacios para su disposición final. (Barradas, 2009)

#### **Clasificación de residuos solidos**

- a) **Residuos inorgánicos** Incluye todos aquellos residuos de origen mineral y compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales plásticos, vidrios, etc. (Sztern & Pravia, 2001)
  
- b) **Residuos orgánicos** Se refiere a todos ellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el ciclo vital, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento o perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de recursos bióticos. (Sztern & Pravia, 2001)
  
- c) **Residuos peligrosos** quedan definidos por una o más de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad inflamabilidad y bilógico infeccioso. Por sus características físicas químicas o biológicas pueden o no ser acoplados a procesos de recuperación o transformación y en casos extremos tratarse para su incineración o confinamiento controlado. (Barradas, 2009)

## **2.2 Los residuos sólidos en el contexto internacional y nacional**

### **2.2.1 Contexto internacional**

A nivel mundial el tema de la disposición de basura urbana es sumamente relevante, existen países desarrollados principalmente en Europa donde se está impulsando la reducción a cero de sus residuos mediante el reciclaje, reúso y conversión térmica, mientras en otros países donde hay una mayor disponibilidad espacio, se sigue confinando la basura a rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto. (Romo, 2015)

En los países de libre comercio de las Américas (ALCA), pese a que la materia orgánica representa un alto porcentaje de los residuos sólidos, las prácticas de compostaje no se encuentran proporcionalmente desarrolladas. En general, la falta de guías para la aplicación de tecnologías y de estándares de calidad para el producto final son poco favorables para su avance. (Sepúlveda y Alvarado, 2013)

### **2.2.2 Contexto nacional de los residuos solidos**

El instituto nacional de estadística (INE, 2017), dio a conocer que la recolección de residuos sólidos en las ciudades capitales de los nueve departamentos del país y El Alto llego a 1.426, 988t el 2016, registrando en una década el incremento de 576.257t, según datos obtenidos de los registros administrativos de las empresas municipales de aseo urbano.

La mayor cantidad de residuos sólidos provienen de los domicilios con 1.185.712 t, seguidos de los mercados con 139.799 t, industria y mataderos con 61, 312 t, áreas públicas con 28,854 t y hospitales con 11,311 t. Instituto nacional de estadística (INE. 2017)

En Bolivia se acumula poco más de 6 mil toneladas de basura por día, de las cuales 87 % se genera a nivel urbano y el restante 13 % es de áreas rurales, según datos diagnósticos del ministerio de Medio ambiente. (León, 2019)

### 2.3 Composición de residuos sólidos en Bolivia

Ministerio de medio ambiente y agua (MMAyA, 2012), indica que los residuos sólidos generados a nivel nacional, la fracción orgánica representa el 55%, la fracción reciclable (papel, plástico y vidrio) el 22,1%, y el 22,7% se considera como residuos no aprovechables. Información más detallada se puede apreciar en la figura 1.

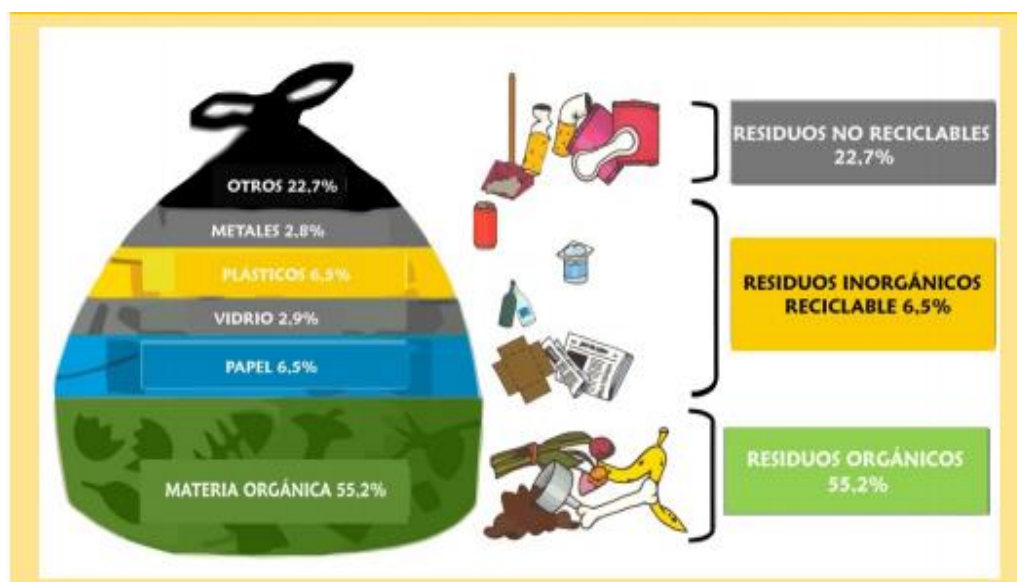


Figura 1. Composición de los residuos sólidos en Bolivia. Fuente: Ministerio de medio ambiente y agua (MMAyA, 2012)

### 2.4 Disposición final de los residuos sólidos en Bolivia

En Bolivia tenemos 339 municipios, la gran mayoría no cuenta con una disposición adecuada de residuos sólidos. Contamos con 11 municipios con rellenos sanitarios en toda la norma, 14 municipios con botaderos controlados y el resto algo así de 314 municipios han estado utilizando botaderos a cielo abierto, que son lugares de disposición de basura sin ningún tipo de tratamiento. (León, 2019)

El primer complejo de residuos sólidos del país se encuentra en el municipio de Riberalta Beni, para el tratamiento y disposición de basura. Ese proyecto consta de una planta de tratamiento de lixiviados con laboratorio, planta de compostaje con

equipamiento, enfiadora y compactadora para la planta de reciclaje, una macro celda de disposición final de residuos sólidos domiciliarios. (Guzmán, 2019)

En la ciudad de La Paz se recupera aproximadamente 13 t /mes de residuos sólidos orgánicos (RSO) de mercados equivalente a 0,5 t / día. Esto supone el 0,1 % del total de residuos generados y del 0,2 % del total de RSO generados. Adicionalmente recolectan restos de poda equivalentes en promedio a 4,55 t / día y 1,2 t /día de rumen y viseras del matadero, para su transformación en abonos orgánicos. División general de gestión integral de residuos sólidos. (DGGIRS, *sf.*).

En la ciudad de La Paz la mayoría de los residuos sólidos son confinados a un relleno sanitario, que colapso a principios del año 2019, tal como se aprecia en la figura 2.



Figura 2 Colapso de relleno sanitario de Alpacoma La Paz. Fuente: MARKA REGISTRADA prensa (Los tiempos, 2019)

## 2.5 Prevención y aprovechamiento de residuos sólidos

Dentro del proceso de jerarquización en la gestión de residuos sólidos, el primer paso, debe de ser la prevención de la generación, esto, podría lograrse en base a un cambio en los hábitos de consumo promoviendo el uso de productos sin envases o con envases reciclables y a la implementación de políticas de producción más limpias y

planes de manejo de residuos sólidos en el sector industrial. división general de gestión integral de residuos sólidos (DGGIRS. Sf).

El aprovechamiento de residuos sólidos es el conjunto de acciones que permite la reutilización de estos o la reincorporación al ciclo productivo de los diferentes recursos presentes en los mismos, para generar beneficios al medio ambiente y a la economía del país, mediante el compostaje, reciclaje o aprovechamiento energético. Gestión integral de residuos sólidos en el estado plurinacional de Bolivia (Ley 755, 2015)

## **2.6 Tratamiento de residuos orgánicos**

La selección de la técnica de tratamiento biológico como medio para procesar los residuos urbanos deberá estar justificado desde el punto de vista económico, agrario, sanitario. (Cuadros, 2008)

El tratamiento biológico se considera una de las estrategias más apropiadas para la gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos (RSU). En la gestión actual de los (RSU) se encuentran: el compostaje, la digestión anaerobia, el tratamiento mecánico biológico o el bisechado térmico, que se relacionan con aspectos claves de la ingeniería ambiental como son la optimización de la recogida selectiva o la reducción de problemas en los diferentes procesos. (Barrena, 2006)

Los residuos orgánicos requieren de un proceso de separación en origen, son susceptibles a ser transformados mediante procesos naturales (biológicos aeróbicos) y convertidos en compost que es utilizado en la agricultura orgánica como acondicionador de suelo o fertilizante. Norma chilena de compostaje (NCh 2880, 2004)

## **2.7 Tratamiento de residuos orgánicos mediante compostaje**

### **2.7.1 Compostaje**

El compostaje es un proceso que tiene lugar en presencia de oxígeno en la que se da una sucesión de condiciones diferentes, debido a la actividad combinada de una amplia gama de bacterias y hongos que llevan a cabo la oxidación de materia orgánica,

con la consiguiente producción de calor, que eleva la temperatura de la masa y de sustancias útiles para la vida de las plantas. (Yazàn, 2013)

El compostaje puede definirse como un proceso biológico aeróbico controlado, en el que intervienen numerosos microorganismos quienes alteran la estructura molecular de los compuestos orgánicos, que incluye un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido, que evoluciona pasando a diferentes fases las cuales ocasiona cambios de temperatura y pH durante el proceso, dando lugar a la producción de materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos. Penagos (citado por Acosta y Peralta, 2015)

El compostaje puede ser considerado una biotecnología ya que supone una explotación industrial del potencial de los microorganismos que permite retornar al suelo la MO (materia orgánica) y los nutrientes vegetales, introduciéndolos de nuevo en los ciclos biológicos. (Soliva, *sf.*)

### **2.7.2 Reseña histórica del compostaje**

Existen evidencias de que romanos, griegos y las tribus de Israel conocían el compost; la Biblia y el Talmud contienen numerosas referencias sobre el uso de estiércol transformado, así como también se encuentran en escritos árabes de los siglos X-XIII y en textos medievales de la iglesia o en la literatura del renacimiento. (Varona, 2012)

El proceso de degradación biológica de residuos orgánicos está documentado desde el siglo I, desde entonces los agricultores han seguido esta práctica (degradación natural) utilizando el producto resultante como abono, el cual no siempre conservaba su potencial productivo debido a la falta de control en su proceso. Actualmente, el control tanto del proceso de producción (compostaje) como el producto final (compost) es necesario para asegurar una óptima calidad y mínimo costo. (Bueno, *et. al. Sf.*)

En la edad media, el incremento de la población y la aparición de las ciudades rompe el ciclo natural y en estas se acumula los detritos, que eran aprovechados por los agricultores próximos para fertilizar sus cultivos ante la falta de estiércol. Se estima

que en 1830 los agricultores reciclaban la mitad de los residuos producidos en la ciudad de París y de ello se puede hallar referencias en obras de Víctor Hugo o Zola en sus obras: “Miserables 1862” y “Le ventre de Paris, 1873”. (Varona, 2012)

Durante el siglo pasado diversas escuelas agronómicas pusieron a punto la técnica de producir el humus denominando al producto final compost, este término procede del latín y significa “poner juntos”. (Álvarez de la Puente, *sf.*)

La técnica del “método Indore” de compostaje que se encuentra difundido universalmente nació de las experiencias realizadas por el inglés Albert Howard desde 1905 hasta 1947. Su éxito fue fruto de la combinación de los conocimientos científicos existentes con los tradicionales de los campesinos el método, consistía en la mezcla de desechos vegetales y excrementos animales periódicamente humedecidos. (Álvarez de la Puente, *sf.*)

Posteriormente fue Ehrenfried Pfeiffer quien inicio la producción industrial de grandes cantidades de compost en los años 50. Para conseguir descomponer los diversos materiales preparo un iniciador, conocido como “starter” después de largas investigaciones en microbiología puso a punto estaciones de compostaje de RSU con maquinaria en varias ciudades de Estados Unidos, Europa, Japón, Taiwán, estas experiencias fueron recopiladas en su libro publicado en 1957. (Sesma, *sf.*)

El proyecto “compostaje alto andino” se inicia el año 1999 en comunidades aymaras originarias del Municipio de Tiahuanaco del altiplano boliviano, ubicadas en altitudes mayores a los 3800 m.s.n.m. ensayándose una modalidad de compostaje similar al método clásico Indore, se continuo con la investigación científica del compost, en diferentes comunidades de campesinas de Bolivia (Chilón, y Chilón, 2015).

### **2.7.3 Sistemas de compostaje**

No se ha de plantear el compostaje simplemente como un sistema de tratamiento de residuos sino como un proceso industrial que debe llevarse a cabo con todos los controles necesarios, con preocupación del producto final. (Soliva, *sf.*)

Los diferentes sistemas de compostaje de residuos pretenden conseguir en todos los casos una aireación óptima y llegar a las temperaturas termófilas, pero difieren en el grado que consiguen sus objetivos. (Solans, 2001)

Los sistemas de compostaje se pueden clasificar en dos grupos:

- a) **Sistemas abiertos.** Es el sistema más generalizado. Se basa en la realización de pilas que adoptan forma triangular con una altura recomendada de 2,7 metros y si una limitación en cuanto a su longitud, con diferentes sistemas de aireación.
- b) **Sistemas cerrados.** Se basan en la utilización de un reactor o digestor, los principales sistemas de compostaje cerrado son: en tambor, en túnel, en contenedor y en nave. Son sistemas que tienen altos costos de instalación, pero presentan la ventaja de permitir un control total de las condiciones necesarias, son más rápidos y requieren menos espacio. El composte resultante no siempre alcanza una adecuada madurez.

#### **2.7.4 Características específicas del compostaje**

Durante el compostaje se producen de forma simultánea dos procesos interdependientes, la descomposición y la estabilización o humificación: En la descomposición la materia orgánica se degrada en moléculas orgánicas e inorgánicas más sencillas, el proceso de estabilización radica en la formación de las macromoléculas generadas durante la descomposición, Cada uno de estos procesos se llevará a cabo en distintas etapas del compostaje. (Vico, 2001)

El proceso de degradación aeróbico en estado sólido es un sistema trifásico: sólido, líquido y gaseoso. (Barrena, 2006)

- La fase sólida está representada por la partícula, constituida tanto por la fracción orgánica como por la fracción inorgánica.



- La partícula interacciona con la fase acuosa que esta adherida a su superficie formando una biopelícula con los microorganismos donde tiene lugar todos los procesos biológicos
- El estrato anterior interacciona directamente con la fase gaseosa con la cual intercambia los gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>).

### 2.7.5 Fases del compostaje

Durante este proceso se suceden una serie de etapas caracterizadas por la actividad de distintos organismos, existiendo una estrecha relación entre la temperatura, el pH y el tipo de microorganismos que funciona en cada fase. (Álvarez de la Puente, *sf.*)

Se describe seguidamente:

- Preparación.** - Se condicionan y mezclan los materiales para regular su contenido en agua, el tamaño de la partícula, eliminar los elementos no transformables y ajustar nutrientes para lograr una relación adecuada C/N.
- Descomposición mesófila.** - ( $\leq 40$  °C) Se produce una degradación de azúcares y aminoácidos por la acción de grupos de bacterias.
- Descomposición termófila.** - (40 - 60 °C) Se degradan ceras polímeros y hemicelulosa por hongos del grupo de los actinomicetos (*microspora*, *Streptomyces* y *actinomices*).
- Descomposición mesófila de enfriamiento.** - ( $\leq 40$  °C) Se realiza la degradación de las celulosas y ligninas por bacterias y hongos (*Aspergillus* y *mucor*).
- Maduración.** - Se estabiliza y polimeriza el humus a temperatura ambiente, descende el consumo de oxígeno y desaparece la fitotoxicidad.

f) **Afino.** - se mejora la granulometría, se regula la humedad, se elimina el material no transformado, se realiza análisis, controles de calidad y en su caso el envasado y etiquetado.

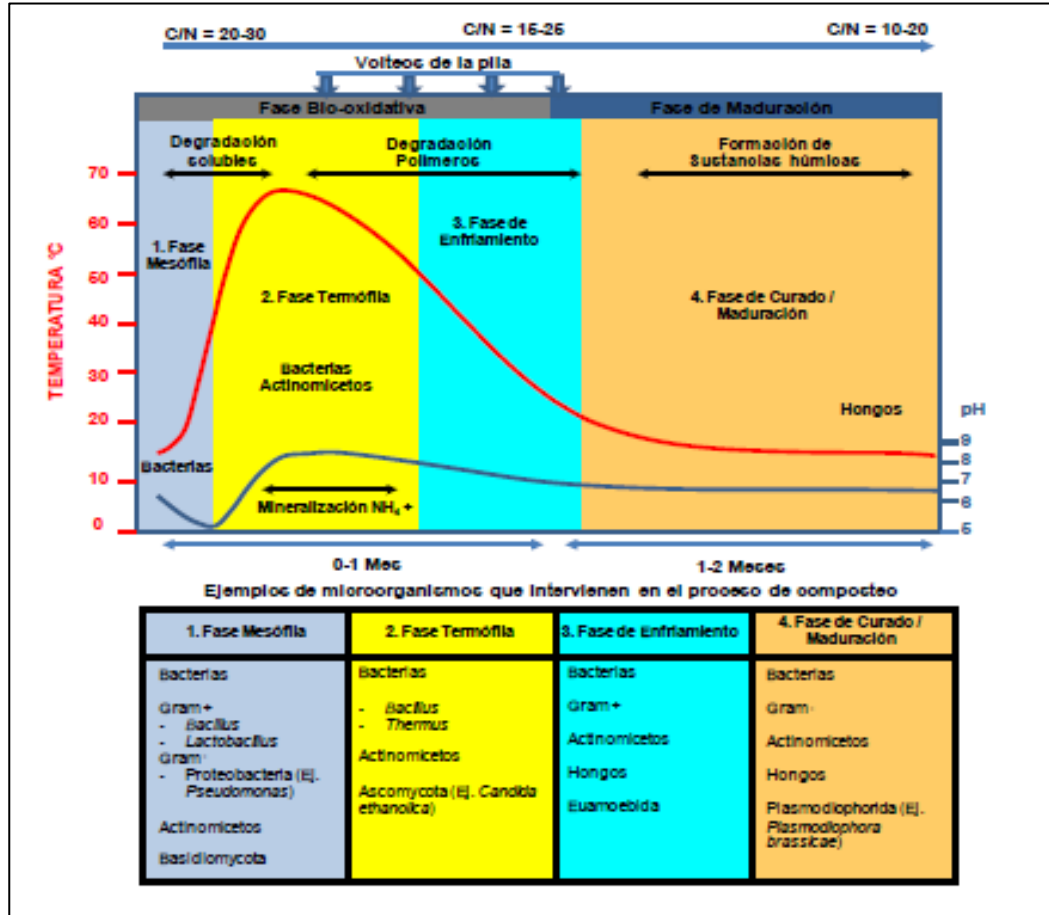


Figura 3. Fases del proceso de compostaje. Fuente: Barrón, 2013

## 2.7.6 Factores que afectan el proceso de compostaje

### 2.7.6.1 Parámetros de seguimiento

#### a) Temperatura.

La evolución de la temperatura es considerada un indicador de la actividad metabólica de las poblaciones de microorganismos involucrados en el proceso, por lo que es indispensable su medición. Durante el transcurso de la descomposición de los residuos

se manifiestan tres fases identificadas por la temperatura promedio de las pilas: (Vergara, *et al. sf*).

**Fase mesófila:** Esta comprendida entre los 20 °C- 45 °C y se da al inicio del proceso, lo cual puede durar un par de días.

**Fase termófila:** Entre los 45 °C a 70 °C es la fase siguiente a la mesófila la cual puede durar varios días o semanas.

**Fase de enfriamiento (mesófila):** Inferior a 45 °C, esta disminución es la primera evidencia del agotamiento del sustrato como alimento de los organismos descomponedores, por lo tanto, determina el momento de la finalización el proceso ya que no cambia (en un producto debidamente estabilizado) aunque se ajuste el contenido de humedad, puede tomar varios meses.

## **b) Humedad**

El contenido de humedad del material a compostar es de gran importancia gracias a que, los microorganismos realizan la biodegradación sintetizando las moléculas orgánicas disueltas en el agua y utilizan este medio como transporte para las colonias (Ramírez, 2013).

Los niveles de humedad óptimos están entre el 50% a 60% para mezclas de compost. Es necesario el control de esta variable ya que un exceso de humedad puede conducir a una condición anaeróbica y generar malos olores, por el contrario, bajar el nivel de humedad de 35% a 40% y la humedad reduce la tasa de descomposición y bajo el 30%, está prácticamente nula. (Álvarez de la Puente, *sf*.)

Por otra parte, un exceso de humedad conduce a la fracción líquida de la composta, de color negro característico, que se produce directamente de las pilas de compostaje, contiene nutrientes y microorganismo por lo que ha sido considerada tradicionalmente como fertilizante líquido orgánico. Actualmente este material está siendo utilizado para

el control de plagas y enfermedades ya que posee una gran abundancia de microorganismos beneficiosos. Littrick , *et al* (citado por Barrón, 2013)

### **c) pH (coeficiente de acidez o basicidad)**

El pH influye en el proceso de compostaje a causa de su acción sobre los microorganismos. En general los hongos toleran un amplio margen de pH, que va desde 5 hasta 8, mientras que el margen para las bacterias oscila entre 6 y 7,5, el pH inicial del proceso dependerá del tipo de residuos a compostar y generalmente a lo largo del proceso se manifiesta una progresiva alcalinización del medio. (Solans, 2001)

Además de condicionar la vida microbiana el pH es indicador de la evolución del proceso. Así al inicio, el pH puede disminuir debido a la formación de ácidos libres, pero a lo largo del proceso aumenta por el amoníaco desprendido en la descomposición de proteínas. Soliva (citado por Barrena, 2006)

### **d) Conductividad Eléctrica CE**

la CE tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma. (Bueno., *sf.*)

### **e) Aireación**

La provisión de oxígeno se puede producir por diferentes sistemas de aireación, los más comunes se producen de forma natural por ventilación pasiva cuando la mezcla tiene una porosidad y una estructura que favorece el intercambio gaseoso. (Rivera, 2009)

La oxigenación también puede inducirse a través de volteos manuales o mecánicos, donde se favorece la homogenización del material, y la distribución de los

microorganismos y la exposición a nuevas superficies para facilitar la degradación de la materia orgánica. (Riera, 2009)

Por otra parte, aunque se disponga de un buen sistema de aireación forzada, el volteo (manual o mecánico) no debería eliminarse debido a los beneficios anteriormente descrito (Riera N. 2009)

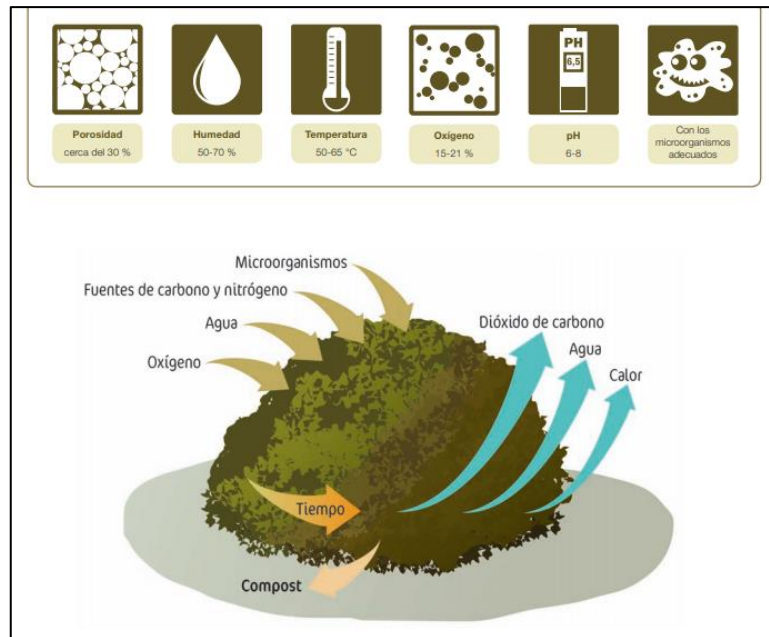


Figura 4. factores que influyen en el proceso de compostaje. Fuente: Álvarez de la Puente *sf*.

## 2.7.6.2 Parámetros relacionados a la naturaleza del sustrato

### a) Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula está estrechamente relacionado con la actividad microbiana, esta actividad se realiza en principio sobre la superficie de las partículas, a mayor superficie mayor actividad biológica y más rápida descomposición. No hay que olvidar que el tamaño de partícula también afecta a la porosidad y un producto demasiado fino impediría que la masa se aérea correctamente. (Chávez, 2015)

El material para iniciar el proceso de compostaje debe de ser triturado para conseguir un tamaño de partícula susceptible al ataque microbiano, ya que una de las principales

características de los residuos sólidos urbanos es su heterogeneidad; valores entre 1 a 4 cm son los recomendados. (Vergara, *et al. sf*)

#### **b) Relación Carbono / Nitrógeno C/N**

La descomposición de la materia orgánica es realizada por organismos vivos heterótrofos, que utilizan el carbono como fuente de energía y el nitrógeno como elemento reconstituyente de la sustancia celular. La cantidad de carbono necesaria es considerablemente superior a la del nitrógeno (Pérez, 2008)

Al inicio del proceso de compostaje, la relación adecuada debe estar entre 25-35: 1, cuando la relación de C/N es mayor 40: 1, el proceso se alarga debido a la carencia de nitrógeno, si la relación es muy baja se produce perdidas de nitrógeno en forma amoniacal debido al registro de altas temperaturas. La relación C/N va descendiendo durante el proceso, hasta llegar valores cercanos entre 10-15: 1. Jiménez (citado por Tituaña, 2009)

#### **c) Composición química de los nutrientes**

El nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Azufre (S), Hierro (Fe), Calcio (Ca), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Cobalto (Co) y Molibdeno (Mo) constituyen la estructura protoplasmática de las células microbianas, estos elementos junto con C, H y O son esenciales para la producción de biomasa y se hallan en diferentes concentraciones en la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. (Barrón, 2013)

#### **d) Biología del proceso de compostaje**

Las especies de hongos más comunes encontradas en la materia orgánica a compostar son de los géneros: *aspergillus*, *penicillum*, *fusarium* y *trichoderma*. Los *basidiomicetes* juegan un papel importante, en la degradación de la lignina. Atlas y Bartha (citado por Escobar, *et al. sf.*)

Las poblaciones de bacterias, identificadas en compostaje de residuos orgánicos solidos municipales son: aerobias gram-negativas del género, *pseudomonas*,

*azotobacter*, *azospirillum* y aerobias gram-positivas el género *Micrococcus* y formadoras de esporas como *Bacillus*. Rebolledo *et al.* (citado por Escobar, *et al. sf.*)

Las bacterias son responsables de la mayor parte de la descomposición inicial y la generación de calor durante el proceso de compostaje, siempre que se cumpla los principales requisitos de crecimiento; humedad, pH y aireación. Ryckeboer *et al.* (citado por Comesaña, 2017)

Los *actinomicetes* identificados en el compostaje corresponden a dos géneros: *Nocardia* y *Streptomyces*. El principal género del grupo es *Streptomyces*, cuyas especies suelen generar antibióticos producen un olor característico a tierra mojada, debido a la emisión de compuestos volátiles. (Prescott, 2002)

La participación de los *actinomicetes* durante el proceso de modificación de la materia orgánica del compost es relevante, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina, etc.). (Lainch, 2012)

Macroorganismos como rotíferos nemátodos, otros artrópodos (ácaros, colémbolos o hexápodos, cochinillas, escarabajos), reducen el tamaño de los residuos orgánicos y aumenta la superficie de contacto haciendo más fácil el ataque microbiano, además estos macroorganismos se mueven dentro de la pila permitiendo la entrada del aire entre el material. (Barrón, 2013)

### **2.7.7 Cosecha y tamizado del compost**

#### **Parámetros de estabilidad sensorial**

Algunos de estos criterios son aplicados comúnmente, pero solo dan una idea aproximada del grado de estabilidad del compost por lo que han de considerarse meramente orientativos. (Iglesias, *sf.*)

- a) **Temperatura.** – Este parámetro es un buen indicador de la fase oxidativa en la cual el compost ha adquirido cierta madurez ya que la curva de temperatura no varía con el volteo del material. Sin embargo, no implica necesariamente

estabilidad biológica del material con frecuencia ocurre una inactivación térmica de los microorganismos cuando se sobrepasa los 70 °C aproximadamente.

- b) **Olor.** – El olor característico de algunos residuos orgánicos al inicio del compostaje se debe mayoritariamente a la presencia de ácidos orgánicos de bajo peso molecular (acético propiónico, butírico, valerico y caproico) y compuestos azufrados, en la fase termófila se produce piridina y piracina.

El olor desagradable desaparece con la madurez del producto, ha de presentar un olor característico similar al de “tierra húmeda”, producido fundamentalmente por la excreción de geosmina y también 2-metilsoborneol, metabolito secundario producido por actinomicetos mesófilos.

- c) **Color.** - Durante el compostaje de los residuos orgánicos tiene lugar un proceso gradual y oscurecimiento del material como consecuencia de la rápida “humificación” de la materia orgánica.

Sin embargo, el producto final después de un adecuado periodo de maduración ha de presentar un color pardo oscuro o casi negro, debido a la formación de grupos cromóforos, fundamentalmente de dobles enlaces conjugados y a la síntesis de melanoidinas.

El compost destinado a uso agrícola debe ser tamizado en malla de 1 cm x 1 cm, para evitar inconvenientes es fundamental que presente un contenido en humedad inferior al 20%. El material grueso que no pasa a través del tamiz en su mayoría es material lignocelulosa (madera) vuelve a una nueva pila de compostaje para cumplir una doble función, seguir descomponiéndose y servir como inoculante de bacterias compostadoras (Rastangno, 2015)

El proceso de la cosecha es una de los más importantes, porque al separar el abono obtenido y los restos de materia no descompuesta permite evaluar la productividad alcanzada. (Cajahuanca, 2016)



## **2.8 Compost y parámetros de calidad**

Es un abono orgánico de una humificación intermedia resultante de la descomposición y transformación biológica aeróbica, de los residuos orgánicos de origen vegetal (rastros de cosechas y malezas) y/o residuos de origen animal (estiércol), con la aplicación de cenizas y un manejo apropiado de la humedad y la aireación, para facilitar el trabajo de los microorganismos. (Chilón y Chilón, 2001)

El compost es rico en nutrientes, vitaminas, hormonas y sustancias mucilaginosas que son asimilados paulatinamente por las plantas, lo que garantiza buenas cosechas, y el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. (Chilón y Chilón, 2001)

### **Parámetros de calidad del compost**

En determinados sectores suele darse el caso de utilizarse como sinónimos palabras que aun teniendo mucho en común son sustancialmente diferentes: por ello, en primer lugar, sería interesante diferenciar entre distintos conceptos como son la estabilidad biológica, evolución de la materia orgánica y madurez. (Pérez, 2008)

Estabilidad biológica se puede definir en el estado en que la materia orgánica contenida en la biomasa se conserva en condiciones óptimas, mostrando una baja actividad microbiológica, se trata de un término técnico fundamental para dar por terminado el proceso de compostaje. En cuanto a la madurez, es un término más utilizado en el campo de la agronomía y se relaciona directamente con el grado de toxicidad del material aplicado en el campo. (Pérez M. 2008)

#### **2.8.1 Parámetros químicos**

Los criterios de aptitud del compost, como abono orgánico según la organización mundial de la salud (OMS), es un contenido de humedad del 30 a 50 %, pH de 6 a 9, tamaño de partículas entre 0,2 a 1 cm, materia orgánica de 25 a 50%, carbono de 8 a 50%, nitrógeno entre 0,4 a 3,5%, fósforo de 0,3 a 3,5%, potasio de 0,5 a 1,8%, como criterios generales de calidad. (Rafael, 2015)

## **2.8.2 Parámetros de madurez en compost**

### **2.8.2.1 Fitotoxicidad**

La madurez de un compost se puede establecer mediante bioensayos de germinación con especies sensibles a metabolitos fitotóxicos. Estas sustancias deberían ser metabolizadas durante la fase de maduración del compostaje, generando un material estabilizado biológicamente y con una baja o nula fitotoxicidad. (Vanero *et al.* 2007)

La selección de cepas microbianas procedentes de compost en base a su capacidad para estimular la germinación y elongación radicular (índice de germinación), puede considerarse un criterio de partida a la hora de investigar sustancias implicadas en la promoción del crecimiento vegetal. (Vasco, 2017)

### **2.8.2.2 Viabilidad de semillas de maleza**

La resistencia de las semillas al proceso de compostaje se creía que estaba relacionada con las temperaturas y la diferencia entre semillas de distintas especies. Actualmente se ha demostrado la procedencia de “puntos fríos” (ciertas zonas que no alcanzan temperaturas adecuadas), el número de volteos y el contenido de humedad, además, durante la etapa de madurez, sobre todo si se realiza al aire libre, el compost puede contaminarse con semillas dispersas por el viento. (Rostagno, 2015)

La introducción de especies exóticas con el compost como vector, tanto en producción agrícola extensiva e intensiva, y en la restauración de ambientes degradados, puede ocasionar daños ambientales y económicos. (Rostagno, 2015)

## **2.8.3 Cromatografía**

La cromatografía es un método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas con la aplicación en todas las ramas de la ciencia. Es un conjunto de técnicas basadas en el principio de retención selectiva cuyo objetivo es separar los distintos componentes de una mezcla para identificarlos. (Restrepo y Pinheiro, 2011)

La prueba del cromatograma sobre papel proporciona una idea visual de la salud del suelo y de la actividad microbiana. El compostaje y la biología del suelo son procesos

dinámicos, los cromatogramas hechos en diferentes épocas del año o etapas del compostaje puede variar enormemente. (Restrepo y Pinheiro, 2011)

### 2.8.3.1 Interpretación de los análisis cromatográficos

(Restrepo J. y Pinheiro S. 2011) Mencionan que la cromatografía presenta zonas con diferentes interacciones entre los elementos existentes en las muestras analizadas que permiten su interpretación. Las cuales se pueden apreciar en la figura 5.

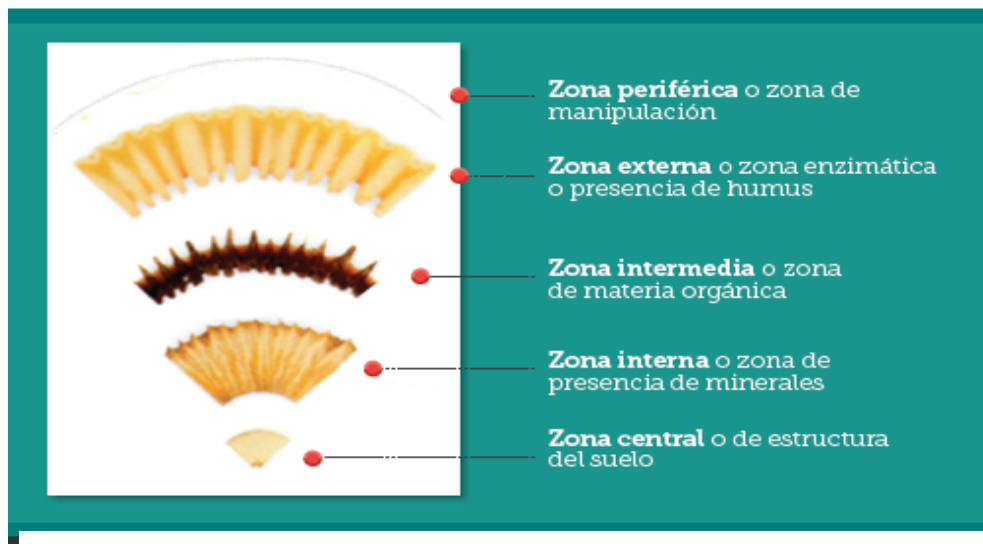


Figura 5 zonas que componen una cromatografía. Fuente Fundación Heifer Ecuador,

- a) **Zona central.** – Llamada también zona de oxigenación. Esta zona no se manifiesta en suelos que han tenido mal manejo, compactación por maquinaria pesada, pérdida de materia orgánica.

Cuando el centro del croma se presenta de color blanco, representa el contenido excesivas dosis de abonos nitrogenados y químicos de alta solubilidad o el uso constante de herbicidas y de abonos crudos como gallinaza o estiércoles no procesados, ricos en nitrógeno.

Cuando se presenta una zona de color blanco cremoso que se desvanece hasta integrarse a la próxima zona, es indicador de un buen suelo, con buena estructura, y presencia de materia orgánica.

- b) Zona interna.** – Denominada zona mineral, en la cual se evidencia la concentración de la mayoría de los minerales.

El color pardo negruzco, desde la zona central, sin distinción entre zonas, con terminaciones en punta, es indicador que el suelo está altamente mineralizado y destruido, con ausencia de materia orgánica y baja actividad biológica.

Un color cremoso que parte desde el centro hacia la zona interna y que continua de forma armónica hasta el final del croma, es indicador de un suelo sano, con buena reserva de materia orgánica.

- c) Zona intermedia.** – Denominada zona de materia orgánica. La presencia de un color marrón es un indicador de suelos con alto presencia de materia orgánica cruda o en proceso de descomposición, esta manifestación es común en la evolución de abonos, y la integración de la materia orgánica en el suelo.

- d) Zona externa.** – Determinada zona enzimática (humus permanente). Cuando en esta zona se observa lunares suaves o nubes onduladas muy tenues, se está frente a un suelo con calidad ideal, la presencia de estas indica la diversidad nutricional disponible en el suelo.

Los colores deseables en un croma son: amarillo, dorado, anaranjado, rojizo o café claro y tonalidades verdosas. Los colores de suelos destruidos y de abonos de mala calidad son: cenizo, negro, pardo muy oscuro, lilas o violetas, gris y/o totalmente azulado. (Restrepo y Pinheiro, 2011)

Es muy importante la observación de la forma de los radios desde la parte central del cromógeno, La ausencia de esta ramificación es indicador de una mala calidad del suelo, compactación y/o exposición a agroquímicos. Cuando la forma radial presenta apenas indicios de ramificarse es indicador del proceso de regeneración del suelo; y cuando la formación radial se parece a plumas, es indicador de un suelo vivo. (Restrepo J. y Pinheiro S. 2011)

## **2.9 Desventajas y beneficios del compostaje**

### **2.9.1 Desventajas del compostaje**

Entre las desventajas del compostaje se encuentra, la inversión de tiempo para el manejo requiere espacio, desconocimiento (proporciones de materiales no ideales) y el descuido de las pilas de compostaje atrae moscas, ratas, mal olor y es difícil cambiar hábitos (Brouwer, 2018)

(Román et al.,2013) Indica que la utilización del material orgánico que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como:

- Fitotoxicidad.
- Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como “hambre de nitrógeno”.
- Reducción del oxígeno radicular
- Exceso de amonio y nitratos en las planta y contaminación de fuentes de agua.

### **2.9.2 Beneficios del compostaje**

#### **2.9.2.1 Beneficios sociales-económico**

La producción de compost trae beneficios directos e indirectos si consideramos los beneficios en la producción, la mano de obra que ocupa su procesamiento, las posibilidades de obtener producciones ambientalmente sanas, la disminución de materia a eliminar y su valor como elemento formativo ambiental. (Sztern y Pravia, 2001)

Los huertos urbanos son lugares idóneos para la educación ambiental, puede acoger mediante buenas prácticas parte de fracción orgánica de los residuos municipales, para compostaje (Varona, 2012)

El compost es un producto de valor agregado, entre los compradores potenciales se incluye los agricultores que practican agricultura ecológica u horticultura, fruticultores, particulares que poseen viviendas con jardín, dueños de pastizales, propietarios de viveros el precio depende del mercado local. (Negro *et. al sf.*)



Figura 6. Agricultura urbana, huerto Laka uta. Fuente: Fundación Alternativas publicado por (La Razón, 2018)

### 2.9.2.2 Acondicionamiento del suelo.

Según (Negro *et. al sf.*) el compost se utiliza como fertilizante o producto restituidor de materia orgánica de los suelos erosionados. Además, cabe comentar que la materia orgánica produce repercusiones agro-biológicas muy favorables tales como:

- a) **Mejora de propiedades físicas del suelo.** - La materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros) aumenta la capacidad hídrica.

- b) **Mejora las propiedades químicas.** – La materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo facilitando la absorción de nutrientes por las plantas, evitando de esta forma la lixiviación.
- c) **Mejora la actividad biológica del suelo.** – la materia orgánica en el suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización, una población microbiana activa es índice de un suelo fértil.



Figura 7. Beneficios del compost. Fuente: (Vergara, *et al. sf.*)

### 3 LOCALIZACIÓN.

El estudio de investigación se realizó en el huerto urbano dependiente de la Fundación Alternativas, área que correspondiente al parque ecológico Lak'a Uta (Casa de barro) a una altitud de 3700 msnm, ubicado en la avenida Mariscal Santa Cruz en el macro distrito de Cotahuma de la ciudad de La Paz.

El macro distrito de Cotahuma está ubicado en la ladera oeste de la ciudad, desprendiéndose entre cañadones y superficie ondulada abiertas por donde escurren las aguas subterráneas provenientes del altiplano paceño. (Archondo, *sf.*)

El área del proyecto y su correspondiente georreferenciación se puede apreciar en la figura 8.

El clima del área de estudio es seco con temporadas de lluvia en verano, templado de alta montaña, con una temperatura promedio anual de 16 °C, con un mínimo de 5 °C y un máximo de 22 °C. (Skipton & Calderón, 2015)

La vegetación del parque Lak'a uta, está compuesta por especies nativas e introducidas las cuales son:

Entre las especies nativas se encuentra: Chilca (*Baccharis salicifolia*), pasto kikuyo (*Peninisetum clandestinum*), Aguja aguja (*Erodium cicutarium*), quinuilla (*Chenopodium album* L.) y Sewenca (*Cortadeira quilla*)

Las especies introducidas son: Eucalipto (*Eucaliptus globulos*), álamo (*Populus alba*), fresno (*Fraxinus excelsior*), pino radiata (*Pinus radiata*), acacia (*Acacia retinoides*) y retama (*Retama sphaerocarpa* L.),





Figura 8 Imagen georreferenciada del área del proyecto.  
Fuente: Google

## 4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Materiales

Tabla 1

*Materiales, herramientas y equipos*

Materiales	Herramientas	Equipos	Materiales e insumos de laboratorio
<ul style="list-style-type: none"><li>Residuos orgánicos</li><li>Madera</li><li>Clavos y tornillos</li><li>Bisagras</li><li>Calamina plástica</li><li>Agrofilm</li><li>Bolsas de yute y plásticas</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Pala</li><li>Pico</li><li>Rastrillo</li><li>Martillo</li><li>Serrucho</li><li>Balanza de reloj</li><li>Romanilla</li><li>Carretilla</li><li>Nivel</li><li>Destornillador</li><li>Tenazas</li><li>Tijera</li><li>Flexómetro</li><li>Cernidor metálico</li><li>Sacabocados de golpe</li><li>Guantes</li><li>Libreta de campo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Medidor analógico de pH y humedad</li><li>Geotermómetro</li><li>Medidor portátil de conductividad eléctrica</li><li>Balanza digital</li><li>Caladora</li><li>Cámara fotográfica</li><li>Laptop</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Matraz Erlenmeyer</li><li>Vaso de precipitado</li><li>Cajas Petri de 5 y 10 cm de diámetro</li><li>Contenedores de plástico</li><li>Recipientes de vidrio color ámbar</li><li>Jeringas</li><li>Agua destilada</li><li>Nitrato de plata</li><li>Hidróxido de sodio</li><li>Papel filtro cualitativo circular</li><li>Papel milimétrico</li><li>Hojas bond</li><li>Papel absorbente</li><li>Semillas de rábano</li></ul>

### 4.2 Construcción de las unidades de compostaje

Para la realización del presente estudio se vio conveniente la construcción de 12 unidades de compostaje, con madera de pino procedente de embalajes.

Las dimensiones de las unidades fueron de 50x50x100 cm, con cubiertas de calamina plástica de color amarillo.

El interior de las composteras se cubrió con agofilm, para que al igual que la cubierta favorecerían la estabilidad térmica.

Cada unidad constaba de una puerta para controlar los parámetros (temperatura, humedad, pH y CE) y realizar la aireación mediante volteos manuales.

Finalizada la construcción de las composteras se procedió a preparar el área de estudio, comprendió de una superficie de 7,7 m<sup>2</sup> (2,20 m x 3,5 m), en el cual se realizó la limpieza y nivelado del suelo, se ubicó las unidades de compostaje según el diseño establecido.



Figura 9 Construcción de las composteras

### **4.3 Recolección de residuos sólidos orgánicos urbanos**

La recolección de residuos orgánicos urbanos se efectuó en los principales mercados de las ciudades de La Paz como ser: mercado Rodríguez, la zona comercial de frutas denominada el Tejar y el mercado de villa Dolores en la ciudad del El Alto.

Los residuos orgánicos estaban compuestos de restos de hortalizas y frutas. Muchos de estos materiales orgánicos ya se encontraban con un cierto grado de descomposición como productos no aceptables para la comercialización.

La cantidad de residuos orgánicos requerida para el presente estudio fue de 600 kg, recolectado en el transcurso de tres días.



Figura 10 Recolección de residuos orgánicos de los mercados

#### **4.4 Preparación de los residuos para el compostaje**

Antes de efectuar el compostaje se procedió a homogenizar en lo posible el tamaño de los residuos orgánicos recolectados, cortándolos en un tamaño de partícula de 4 a 5cm y posteriormente mezclarlos, se pesó y distribuyó a cada unidad de compostaje, luego se añadió 1 Kg de material con alto contenido de carbono (hojas secas de álamo).

El peso total al inicio del proceso de compostaje en cada unidad experimental fue de 50 kg de residuos orgánicos.

La identificación de las unidades de compostaje se realizó al finalizar la distribución de los residuos orgánicos para el control de las variables.



Figura 11 Preparación de los residuos orgánicos urbanos a compostar

#### 4.5 Modelo estadístico

El modelo estadístico utilizado para el análisis estadístico de los datos del experimento fue el diseño experimental de bloque completamente al azar (DBCA), el modelo lineal apropiado para interpretar los resultados de un experimento en campo en un (DBCA) es: (Contreras y López, 2019)

$\text{Respuesta} = \text{Media Marginal} + \text{efecto de los tratamientos} + \text{Efecto de los bloques} + \text{Error experimental}$
---

Expresado como el modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + \pi_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Valor de la i-esima observación ubicada en el i-esimo tratamiento.

$\mu$  = Promedio general

$\pi_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento

$\beta_j$  = Efecto de j-esimo bloque

$\varepsilon_{ij}$  = Variación de las observaciones debido al efecto aleatorio del error experimental.

## 4.6 Tratamientos

El factor de estudio fue el aporte de oxígeno mediante volteos manuales con intervalos de cada cinco días, los tratamientos analizados fueron cuatro los cuales son:

**T 1**= Frecuencia de oxigenación 5 días

**T 2**= Frecuencia de oxigenación 10 días

**T 3**= Frecuencia de oxigenación 15 días

**T 4**= Frecuencia de oxigenación 20 días

## 4.7 Diseño del experimento

Las unidades experimentales fueron distribuidas en tres bloques con tres repeticiones correspondientes a los cuatro tratamientos evaluados en el trabajo de investigación tal como se puede apreciar en las en la figura 12.



Figura 12 Croquis del trabajo de investigación.

#### 4.7.1 Aireación en el proceso de compostaje

A fin de estudiar el efecto de la frecuencia de oxigenación en el compostaje, el aporte de oxígeno se efectuó mediante volteos manuales, extrayendo el material a compostar fuera de las composteras sobre una superficie cubierta con plástico, para evitar el contacto con el suelo y facilitar su mezcla y posteriormente retornar el material orgánico a las unidades de compostaje.



Figura 13 Aportación de oxígeno (volteos manuales)

#### 4.7.2 Cosecha y tamizado del compost

Para identificar el final del proceso del compostaje se utilizó parámetros físico-sensoriales (temperatura, olor y color), se cosecho y se procedió a pesar el compost.

A fin de obtener un material de mejor calidad se realiza el tamizado del compost a través de una malla metálica con celdas de 1cm x1cm, se pesó nuevamente el compost sin el material grueso que faltó descomponer en el proceso de compostaje. como se aprecia en la figura 14



Figura 14 Tamizado del compost.

#### 4.8 Control de variables

Se registraron las variables, antes del proceso para conocer las características químicas de los residuos orgánicos, durante el compostaje para evaluar el proceso de descomposición y en compost para determinar la calidad agronómica de la materia orgánica resultante. Las variables analizadas se detallan en la tabla 2.

Tabla 2 *Variables analizadas en la investigación*

Residuos orgánicos	Compostaje	Compost (producto final)
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Materia orgánica</li> <li>▪ Contenido de macronutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio)</li> <li>▪ Relación carbono/nitrógeno (C/N)</li> <li>▪ pH</li> <li>▪ Conductividad eléctrica (CE)</li> </ul>	<p>Control diario de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Temperatura</li> <li>▪ Humedad</li> <li>▪ pH</li> </ul> <p>Control semanal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Conductividad eléctrica (CE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Periodo de compostaje</li> <li>▪ Rendimiento</li> <li>▪ Materia orgánica</li> <li>▪ Contenido macronutrientes (nitrógeno, fosforo y potasio)</li> <li>▪ Relación Carbono nitrógeno (C/N)</li> <li>▪ pH</li> <li>▪ Conductividad eléctrica (CE)</li> <li>▪ Pruebas biológicas</li> <li>▪ Cromatografía</li> </ul>



Se tomo muestras de 1 kg de materia orgánica de cada unidad experimental al inicio y final del proceso de compostaje, para el análisis de contenido de macronutrientes en el laboratorio del IBTEN (Instituto Boliviano de Tecnología Nuclear).



Figura 15 Muestras para análisis en laboratorios IBTEN

#### 4.8.1 Contenido de materia orgánica (MO)

El contenido de materia orgánica presente en los residuos orgánicos al inicio y final del proceso de compostaje varía por los cambios fisicoquímicos del compostaje, este dato se dedujo de los análisis de laboratorio con respecto al porcentaje de carbono orgánico multiplicado por la constante Van Bemmelen (1,724), mediante el cual se asume estadísticamente que el 58% de la MO está compuesta de carbono, como se aprecia en la siguiente fórmula

$$\% \text{ Materia orgánica} = \% \text{ Carbono orgánico} \times 1,724$$

#### 4.8.2 Contenido de macronutrientes

Los macronutrientes analizados y los métodos aplicados se detallan en la tabla 3

Macronutrientes y métodos de análisis

Tabla 3 *Métodos de análisis de macronutrientes*

Macronutriente	Método
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrógeno (% N)</li> <li>• Fosforo (% P)</li> <li>• Potasio (%)</li> <li>• Carbono orgánico (% C org)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kjeldahl</li> <li>• Espectrofotometría UV- Visible</li> <li>• Espectrofotometría UV-Visible</li> <li>• Walkley Black</li> </ul>

#### 4.8.3 Relación carbono/ nitrógeno C/N

Se realizó el cálculo de esta variable al inicio y final del proceso de compostaje, en base a los resultados de los análisis de laboratorio, La relación C/N se obtiene al dividir el contenido de Carbono (% C org) sobre el contenido de Nitrógeno (% N), como se puede apreciar en la siguiente fórmula.

$$\text{Relacion C/N} = \frac{\% \text{ C org}}{\% \text{ N}}$$

#### 4.8.4 Temperatura

El control del factor temperatura se realizó diariamente en dos horarios (10:00 y 15:00 horas.), con un termómetro geológico con capacidad de medición de -10 °C a 110 °C, a dos alturas de la pila de compostaje de cada unidad experimental.

#### 4.8.5 Humedad y pH

Para registrar las dos variables se precisó el equipo denominado medidor analógico de humedad y pH, con dos sondas, las cuales se insertaban en la pila de compostaje y se procedía a la lectura del parámetro seleccionado, el equipo medía la humedad en una escala de 1 al 100% y para el pH la escala de valor oscilo entre 3 a 10.

El registro de ambos parámetros se efectuó en dos horarios (10:00 y 15:00 horas.) diariamente y a dos alturas de las pilas de compostaje.

Para mantener una humedad adecuada en el proceso de compostaje se añadió agua, que provenía de un cosechador de lluvia, a las unidades experimentales que presentaron un bajo contenido de humedad, desfavorable para la descomposición.



Figura 16. Equipos de medición de temperatura, humedad y pH

#### 4.8.6 Conductividad Eléctrica CE

Este parámetro se midió de forma semanal, extrayéndose muestras de 50 gr de residuos orgánicos de cada unidad de experimental.

La muestra de 50 gr se diluyo en 250 ml de agua destilada, se efectuó la lectura de la CE, mediante un conductímetro manual con capacidad de 1ds/cm a 9 ds/cm, registrándose los datos para su posterior análisis.

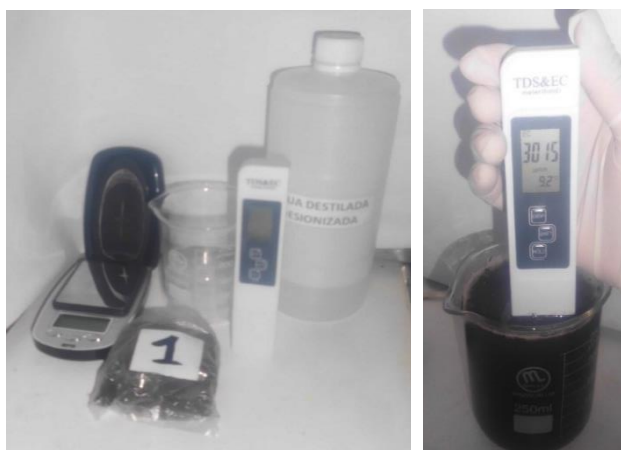


Figura 17. Materiales y equipo para medir la CE

#### 4.8.7 Periodo de compostaje

Se determino el periodo de compostaje tomando en cuenta la fecha de inicio y la fecha en el que se realizó la cosecha del compost correspondiente a cada tratamiento.

#### 4.8.8 Rendimiento

El porcentaje de rendimiento se obtuvo a través de los datos de peso inicial de residuos orgánicos (50 kg) y el peso del compost ya tamizado de cada unidad experimental mediante la siguiente formula:

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

#### 4.8.9 Prueba de fitotoxicidad en compost

Para la evaluación de la calidad agronómica del compost resultante de los tratamientos en estudio, se realizó la prueba de fitotoxicidad con semillas de rabanito (*Raphanos sativum*) variedad *Crimson giant* con 85% de germinación.

Se preparo la solución del compost correspondiente a cada unidad de experimental en relación 1:10 de compost y agua destilada.

Las semillas de rábano fueron dispuestas en 10 unidades en cada caja Petri sobre papel filtro, al que se le agrego el extracto de compost, posteriormente se colocaron en cámaras de germinación a una temperatura constante de 15 °C durante 7 días, para mantener la humedad se agregó agua destila.



Figura 18 Semillas de rábano en cámara de germinación

Se registro el número de semillas germinadas y la elongación radicular, para su posterior análisis mediante la siguiente formula:

Índice de germinación (IG) (Rostagno, 2015)

$$IG = \frac{(GT \times RT)}{(GC \times RC)} \times 100$$

**Donde:**

**GT:** Número de semillas germinadas en el tratamiento

**GC:** Número de semillas germinadas en control

**RT:** Promedio de largo de las raíces de las semillas germinadas en el tratamiento.

**RC:** Promedio del largo de las raíces de las semillas germinadas en el control

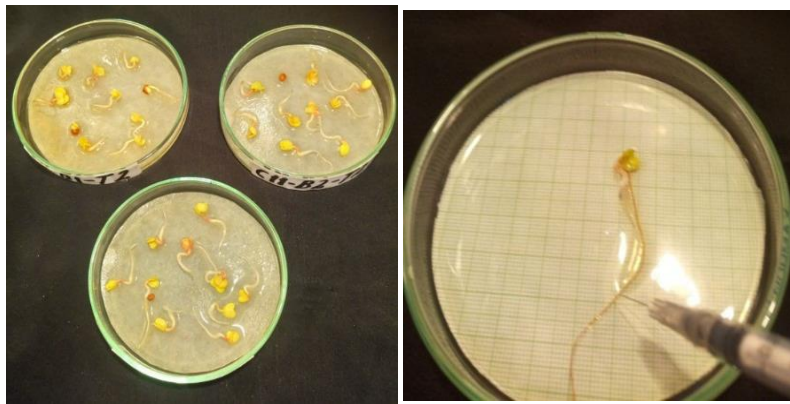


Figura 19 Registro número de semillas germinadas y elongación radicular

#### 4.8.10 Viabilidad de semillas de maleza

La evaluación de este parámetro se realizó con muestras de 1 kg de cada unidad de compostaje, utilizando dos recipientes plásticos con una capacidad de 500 gr. Se agrego agua destilada para alcanzar 50% de humedad en los recipientes el transcurso de 15 días, registrando la germinación de semillas de maleza viables en el compost para verificar que el producto obtenido no sea vector de malezas y otras semillas en su aplicación agrícola.



Figura 20. Prueba de viabilidad de semillas

#### **4.8.11 Cromatografía**

Se realizó el análisis cromatográfico en papel circular de cada tratamiento obteniéndose muestras representativas de compost, se procedió a secarlos fuera del contacto de luz solar directa, para prevenir modificaciones en la composición química-biológica de las muestras.

Terminado el proceso de secado se procedió a moler las muestras en un mortero cuidadosamente de forma circular, se tamizo mediante una malla de 2 mm y extrajo 5 gramos de compost de cada tratamiento.

Precautelando posibles alteraciones en el revelado del croma se trabajó con luz tenue de color rojo.

Se preparo soluciones de hidróxido de sodio Na OH al 1% y nitrato de plata Ag N al 0.5 %, en ambas disoluciones se utilizó agua destilada, y se almaceno en recipientes de vidrio color ámbar para evitar que la luz produzca reacciones químicas que alteren sus propiedades.

El papel filtro cualitativo circular fue perforado en el centro con un sacabocados de golpe de un diámetro de 2mm, se realizaron pabilos (cilindros) del mismo material para introducirlos en la perforación realizada y faciliten la impregnación de las soluciones primeramente de Ag N y luego de Na OH. Como se aprecia en la figura 12

La impregnación consistió en depositar las soluciones en una caja de Petri de 5cm montada en otra de 10 cm respectivamente.

Se impregnó el papel filtro circular con la solución reveladora de Ag N (0,5%), con un recorrido de 4 cm y posteriormente secarlo entre papel de oficio y absorbente en una cámara oscura durante 4 a 5 horas aproximadamente.

Cada muestra de compost de 5gr fue disuelta en 100 ml de solución Na OH (1%) y agitada (7 vueltas izquierda y derecha, contar 49 giros) en un matraz Erlenmeyer, en lapsos de 15, 30 y 60 min. respectivamente.

Se dejando la solución en reposo 4 horas, para poder extraer la muestra líquida sobrenadante mediante una jeringa e impregnar el papel filtro, previamente sensibilizado con la solución de Ag N (0,5%), el recorrido de la solución de Na OH (1%) y compost en el papel filtro fue de 6 cm.

Concluido el recorrido se dispuso a secar, en primera instancia de forma horizontal sobre hojas de papel blanco, luego de forma vertical en un lugar sin contacto directo con la luz solar, durante 15 días, después de ese tiempo se obtuvo el revelado del cromograma. Se efectuó la interpretación de los cromas de cada tratamiento.



Figura 21 Materiales, insumos y equipo, para el proceso de cromatografía

## 4.9 Análisis económico

El análisis económico se realizó contabilizando los costos de producción y el beneficio bruto obtenidos del proceso de compostaje, para lograr establecer la rentabilidad de los tratamientos en estudio.

$$B/C = \frac{Vi}{Ci}$$

**Dónde:**

**B/C** = Relación Beneficio / Costo

**Vi** = Valor de la producción (beneficio bruto)

**Ci** = Egresos (costos de producción)



## 5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Monitoreo de los parámetros físico, químico y biológico

#### 5.1.1 Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje

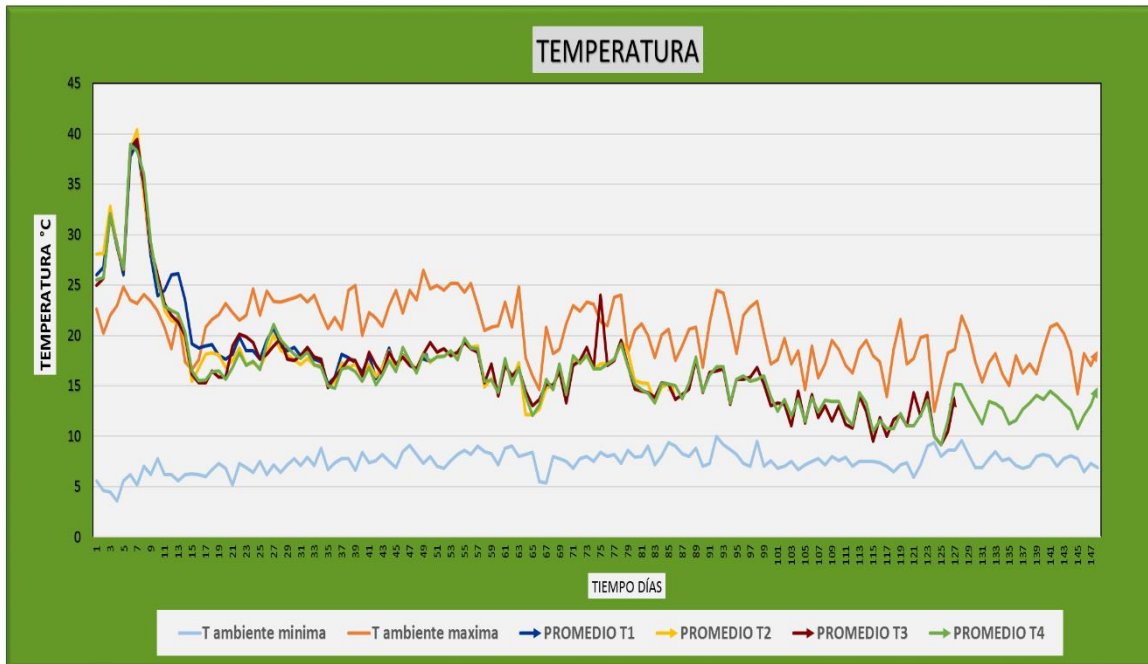


Figura 22. Evolución de la temperatura en el proceso de compostaje

Los datos de temperatura ambiental, máxima y mínima fueron obtenidos del SENAMHI (Servicio nacional de meteorología e hidrología) de la estación ubicada en el centro de la ciudad de La Paz (plaza Camacho) periodo octubre-febrero.

Al inicio del proceso de compostaje, la temperatura registrada en los cuatro tratamientos fue de entre 25- 27 °C, esto debido a que el material orgánico empezó el proceso de descomposición en el periodo de recolección y almacenaje.

La etapa mesófila inicial estuvo comprendida entre los días 1-7, la temperatura en todos los tratamientos tuvo un comportamiento similar, oscilando entre los 25- 35 °C. En el quinto día se presentó un descenso de 32 a 27 °C, esto debido a que en días

anteriores las temperaturas mínimas registradas fueron inferiores a los 5 °C respectivamente.

La temperatura registrada en esta etapa en los tratamientos estudiados se encuentra entre las establecidas para el compostaje, tal como indica (Sztern y Pravia. 2001). La etapa mesófila inicial comprende temperaturas entre los 10 - 35 °C, en los que se produce proceso de nitrificación y oxidación de azufre, fosforo y la producción de antibióticos.

Según el manual de compostaje doméstico (Gobierno de Cantabria *sf.*) el tiempo de duración de esta fase es de entre dos y ocho días, que coincide con los resultados de la presente investigación.

La fase termófila se presentó entre los días 8 y 10, en los cuatro tratamientos, en ninguno de ellos sobrepaso los 40 °C. este periodo fue breve y no se volvió a registrar temperaturas similares en el tiempo restante de compostaje.

En compostaje altoandino (Chilón, 2010) se puede apreciar que la etapa termófila tuvo una variabilidad térmica de 35 a 45 °C y una duración aproximada de 5 días, similar a los cuatros tratamientos evaluados en el presente estudio, con la diferencia que ningún tratamiento supero los 40 °C, debido al alto contenido de humedad de los residuos orgánicos urbanos.

La temperatura en la etapa termófila en los cuatro tratamientos se encontró en las establecidas permitiendo alcanzar un cierto grado de sanitización del material a compostar tal como indica, (Robles, 2015). La etapa termogénica (40 C -70 °C) sustituye a la mesófila debido a la acción de bacilos y actinomicetos termófilos en los que también se establecen relaciones del tipo sin tróficas. Normalmente en esta etapa se eliminan todos los patógenos, hongos, semillas y elementos biológicos no deseables.

La etapa mesófila final y de maduración, fueron las de mayor duración en el proceso de compostaje, teniendo variaciones marcadas para cada tratamiento.

El tratamiento T1, del día 11 a 15 la temperatura oscilo entre los 30 a 20 °C, el resto del tiempo de compostaje la temperatura se mantuvo entre los 20 y 15 °C. El tiempo total requerido del inicio hasta la obtención del compost fue 50 días.

El tratamiento T2, en los días 11 y 16 presento un descenso marcado en la temperatura de 30 a 15 °C, después de este tiempo la temperatura se mantuvo entre 20 y 15 °C, entre los días 64 y 67 la temperatura fue de 11 °C las más bajas registradas en todo el proceso, debido a las condiciones climáticas, el tiempo restante la temperatura oscilo entre los 20 y 14 °C. El periodo de compostaje fue de 85 días.

En el tratamiento T3, la temperatura descendió rápidamente entre los días 11 y 16 de 30 a 15 °C, entre los días 17 y 54 la temperatura se mantuvo entre 20 y 15 °C, el tiempo restante hasta la cosecha la oscilación térmica fue amplia entre 25 a 10 °C. El periodo de compostaje fue de 127 días.

El tratamiento T4, presento un descenso de temperatura entre los días 11 y 16 de 30 a 15 °C, entre los días 17 a 63 la temperatura se mantuvo entre los 20 y 15 °C, el tiempo restante la temperatura oscilo entre 20 y 10 °C. El periodo de compostaje fue de 148 días.

Según lo descrito en los párrafos anteriores, se puede apreciar que en los tratamientos en los que la frecuencia de volteo fue menor (T1= 5 días, T2= 10 días) la temperatura se mantuvo entre 20 y 14 °C, los tratamientos con frecuencia de volteo más extendida (T3 = 15 días y T4= 20 días) la temperatura oscilo entre los 20 y 10 °C respectivamente.

El oxígeno incrementa la actividad microbiana y estabilidad térmica tal como indica (Ramírez, 2013), las pilas de aireación por volteo aumentan de forma notoria la biodegradación, y es un factor importante en el incremento de la actividad microbiana en el compostaje.

La etapa final del proceso en todos los tratamientos en estudio, la temperatura se estabilizo tal como indica (Gallardo, 2013). La temperatura al momento de la cosecha fue estable y alcanzó la temperatura ambiental de 10 a 15 °C en clima frígido.

### 5.1.2 Evolución de la humedad en el proceso de compostaje

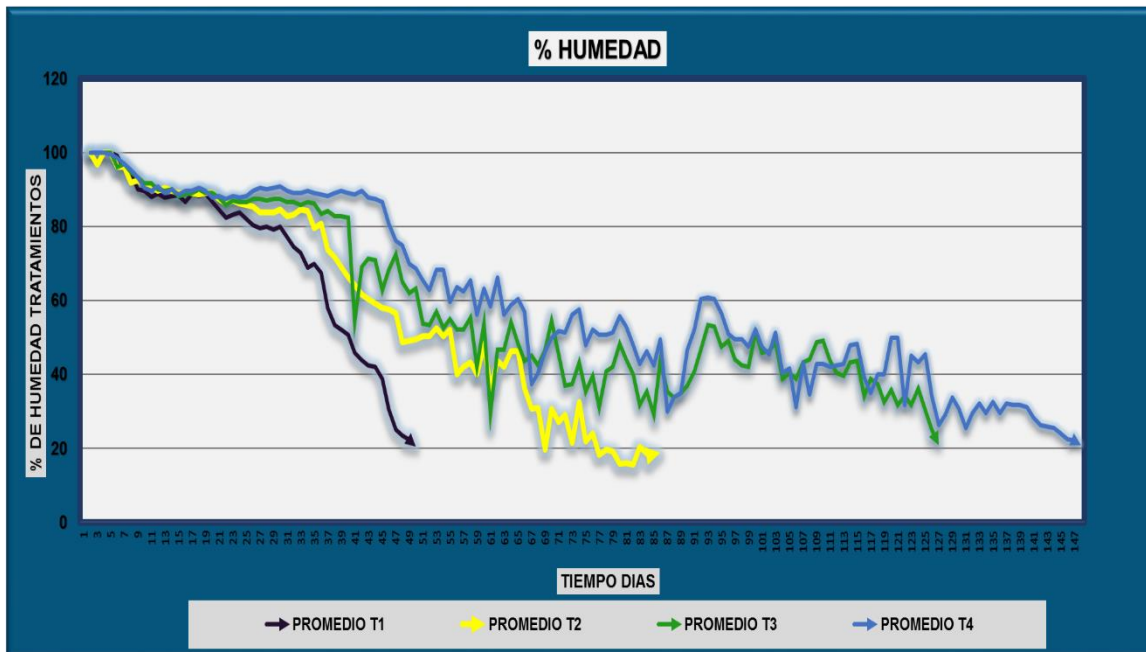


Figura 23. Evolución de la humedad en el proceso de compostaje.

Como se puede apreciar en la, figura 23, la humedad al inicio del proceso de compostaje fue elevada (100 %), en relación con la naturaleza propia de los residuos orgánicos recolectados.

Según Miyazaki, (citado por Garrido, 2014). El contenido de humedad en la descomposición aeróbica puede variar entre el 30 y el 100% esto depende del tipo de materia, aunque la experiencia práctica indica que para material fresco el óptimo de la actividad se produce entre los 40 60% de humedad

La evolución de la humedad durante el proceso de compostaje en los cuatro tratamientos fue disminuyendo gradualmente, con las siguientes diferencias:

En el tratamiento T1 (frecuencia de volteo cada 5 días), la perdida de humedad se dividió en dos etapas de día 1 al 25 el contenido oscilo entre 100 y 80 %, desde el día 26 hasta el 50 la perdida de humedad fue rápida hasta alcanzar 20% y no fue necesario adicionar agua para mantener la humedad adecuada hasta el final del proceso.

En el tratamiento T2 (frecuencia de volteo cada 10 días), la humedad disminuyó a 80% hasta el día 40, entre los días 41 y 85 se adicionó la cantidad de 2 litros de agua para mantener una humedad adecuada (50%), ya que la superficie de la pila de compostaje presentaba una baja humedad, al final del proceso se alcanzó 20% de humedad.

En el tratamiento T3 (frecuencia de volteo cada 15 días), la humedad descendió a 80% lentamente hasta el día 45, después disminuyó gradualmente hasta el día 59 presentando una humedad de 40%, a partir del día 60 hasta la cosecha del compost el porcentaje de humedad osciló entre el 50 y 20%, en este último periodo fue necesario el aporte de agua para mantener la humedad adecuada (50%) siendo un total de 16 litros.

En el tratamiento T4 (frecuencia de volteo cada 20 días), el perfil de humedad se dividió en tres fases, la primera comprende del día 1 al 49 con una humedad de 100 y 80%, la segunda del día 47 al 62 la humedad registrada osciló entre el 80 y 60%, la tercera fase estuvo comprendida desde el día 63 hasta la cosecha del compost, con una humedad de 60 y 20%, en esta fase fue necesario el aporte de agua a las pilas de compostaje siendo un total de 23,5 litros.

La evolución del contenido de humedad en los cuatro tratamientos en estudio fue similar a la descrita por (Barrena, 2006), en la tesis de compostaje de residuos orgánicos con la aplicación de técnicas respirométricas. En general el contenido de agua del material en compostaje disminuye a lo largo del proceso a causa del calor generado por la descomposición del material orgánico.

En los tratamientos (T3 y T4) en los que el aporte de oxígeno fue menor, el proceso de compostaje se extendió la causa sería según Zhang (citado por Barrón, 2013). La actividad microbiana decrece al estar más tiempo saturada la pila y en consecuencia el tiempo de composteo se prolonga, por lo que puede existir presencia de malos olores y la pérdida de nitrógeno en forma de amonio.

### 5.1.3 Evolución del pH en el proceso de compostaje

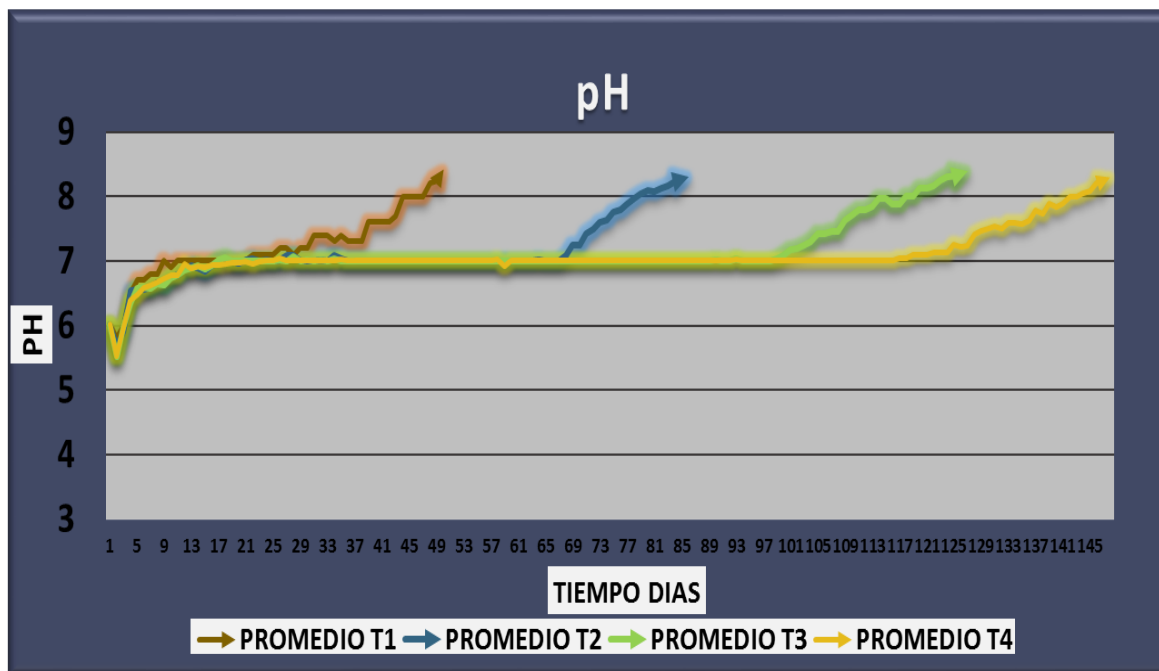


Figura 24 Evolución del pH en el proceso de compostaje.

El pH al inicio de proceso de compostaje en los cuatro tratamientos fue de 5,5 a 6,5 estos valores son apropiados tal como indica (Castrillón, *et al.* 2006). Los residuos orgánicos municipales tienen un pH inicial bajo debido a los altos contenidos de ácidos orgánicos entre los que predominan, el ácido acético y el ácido láctico.

El promedio general en todos los tratamientos en estudio el valor del pH fue de 7, durante toda la fase termófila y la mayor parte de la fase mesófila final. Aproximadamente entre 15 a 10 días antes de efectuarse la cosecha de compost, el pH ascendió a valores entre 8 y 8,36. tal como se puede apreciar en la figura 24.

Según (Silva, *sf.*), el pH en la etapa termófila y mesófila o de enfriamiento llega a un valor entre 7 a 8,5, estos valores corresponden a los hallados en la presente investigación.

También (Rafael, 2015). registro valor de pH ligeramente alcalino (8,7), al final del proceso en compostaje de tres tipos de residuos orgánicos con microorganismos eficaces para mejorar la calidad del compost.

(Maisincho, 2015), indica que se mantiene la relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de inmadurez del abono orgánico. De acuerdo con lo mencionado por el autor, el compost resultante al final del proceso en los cuatro tratamientos estudiados señala que el material orgánico es estable.

#### 5.1.4 Evolución de la conductividad eléctrica (CE) en el proceso de compostaje

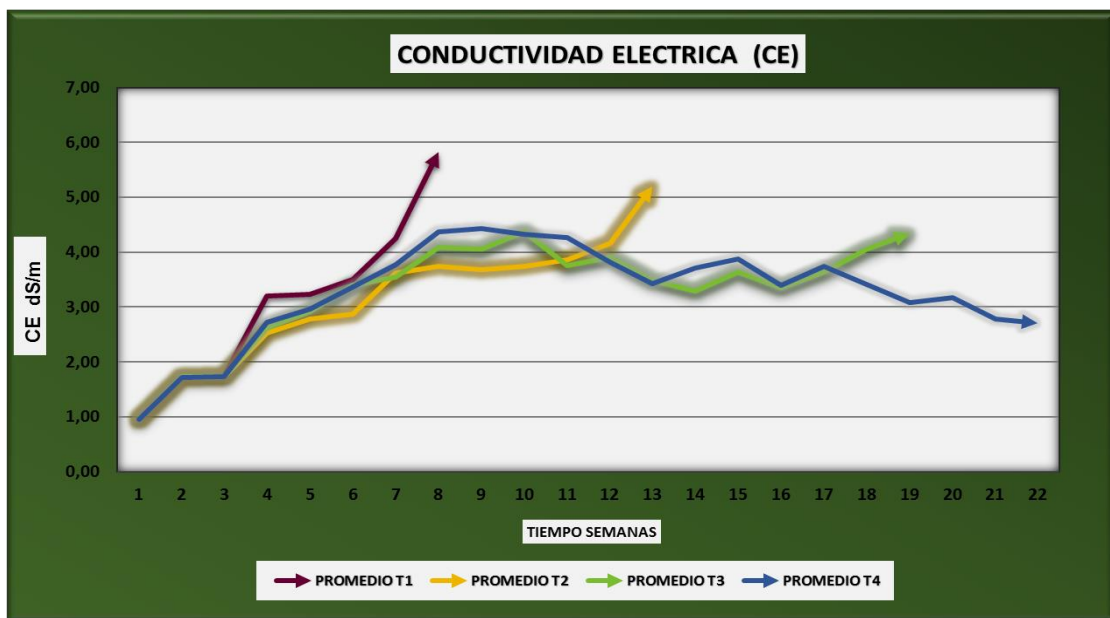


Figura 25. Evolución de la CE en el proceso de compostaje

La Conductividad Eléctrica al inicio del proceso de compostaje fue de 0.95 ds/m, para todos los tratamientos, (Gallardo, 2013), menciona que al inicio los valores de CE son menores, como consecuencia del crecimiento microbiano que consume parte de las

sales presentes y posteriormente recupera el valor de la CE, como consecuencia de la liberación de sales al degradar las poblaciones microbianas el material orgánico.

Durante el proceso de compostaje la conductividad eléctrica ascendió gradualmente hasta finalizar el proceso, en los tratamientos T1 y T2 registrando valores de 5,7 y 5,2 ds/m respectivamente.

La evolución de la conductividad eléctrica para los tratamientos T3 y T4 en el periodo de compostaje, ascendió hasta la octava semana aproximadamente, después de este tiempo se puede observar que los valores para esta variable ascendieron y descendieron en ciertos periodos y al final del proceso se registraron los siguientes valores, el T3= 4,34 ds/m y T4= 2,7 ds/m. En ambos tratamientos se agregó agua (16 y 23,5 litros) a las pilas de compostaje para mantener la humedad adecuada durante el proceso. Lo cual produjo un parcial lavado de sales.

Lo descrito en el párrafo anterior concuerda con una evolución típica en el proceso de compostaje según (Maisincho, 2015), indica que la CE tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce una condensación de nutrientes. A veces ocurre un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por el aumento de humedad.

Según las normas de calidad en compost de Chile (NCh.2880. 2004) el compost para ser clasificado tipo A debe contar con un CE menor de 3 ds/m en el caso de ser mayor a este dato, pero menor o igual a 8 ds/m se clasificaría como compost tipo B.

Los datos obtenidos de CE en el compost de los tratamientos T1, T2 y T3 correspondería a un compost tipo B, apto para la agricultura y reforestación.

El compost del tratamiento T4 una CE de 2,7 ds/m lo cual significa que el compost obtenido es tipo A idóneo para su uso como sustrato en viveros.



### 5.1.5 Periodo de compostaje

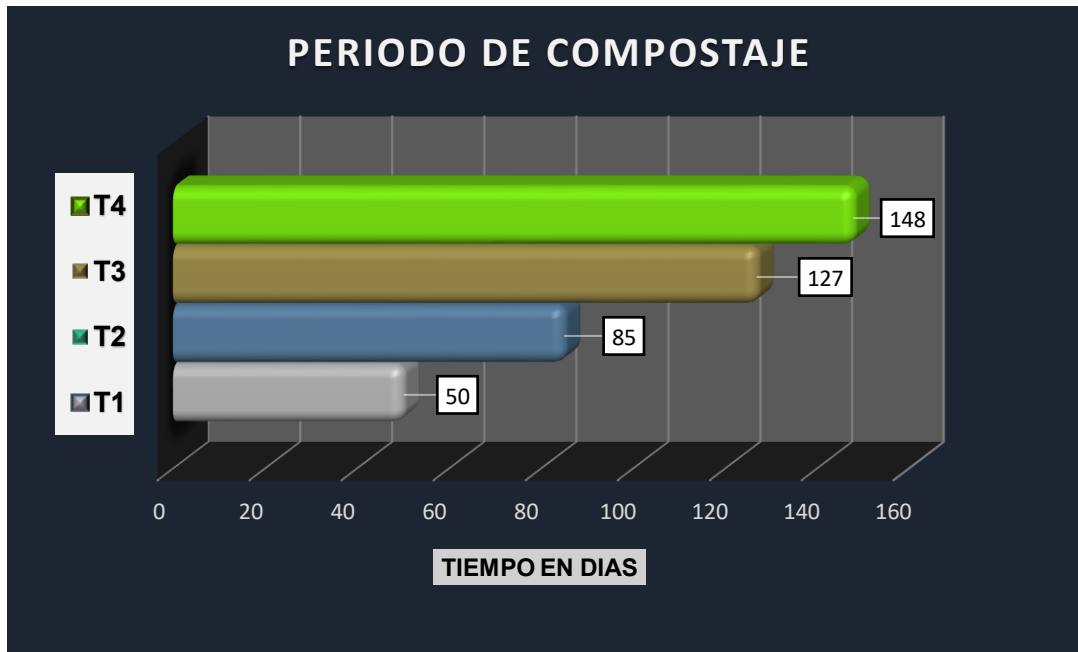


Figura 26. Periodo de compostaje

Tabla 4 *Número de volteos manuales en el periodo de compostaje*

Tratamientos	Número de volteos manuales
T1 (frecuencia de volteo 5 días)	9
T2 (frecuencia de volteo 10 días)	8
T3 (frecuencia de volteo 15 (días)	8
T4 (frecuencia de volteo 20 días)	7

Para determinar esta variable se tomó en cuenta la fecha de inicio del compostaje y la fecha en la cual mediante parámetros físico-sensoriales (temperatura, color, olor) se dio por finalizado el proceso y posterior cosecha del compost.

En la figura 26 se puede apreciar la diferencia en cuanto al tiempo de obtención de compost entre los tratamientos descrito a continuación:

El tratamiento T1 tuvo un periodo de compostaje de 50 días, en los que se efectuaron 9 volteos, el tratamiento T2 requirió 85 días en los que se realizó 8 volteos, el Tratamiento T3 el periodo de compostaje fue de 127 días con 8 volteos y finalmente el tratamiento T4 cuyo tiempo de compostaje fue el que más se extendió, requirió 148 días en los que se efectuaron 7 volteos a las pilas de compostaje.

Según lo anteriormente descrito se puede afirmar que, mientras más frecuentes son las aportaciones de oxígeno el periodo de compostaje es menor. (Tituaña, 2009). Indica, que la aireación es un factor importante debido a que el oxígeno es esencial para el metabolismo y respiración de microorganismos aeróbicos, además para la oxidación de compuestos tales como  $\text{NO}_3$  y  $\text{CO}_2$ , acelerando el proceso de compostaje.

Los resultados hallados por (Gallardo, 2013) del compostaje de residuos vegetales en composteras de madera recubiertas en el interior con geomembrana, en diferentes empresas mineras de la zona altoandinas del Perú, con altitudes entre 3.660 a 4.700 m.s.n.m. el periodo de compostaje fue de 75 a 240 días.

En estudios realizados de compostaje alto andino (Chilón, 2010), en comunidades del municipio de Tiahuanaco, ubicadas a altitud de 3.800 y 4.100 m.s.n.m. el tiempo de compostaje con factor de estudio activadores biológicos fue en un periodo de 2,5 y 3,8 meses,

Se debe tomar en cuenta que, en las dos anteriores citas bibliográficas, la altitud del lugar donde se desarrollaron el proceso de compostaje es similar a la altitud del área del presente estudio (parque ecológico Lak`a uta 3700 m.s.n.m.), con la característica de tener clima frígido, pero el tiempo de compostaje en el presente estudio fue relativamente menor.

## 5.2 Características del compost

### 5.2.1 Rendimiento



Figura 27. Rendimiento en peso (kg) de compost

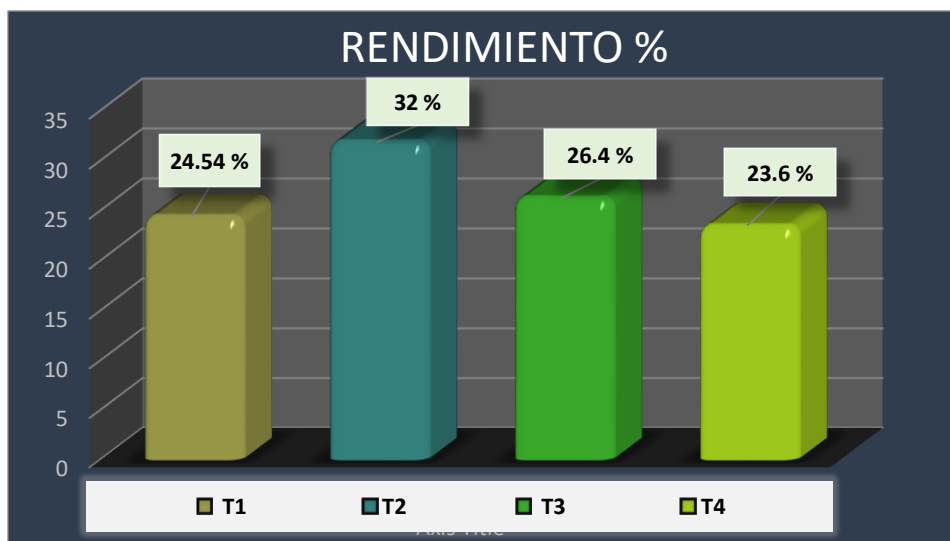


Figura 28 Rendimiento (%) de compost

Para realizar el análisis de esta variable es necesario mencionar que el peso de los residuos orgánicos al principio del proceso de compostaje fue de 50 kg para cada unidad experimental en todos los tratamientos. Se considero como peso final el compost resultante después del proceso de tamizado. El rendimiento en base a peso (kg) se puede apreciar en la figura 27.

El rendimiento en porcentaje de cada uno de los tratamientos se puede apreciar en la figura 28.

El compostaje reduce el volumen de la materia orgánica en un 80%, es decir por cada 100 Kg de materia orgánica introducida en el compostador se obtiene entre 20-25 kg de compost. Departamento de desarrollo sostenible de Gipuzkoa (D.D.S.G., *sf*).

Según la División de gestión integral de residuos sólidos (DGGIRS. *Sf*). En La Paz se procesa residuos orgánicos procedente de mercados, matadero y podas por parte de la municipalidad, se estima una producción mensual aproximada de 33 toneladas de humus y 23 toneladas de compost. Por cada tonelada de RSO procesada se obtiene aproximadamente 270 kg de compost. Lo cual se traduce en un 27% de rendimiento.

La materia orgánica que se empleó en el proceso de compostaje para la presente investigación corresponde a restos vegetales (hortalizas y frutas), cuyo rendimiento oscilo entre 32% y 23,6% valores similares a los establecidos por los dos autores anteriores.

El factor principal, fue el alto contenido de humedad en los residuos orgánicos que al inicio representa un 100%, que disminuye en el proceso de compostaje, con un compost de 20% en humedad tal como indica, (Barrena, 2006), la evaporación del agua por la aireación y el incremento de la temperatura ocasionado por el calor liberado durante la degradación biológica en el compostaje, facilitan el bisecado del material hasta obtener el compost.

## **5.2.2 Propiedades químicas del compost.**

El análisis para determinar el contenido de las propiedades químicas, se realizaron en los laboratorios del IBTEN (Instituto boliviano de tecnología nuclear), para el análisis estadístico se precisó el programa Minitab 18.

### **5.2.2.1 Contenido de materia orgánica**

El contenido de Materia orgánica, al inicio del proceso de compostaje fue 21,06 % los valores hallados en el compost resultante de los cuatro tratamientos oscilaban entre 15,92% y 21,02%. La información más detallada con respecto a esta variable se puede apreciar en la tabla 5.

(Guerrero *et al.*, 2007) realizó el compostaje de material con alto contenido de nitrógeno compuesto por restos vegetal y subproductos provenientes del sacrificio de animales, cuyo resultado fue un contenido de materia orgánica entre 24,41 y 24,94 %, valores aproximados a los hallados en la presente investigación.

(Tituaña, 2009) obtuvo en promedio general para el contenido de materia orgánica en compost 54,95% este resultado se debe a que el material compostado fueron restos de poda (alto contenido de carbono) y en menor proporción estiércol vacuno, para facilitar la aireación pasiva mediante tubos PVC perforados.

La materia prima para compostar en los diferentes tratamientos del presente estudio estuvo compuesta por material orgánico de bajo contenido en carbón, con una elevada humedad por lo cual la aireación (volteo manual) es imprescindible para una adecuada biodegradación.

La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones fisicoquímicas del proceso humedad aireación temperatura y pH. Michel, *et al.* (citado por Maisincho, 2015).

Según las normas de calidad en compost de Chile (NCh.2880. 2004) y México, (NADF-020-AMBT-2011) indica que el porcentaje de materia orgánica en compost debe ser

igual o mayor 20%, los valores hallados son cercanos a este rango y al no existir una diferencia estadística significativa entre los tratamientos, como se puede observar en el cuadro 14, el compost puede ser clasificado como un compost de calidad aceptable.

Tabla 5 *Contenido inicial y final de materia orgánica en el proceso de compostaje*

<b>% Materia orgánica inicial: 21,06</b>			
<b>% Materia orgánica final</b>			
<b>Bloques Repetición</b>	<b>B1 I</b>	<b>B2 II</b>	<b>B3 III</b>
<b>T1</b>	19,67	21,19	22,19
<b>T2</b>	22,02	10,41	21,52
<b>T3</b>	18,15	17,65	13,45
<b>T4</b>	19,17	8,41	20,17

Tabla 6 *Análisis estadístico del contenido de materia orgánica en compost*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC ajust</b>	<b>MC ajust</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tratamiento</b>	3	47,460	15,820	0,81	0,533 NS
<b>Bloque</b>	2	70,390	35,190	1,8	0,244 NS
<b>Error</b>	6	117,230	19,540		
<b>Total</b>	11	235,070			

**CV= 24,79**

Valor p Probabilidad

NS no significativo

\*Significativo

CV Coeficiente de variación

El contenido de materia orgánica en los compost obtenidos en la investigación no presenta diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, el valor p (0,53) mayor al valor alfa de Fisher (0,05) No existe diferencia significativa entre bloques el valor p (0,24) mayor al valor alfa (0,05) y el CV (24,79) indican que se neutralizo el gradiente de variabilidad.

### 5.2.2.2 Contenido de nitrógeno

El contenido de nitrógeno al inicio del proceso de compostaje fue de 1,37 y al final en compost se aprecian valores promedios que oscilan entre 1 a 1,53%, la información más detallada se puede observar en la tabla 7.

(Guerrero *et al.*, 2007) Realizó el compostaje residuos vegetales, excretas animales y contenido ruminal, el resultado obtenido fue un compost con 2% de Nitrógeno, este valor es superior a lo hallados en el presente estudio. La diferencia radica en el aporte de residuos pecuarios.

Según la norma chilena de calidad del compost (NCh.2880. 2004). El compost debe tener contenidos de nitrógeno total mayor o igual a 0,5% expresado sobre la base materia seca, al respecto en promedio los tratamientos en estudio; T1 (1,31%), T2(1,0%), T3(1,3%) y T4(1,53%) se evidencia que este macronutriente se encuentra con valores adecuados.

Según la norma mexicana de calidad en compost, (NADF-020-AMBT-2011) indica que, de 1 a 3% en contenido de macronutrientes (N P K) y su suma  $\geq 7$  se clasificara como "composta-mejorador de suelos". Los valores obtenidos en los cuatro tratamientos de la investigación, respecto al contenido de nitrógeno el compost obtenido se identificó con esta denominación, ya que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos como se puede observar en la tabla 8.

Tabla 7 Contenido inicial y final de nitrógeno en el proceso de compostaje

% Nitrógeno inicial: 1,37			
% Nitrógeno final			
Bloques Repetición	B1 I	B2 II	B3 III
T1	1,14	1,33	1,47
T2	1,16	0,68	1,16
T3	1,57	1,26	1,07
T4	1,13	1,98	1,47

Tabla 8 Análisis estadístico del contenido de nitrógeno en compost

Fuente	GL	SC ajust	MC ajust	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,42197	0,140656	1,22	0,382 NS
Bloque	2	0,00815	0,004075	0,04	0,966 NS
Error	6	0,69378	0,115631		
Total	11	1,1239			

**CV=26,46**

\*Significativo

NS no significativo

Valor p Probabilidad

CV Coeficiente de variación

En la tabla 8, se puede apreciar el análisis estadístico del contenido de nitrógeno en el compost obtenido, indica que no existe diferencia significativa entre tratamientos siendo el valor p (0,38) mayor que el valor alfa de Fisher (0,05), igualmente no existe una diferencia significativa entre los bloques el valor p (0,97) mayor al valor alfa (0,05) y el CV (26,46) señalan que se neutralizó el gradiente de variabilidad.

### 5.2.2.3 Contenido de fósforo

El contenido de fósforo al inicio del proceso de compostaje fue de 0,23 %, en compost, los valores oscilan entre 0,21% a 0,11%. La información más detallada con respecto a esta variable se puede apreciar en la tabla 9.



Según la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167, 2004) el compost debe presentar un contenido de fósforo entre el 1 a 4 %. En ninguno de los tratamientos evaluados en la presente investigación se registró los valores establecidos en la norma.

El bajo contenido de fósforo, puede deberse al tiempo de compostaje, en los tratamientos que el periodo de compostaje fue más extenso (T3, 127 días y T4, 148 días), se registró el valor de 0,21% mayor, que en aquellos con un periodo de compostaje menor (T1, 50 días y T2, 85 días), en el que la cantidad de fósforo osciló entre 0,11 y 0,13%. Este factor podría ser la causa de la diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, que se puede apreciar en la tabla 10.

El fósforo se encuentra en mayor cantidad en el estado avanzado de descomposición de los materiales vegetales llegando a presentarse en los coloides en forma de humus, que es una forma estable de la materia orgánica su mineralización está regulada por la biomasa microbiana que es el componente orgánico central del ciclo del fósforo contenido en el material orgánico. Bobadilla y Rincón (citado por Navia, *et al. sf.*).

(Vázquez, 2008) Halló el valor de 0,29% de contenido de fósforo en compost resultante de residuos vegetales y estiércol bovino, un valor bajo similar al encontrado en el presente estudio, que se atribuye al tipo de material compostado y similar periodo de compostaje.

El contenido del macronutriente fósforo entre el rango de 0.15 a 1.5% es considerado un compost comercialmente aceptable. (Pérez y Zeledón, 2007) el promedio de contenido de fósforo en los tratamientos T3 y T4 cumple con esta condición para ser considerado como un producto en el comercio de fertilizantes orgánicos.

Tabla 9 Contenido inicial y final de fosforo en el proceso de compostaje

% Fosforo inicial: 0,23			
% Fosforo final			
Bloques Repetición	B1 I	B2 II	B3 III
T1	0,13	0,1	0,10
T2	0,10	0,19	0,11
T3	0,20	0,20	0,23
T4	0,22	0,19	0,21

Tabla 10 Análisis estadístico del contenido de fosforo en compost

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,023367	0,007789	7,32	0,02*
Bloque	2	0,00015	0,000075	0,07	0,933 NS
Error	6	0,006383	0,001064		
Total	11	0,0299			

**CV= 19,77**

\*Significativo

NS no significativo

Valor p Probabilidad

CV Coeficiente de variación

En la tabla 10, se puede apreciar, el análisis estadístico para el contenido del macronutriente fosforo, muestra una diferencia significativa entre tratamientos, el valor p (0,02) es menor al valor alfa de Fisher (0,05). No existe diferencia significativa entre bloques el valor p (0,93) es mayor al valor alfa (0,05) y el CV (19,77) indican que se neutralizo el gradiente de variabilidad.

Al existir una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de medias Tukey respecto al contenido del macronutriente fosforo en el compost obtenido en la investigación.

Tabla 11 Prueba de medias Tukey para el contenido de fosforo

Factor	N	Media	Agrupación	
T4	3	0,21000	A	
T3	3	0,20667	A	B
T2	3	0,13330	B C	
T1	3	0,11000	C	

Nota: las medias que no comparten letras son significativamente diferentes.

En la prueba de medias Tukey que se puede observar en la tabla 11, el contenido de fosforo en los tratamientos en estudio se determinan tres grupos; el primer está conformado por el tratamiento T4 (0,21%) y T3 (0,21%) el segundo estadísticamente similar los tratamientos T3 (0,21%) y T2 (0,13%) y por último los tratamientos T2 (0,13%) y T1 (0,11%) con los valores más bajos.

#### 5.2.2.4 Contenido de potasio

El contenido de potasio al inicio del proceso de compostaje fue 1,77 % y en compost oscilaron entre los promedios de 0,92 % a 1,49 %. El contenido de este macronutriente a detalle se puede apreciar en la tabla 12.

(Vázquez, 2008). Indica que el contenido de potasio en compost procedente de residuos orgánicos vegetales y estiércol bovino fue de 1,47% y un pH de 8,17, valores similares a los hallados en la presente investigación.

El incremento en el nivel de pH ayuda a mejorar el ambiente propicio para la acción de los microorganismos encargados de la mineralización del potasio contenido en la materia orgánica, Bhattarai, *et al.* (citado por Navia, *et al sf.*)

En el presente estudio de investigación el pH registrado en los cuatro tratamientos se encuentra en el valor aproximado de 8,4 ligeramente alcalino, que influyo para que el contenido de potasio en los compost resultantes posea cantidades adecuadas de este macroelemento.

Según la norma mexicana de calidad en compost (NADF-020-AMBT-2011) el contenido de potasio en compost es de 1 a 3 %. Los valores promedios en contenido de potasio en los cuatro tratamientos en estudio son aproximados a este rango y no presenta una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos como se puede apreciar en la tabla 13, por lo cual la clasificación correspondiente sería “compost mejorador de suelos”.

Tabla 12 *Contenido inicial y final de potasio en proceso de compostaje*

<b>% Potasio inicial: 1,77</b>			
<b>% Potasio final</b>			
<b>Bloques Repetición</b>	<b>B1 I</b>	<b>B2 II</b>	<b>B3 III</b>
<b>T1</b>	1,17	1,25	1,49
<b>T2</b>	1,12	0,68	1,27
<b>T3</b>	0,68	1,13	0,94
<b>T4</b>	0,98	0,88	1,09

Tabla 13 *Análisis estadístico del contenido de potasio en compost*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC ajust.</b>	<b>MC ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tratamiento</b>	3	0,2608	0,08693	2,10	0,202 NS
<b>Bloque</b>	2	0,1190	0,05951	1,44	0,309 NS
<b>Error</b>	6	0,2486	0,04144		
<b>Total</b>	11	0,6285			

**CV= 19,27**

\*Significativo

NS no significativo

Valor p Probabilidad

CV Coeficiente de variación

En la tabla 13 se puede observar, que el análisis estadístico del contenido de potasio refleja que no existe ninguna diferencia significativa entre tratamientos, siendo el valor p (0,20) mayor al valor alfa de Fisher (0.05). No existe diferencia significativa entre bloques el valor p (0,31) mayor al valor alfa (0,05) y el CV (19,27) indican que se neutralizo el gradiente de variabilidad.

### **5.2.2.5 Relación carbono/ nitrógeno (C/N)**

La relación C/N al inicio del proceso de compostaje fue de 8,9, en el compost resultante el valor promedio oscila entre 6,75 y 10,22. Los valores para esta variable se encuentra de forma detallada en la tabla 14.

(Robles, 2015) Indica que una relación C/N óptima de entrada, es decir material fresco es de 25 unidades de carbono por uno de nitrógeno, mientras que para una relación de C/N de salida para el uso agronómico como abono se considera de 12 a 15 un rango adecuado.

La relación C/N teórica ideal para el proceso de compostaje se encuentra entre 25 y 35. Con relaciones menores se volatiliza mucho nitrógeno y con relaciones mayores la descomposición orgánica es muy lenta. (Pérez y Zeledón, 2007)

La relación C/N en el material orgánico de inicio (8,9) considerando lo descrito en el texto anterior es un valor bajo según (Bueno *et al. sf*). Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido por el exceso de nitrógeno que se desprende de forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de la relación C/N en el proceso. Estas pérdidas no afectan negativamente al compostaje.

El papel del pH es muy importante en la transformación del nitrógeno, ya que para valores mayores de pH 9, se tendrá pérdidas de nitrógeno en forma de amonio y el nitrógeno disponible en el producto final disminuirá. Barrington *et al.* (citado por Barrón, 2013). Los resultados obtenidos el valor del pH (8,3 - 8,4) en los cuatro tratamientos en estudio indican que no existió pérdidas considerables de nitrógeno en el proceso de biodegradación.

(Rafael, 2015). Obtuvo el valor en relación C/N de 9,71 en compostaje de residuos vegetales y pecuarios con diferente dosificación de microorganismos, este valor coincide con los resultados hallados en este estudio.

Los datos finales registrados en los diferentes tratamientos de la presente investigación se encuentran en una variación aproximada de 7 a 9 en relación C/N son

valores que se adecuan a los requeridos para este parámetro según la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167, 2004) La relación C/N final debe ser menor a 20 y la Norma ambiental mexicana (NADF-020-AMBT-2011), indica que debe ser menor a 15 el valor final de esta variable.

Con respecto a los valores hallados de esta variable, se afirma que no existe diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos tal como se puede observar en la tabla 15, el compost obtenido se podrían clasificar según la última norma citada, como compost clase A (sustrato apto para viveros y macetas), en esta clasificación no se contempla la característica del material de inicio, como ser un alto contenido de nitrógeno por lo cual la clasificación más apropiada será, compost clase B (apto para la agricultura ecológica y reforestación).

Tabla 14 *Contenido inicial y final de la relación C/N en el proceso de compostaje*

<b>Relación C/N inicial: 8,9</b>			
<b>Relación C/N final</b>			
<b>Bloques Repetición</b>	<b>B1 I</b>	<b>B2 II</b>	<b>B3 III</b>
<b>T1</b>	10,01	9,24	8,76
<b>T2</b>	11,01	8,88	10,76
<b>T3</b>	6,71	8,13	7,29
<b>T4</b>	9,84	2,46	7,96

Tabla 15 *Análisis estadístico del contenido de la relación C/N*

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC ajust.</b>	<b>MC ajust.</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tratamiento</b>	3	23,8	7,935	2,01	0,214 NS
<b>Bloque</b>	2	10,26	5,128	1,30	0,34 NS
<b>Error</b>	6	23,69	3,948		
<b>Total</b>	11	57,75			

**CV= 23,60**

\*Significativo                      Valor p Probabilidad  
NS no significativo                  CV Coeficiente de variación

En la tabla 15, se puede apreciar el análisis estadístico de la relación de carbono / nitrógeno C/N, los valores hallados en el compost obtenido en la presente investigación no presenta diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos, el valor p (0,21) es mayor al valor alfa de Fisher (0,05) No existe diferencia significativa entre bloques el valor p (0,34) mayor al valor alfa (0,05) y el CV (23,60) indican que se neutralizo el gradiente de variabilidad.

#### **5.2.2.6 Valor de pH en compost**

El valor inicial de pH en el proceso de compostaje fue de 6,01, los valores hallados en el compost se encuentran en un rango de 8,41 y 8,3, la información más detallada de los valores con respecto a esta variable se encuentra en la tabla 16.

El valor del pH registrado para todos los tratamientos en el presente estudio fue alcalinizándose al final del proceso de compostaje, este dato está relacionado como lo indica (Román, *et al.*, 2013). Cuando hay exceso de nitrógeno en el material de origen con una deficiente relación C/N asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.

Datos similares fueron obtenidos por (Soriano, 2016). El pH obtenido en promedio de cuatro tratamientos de compost (residuos orgánicos urbanos y estiércol de vaca) al inicio del proceso de compostaje oscilo entre 7,9 a 8,1 y al finalizar valores de 8.5 a 8,7 en compost.

(Vásquez, 2008), hallo valores de pH 8,17 a 8,23 en compostaje con características muy similares a la metodología aplicada en la presente investigación

En promedio los valores de pH (8,3 - 8,4) no presenta diferencias estadísticamente significativas como se puede observar en la tabla 17, además los valores se encuentran dentro del rango permitido 6 a 8,5 según la Norma Chilena de calidad del compost (NCh.2880, 2004). Clasificando los compost resultantes como tipo A, apto para sustrato y abono en la agricultura.

Tabla 16 *pH inicial y final en compost en el proceso de compostaje*

pH inicial: 6,01			
pH final			
Bloques Repetición	B1 I	B2 II	B3 III
T1	8,52	8,36	8,36
T2	8,33	8,61	8,00
T3	8,42	8,45	8,34
T4	8,09	8,49	8,32

Tabla 17 *Análisis estadístico de los valores de pH en compost*

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,03142	0,01047	0,33	0,804 NS
Bloque	2	0,10085	0,05042	1,59	0,278 NS
Error	6	0,18975	0,03163		
Total	11	0,32202			

**CV= 2,13**

\*Significativo

NS no significativo

Valor p; Probabilidad

CV coeficiente de variación

El análisis estadístico de pH en los compost obtenidos no muestra una diferencia significativa, el valor p (0,80) es mayor a valor alfa de Fisher (0,05). Tampoco existe diferencia significativa entre los bloques siendo el valor (0,28) superior al valor alfa (0,05) y el CV (2,13) indica que se neutralizó el gradiente de variabilidad.

#### **5.2.2.7 Valor de la Conductividad Eléctrica CE en el compost**

El valor inicial de CE fue de 0,95 y el valor promedio en compost osciló entre 2,7 ds/m y 5,82 ds/m. La información más detallada con respecto a esta variable se encuentra en la tabla 18

(Rafael, 2015), Respecto al resultado de CE en compost obtenido de residuos vegetales, avícolas y de ganado bovino, con diferente dosificación de microorganismos



eficientes alcanzo valores elevados en un rango de 13 ds/m y 10,56 ds/m. A diferencia de la presente investigación en la cual no se realizó ningún aporte de origen pecuario por lo cual el compost resultante no presenta problemas graves de salinidad siendo aplicable en la agricultura.

Según la guía de uso de composta en producción de hortalizas (Ozores, 2016) indica que el contenido de sales solubles en compost menor a 6 dS/m no es considerado toxico.

Según el requerimiento de la Norma Chilena de calidad de compost (NCh. 2880, 2004), los valores de CE deben ser menor a 3 ds/m para ser clasificados como compost tipo A y menor o igual a 8 dS/m para compost tipo B.

El tratamiento T4 y T3 son clasificados como compost clase A (apto para su aplicación como sustrato en viveros), la conductividad eléctrica es menor a 3 dS/m. Los tratamientos T1, T2 se clasifica como compost clase B, (aplicación en agricultura orgánica y forestación)

Los valores hallados de CE en los cuatro tratamientos evaluados presentan diferencia estadísticamente significativa, como se puede observar en la tabla 19.

Según (Bueno, *sf*) la CE debería incrementarse al final del proceso de compostaje, debido a la mineralización de la materia orgánica, en ocasiones un descenso de la CE puede deberse a un posible lavado de sales mediante la adición de agua a la pila de compostaje, este parece ser el caso ya que los tratamientos T3 y T4 se añadió 16 y 23,5 l de agua respectivamente.

La dosis de compost que puede añadirse a un suelo debe de ser proporcional a la CE del compost. Un exceso de salinidad en la solución del suelo dificulta la absorción de agua por las raíces de las plantas, de modo que, en algunos casos, en esas condiciones solo prosperan las especies resistentes. (Bueno, *sf*).

Tabla 18 Conductividad Eléctrica CE inicial y final en proceso de compostaje

CE (dS/m) inicial: 0,95			
CE (dS/m) final			
Bloques Repetición	B1 I	B2 II	B3 III
T1	4,93	7,16	5,37
T2	5,74	4,00	5,86
T3	4,49	4,84	3,69
T4	2,76	2,51	2,89

Tabla 19 Análisis estadístico de la CE en compost

Fuente	GL	SC ajust.	MC ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	16,455	5,48501	5,84	0,033 *
Bloque	2	0,0780	0,03901	0,04	0,96 NS
Error	6	5,6337	0,93894		
Total	11	22,166			

**CV= 21,46**

\*Significativo

NS no significativo

Valor p; probabilidad

CV coeficiente de variación

El análisis estadístico de concentración de sales CE en el compost revela una diferencia estadística significativa entre los tratamientos, el valor p (0,033) es menor al valor alfa de Fisher (0,05), No existe diferencia significativa entre bloques el valor p (0,96) mayor al valor alfa (0,05) que al igual que el CV (21,46) indica que se neutralizo el gradiente de variabilidad.

Al existir una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos se procedió a realizar la prueba de medias Tukey respecto a la conductividad eléctrica CE en el compost obtenido en la investigación.

Tabla 20 Comparación de medias prueba Tukey para CE

Factor	N	Media	Agrupación
T1	3	5,82	A
T2	3	5,20	A
T3	3	4,34	A B
T4	3	2,70	B

Nota: las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

La prueba de medias de Tukey al 95 % de confianza señala que existen dos grupos; el primero comprendido por el tratamiento T1(5,82 dS/m), T2(5,2 dS/m) y T3(4,34dS/m) el segundo grupo T3 (4,34 dS/m), T4(2,70 dS/m) con menor concentración de sales.

## 5.2.3 Características biológicas del compost

### 5.2.3.1 Test de fitotoxicidad

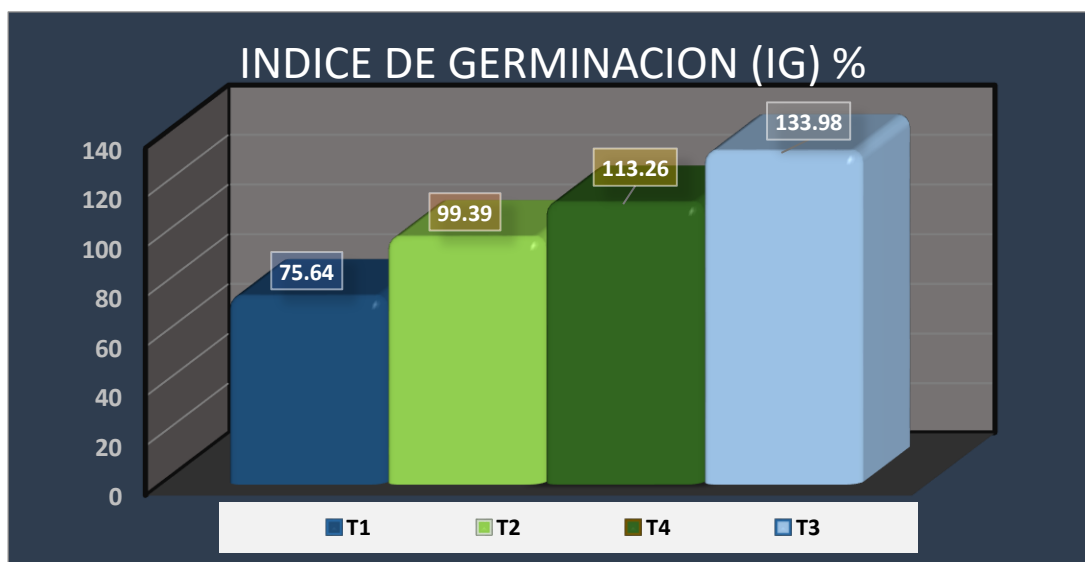


Figura 29 Índice de germinación

En la figura 29, se puede apreciar, los resultados obtenidos en la prueba de fitotoxicidad en compost, a través del índice de germinación (IG) en semillas de rábano (*Raphanos sativum L.*). En los tratamientos T2, T3 y T4, el IG es superior al 90%, solo el tratamiento T1 presenta un índice de germinación menor a 80%.

Según la Norma Chilena de calidad del compost (NCh 2880, 2004) con respecto a la fitotoxicidad en compost este debe presentar un índice de germinación en semillas de rábano (*Raphanos sativum L.*), mayor o igual a 80% para ser considerado un compost maduro.

Según la norma anterior, el índice de germinación en los tratamientos T2 (99,9%), T3 (133,98%) y T4 (113,26%), indica que no existe problemas de fitotoxicidad, al contrario, se puede observar que el compost estimula el desarrollo vegetal.

(Vasco, 2017) Señala que el compost de origen vegetal, puede actuar como potencial agente Fito estimulante, lo cual estaría directamente relacionado con el carácter biofertilizante del propio compost. Se ha comprobado la capacidad de dos cepas de pseudomonas microbianas capaces de producir: niacina y ácido pantoténico y altas cantidades de ácido indol acético.

(Pérez y Zeledón, 2007) Realizaron pruebas de fitotoxicidad con semillas de rábano, en compostaje de residuos agroindustriales vitícolas y de café, los valores obtenidos oscilan entre 97% y 91%, esto indica que al igual que los tres tratamientos de la presente investigación, cuyo índice de germinación es superior a 90% el material alcanza una madurez adecuada.

El tratamiento T1 presenta un IG de 75,64% que según la norma chilena (NCh 2880, 2004) es considerado como un compost con ligera fitotoxicidad que debe ser aplicado con un periodo de anticipación a los cultivos. La conductividad eléctrica afecta de forma directa al desarrollo vegetal, ya que este tratamiento presenta el valor más alto (5,82 ds/m) en comparación a los otros tratamientos.

(Chávez, 2015) Encontró valores para índice de germinación entre 80% y 51,67% en compost procedente de residuos vegetales y estiércol bovino. El valor reveló problemas de fitotoxicidad a causa de una mayor concentración de sales.

también podría ser posible que, la ligera fitotoxicidad hallada en el compost del tratamiento T1 se deba a la falta de madurez de este, siendo el que menor periodo compostaje (50 días) presento.

(Varnero, *et. al.* 2007) realizo el compostaje de residuos agroindustriales (vitivinícolas y de café) y fruta fresca, hallando valores de IG inferiores a 80% en semillas de rabanito, el autor afirma que los metabolitos fitotóxicos del compost inmaduro son incapaces de inhibir la germinación, pero si limitar el desarrollo de sus radículas.

### 5.2.3.2 Viabilidad de semillas de maleza

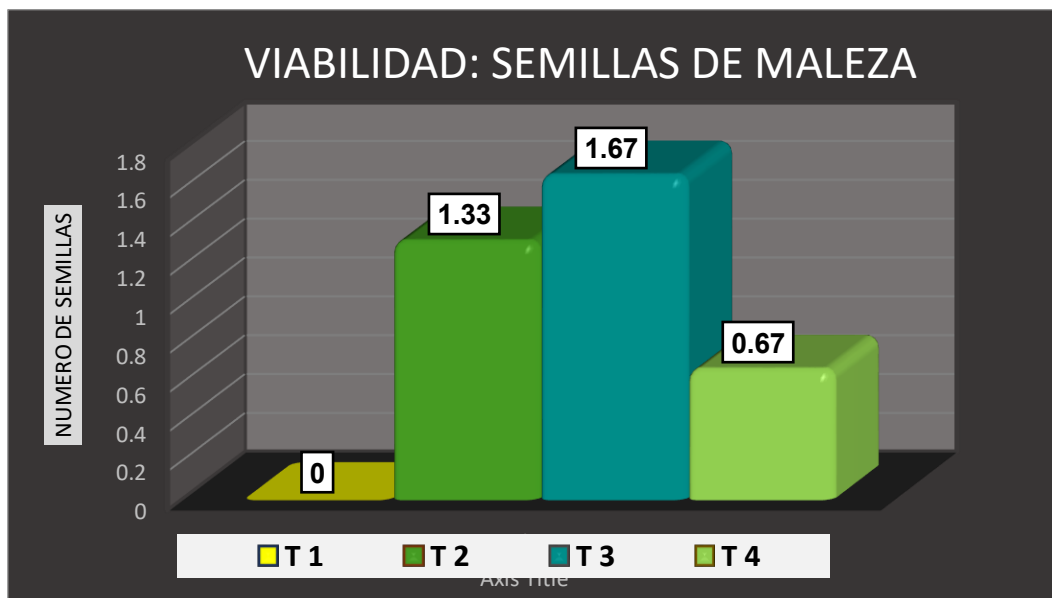


Figura 30 Viabilidad: semillas de maleza

En la figura 30, se puede observar el número de semillas viables en compost.

El tratamiento T1 no presenta ninguna semilla viable, en los tratamientos T2, T3 y T4 el número de semillas germinadas fue inferior a dos.

En el tratamiento T1 no se registró semillas viables la razón se debería a la moderada fitotoxicidad por la falta de madurez del compost y una CE mayor.

La supresión del crecimiento de malezas es un atributo importante cuando el compost este inmaduro y es utilizado como mulch (compost depositado en la superficie del suelo y a la presencia de componentes fitotóxicos (ácidos grasos volátiles y/o amonio) en el compost inmaduro. (Ozores, H. M. 2016)

En los tres tratamientos (T2, T3 y T4), se observó viabilidad de semillas de la especie vegetal identificada como Cenizo o Quinuilla (*Chenopodium álbum* L.).

Características botánicas de la Quinuilla descritas según el sistema nacional argentino de vigilancia y monitoreo de plagas (SINAVIMO *sf.*)

La taxonomía de esta especie vegetal corresponde a:

- Dicotyledonae
- Caryophyllales
- Chenopodiaceae

Descripción biológica: Plántula de porte erguido, Cotiledones semicarnosos de ápice obtuso, peciolo breve. La primera y segunda hoja de borde entero con un par de lóbulos basales, más densa en la cara interior. Hojas siguientes, de borde dentado-lobulado especialmente en la base, pubescencia vesiculosa blanca o rosada en ambas caras y especialmente en hojas jóvenes. Ciclo anual, primavera-estival.

Flores con cinco pétalos aquillados, en glomérulos dispuestos en panículas axilares o terminales, semillas negras y brillantes, horizontales en el fruto. Distribución plurirregional. Universidad pública de Navarra (UPNA, *sf.*)



Figura 31. Quinuilla (*Chenopodium album* L.). Fuente: propia de la investigación

Según la Norma Chilena de calidad del compost (NCh 2880, 2004). Las semillas de maleza deben germinar un máximo de 2 propágulos por litro de compost. El número de semillas viables que lograron desarrollar fueron menor a dos (T2 =1,33, T3=1,67 y T4=0,67). Los compost resultantes de estos tratamientos pueden ser aplicados con fines agrícolas, forestales etc. sin riesgo de ser vectores de especies vegetales.

### 5.3 Cromatografía para evaluar la calidad del compost

#### 5.3.1 Cromatografía tratamiento T1



Figura 32 Cromatografía del tratamiento T1

La figura 32 pertenece al cromograma del tratamiento T1 cuya interpretación es la siguiente:

Zona central, es de color crema lo cual indica que la materia orgánica tenía una oxigenación adecuada, no presenta una interacción con la siguiente zona.

Zona mineral, con tonalidades cafés y una radiación en forma de plumilla indica una alta actividad microbiana no se aprecia una transición armoniosa con la zona correspondiente a la materia orgánica.

Zona de materia orgánica, la cual es de color marrón con estructuras angulosas como puntas de aguja, que indica la presencia de una cantidad adecuada de materia orgánica en proceso de descomposición, y poca integración con la zona enzimática.



Zona enzimática, la cual es de un color claro beige en la que no se aprecia lunares enzimáticos es decir que no existe humificación de la materia orgánica.

(Restrepo y Pinherio., 2011), indican que la falta de integración entre las zonas correspondientes al croma y la ausencia de compuestos húmicos, es característico de un compost que no cuenta con una madurez suficiente para su uso como abono.

El resultado de la cromatografía del compost correspondiente al tratamiento T1 es respaldado con las pruebas de biológicas, en la cual se evidencia una ligera fitotoxicidad.

### 5.3.2 Cromatografía tratamiento T2



Figura 33 Cromatografía de compost Tratamiento T2

La figura 33 corresponde al cromograma del tratamiento T2, cuya interpretación es la siguiente:

Zona central, presenta un color cremoso apropiado para un compost con una buena oxigenación que se integra de manera armoniosa con la zona mineral.

Zona mineral, presenta colores con tonalidades cafés que señalan una alta actividad microbiana la interacción con la zona orgánica es armoniosa.

Zona de la materia orgánica, presenta un color marrón que indica un alto contenido de materia orgánica, se integra con radiales ramificados a la zona enzimática.

Zona enzimática, se parecía un color café de baja tonalidad, con lunares enzimáticos característica propia de la formación de humus, es un compost maduro

(Restrepo y Pinheiro., 2011) señala que la integración con radiales en forma de plumilla entre la zona orgánica y la enzimática y la presencia de sustancias húmicas es un indicador de alta actividad biológica y una transformación de la materia orgánica a humus estable.

(Nivia, 2017). Indica que, en la cromatografía de muestras de compost, un oscurecimiento especialmente en la zona enzimática es un signo de la presencia de ácidos húmicos los cuales son las reservas nutricionales para las plantas.

El resultado encontrado en la cromatografía para este tratamiento coincide con las pruebas químicas y biológicas, indicando que el compost presenta una calidad óptima.

### 5.3.3 Cromatografía tratamiento T3



Figura 34 cromatografía de compost tratamiento T3

La figura 34 pertenece al cromograma del tratamiento T3, cuya interpretación es la siguiente:

Zona central, presenta una coloración cremosa clara, que señala una aireación adecuada, con una integración armoniosa con la zona mineral.

Zona mineral, muestra un color en tonalidades cafés, que indica una alta actividad microbiana. Se conecta de manera sutil mediante los radiales con la zona orgánica

Zona de la materia orgánica, presenta un color marrón, que indica un alto contenido de materia orgánica, la estructura al final de la zona está compuesta por pequeños picos, que se integra con radiales ramificados a la zona enzimática.

Zona enzimática, en la cual se aprecia unas estructuras marrones que se conectan desde la zona orgánica y se pronuncian de manera más visible en la cercanía de la

zona periférica indicando una reestructuración adecuada de la materia orgánica con presencia de compuestos húmicos

(Restrepo y Pinherio, 2011), Indican que la calidad del compost se evidencia por la cantidad de enzimas que se expresan en forma de nubes o bolsitas de color café en la zona enzimática, es la típica característica de un suelo o abono de alto valor biológico y buena reserva nutricional para los cultivos.

Las pruebas químicas y biológicas realizada para este tratamiento confirman que el compost alcanzo una madurez adecuada.

#### 5.3.4 Cromatografía tratamiento T4



Figura 35 Cromatografía de compost, tratamiento T4

La figura 35 pertenece al croma del tratamiento T4, cuya interpretación es la siguiente:

Zona central presenta, una coloración de tonalidad café que se separa de manera marcada de la zona mineral lo cual indica una oxigenación deficiente.

Zona mineral, presenta un color café con tonalidades bajas, indica una actividad microbiana latente, tiene poca interacción con la zona orgánica a través de pequeñas estructuras angulosas parecidas a una sierra.

Zona de la materia orgánica, presenta un color marrón propio de sustratos con un contenido alto de materia orgánica, en la transición a la zona enzimática se observa estructuras en forma de picos angulosos, lo cual indica una falta de descomposición de la materia orgánica.

Zona enzimática, presenta una coloración clara uniforme, lo cual indica ausencia de compuestos húmicos.

Sin embargo, las pruebas químicas y biológicas presumen que se trata de un compost con una madurez adecuada. Esto se debería principalmente al lavado de sales que existió en el tratamiento, ya que fue el que menor CE (2,7 ds/m) presento y una mayor adición de agua (23,5 l) durante el compostaje

(Restrepo y Pinherio., 2011), señalan que la ausencia de ramificación en los radiales del croma, son un indicador de mala calidad de suelo o abonos evidenciando una falta de oxígeno a causa de la compactación.

Pfeiffer 1984 citado por (Nivia, 2017), indica que en estudios realizados de diversos suelos con análisis convencionales no se veía diferencias significativas pero los cultivos no presentaban desarrollos semejantes, entonces solo a través de la cromatografía se hizo evidente que la diferencia radicaba en la actividad biológica.

El compost resultante de este tratamiento al haberse presentado condiciones anaeróbicas que ralentizaron la actividad biológica por el poco aporte de oxígeno durante el proceso de compostaje no cuenta con una madurez adecuada.

## 5.4 Análisis económico

### 5.4.1 Costos de materiales e insumos de laboratorio y equipos

Las materiales e insumos y los equipos mencionados en la tabla 21, corresponden propiamente a la investigación, en el seguimiento y las características en cuanto a calidad agronómica del producto final en el proceso de compostaje. No formaron parte del análisis de rentabilidad ya que no son inherentes al proceso de biodegradación.

Tabla 21 *Costos de materiales, insumos y equipo*

Insumos y reactivos de laboratorio	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo total Bs.
Agua destilada	l	20	10	200
Papel filtro cualitativo	Hoja	50	5	250
Nitrato de plata	gr	1	30	30
Hidróxido de sodio	gr	10	1	10
Semillas de rábano	oz	0,5	15	7,5
Costo parcial				502,5
<b>Equipos y materiales</b>				
Balanza digital	Pieza	1	120	120
Termómetro ambiental	Pieza	1	30	30
Termómetro geológico	Pieza	1	250	250
Conductímetro portátil	Pieza	1	500	500
Medidor analógico de pH y humedad	Pieza	1	250	250
Sacabocado de golpe	Pieza	1	10	10
Matraz Erlenmeyer 250 ml	Pieza	1	55	55
Vaso de precipitado 250 ml	Pieza	1	55	55
Varilla de agitación	Pieza	1	10	10
Caja Petri de 5cm de diámetro	Pieza	3	15	45
Caja Petri 10 cm de diámetro	Pieza	3	20	60
Costo parcial				1385
<b>TOTAL</b>				<b>1887,5</b>

### 5.4.2 Costos de implementación del proceso de compostaje

Los materiales necesarios para la construcción de las unidades de compostaje se detallan en la tabla 22.

Tabla 22 Costos de materiales de implementación del proceso de compostaje

Materiales	Unidad	cantidad	Precio unitario	Costo total Bs.
Madera (reciclada)	Pallets			150
Calamina plástica (reciclada)	Hoja	6	10	60
Agrofilm	m	2	45	90
Pico	Pieza	1	25	25
Pala	Pieza	1	25	25
Martillo	Pieza	1	15	15
Rastrillo	Pieza	1	15	15
Balanza	Pieza	1	20	20
Nivel	Pieza	1	5	5
Malla metálica	Pieza	1	10	10
Bisagras	Pieza	24	2	48
Clavos	kg	2	10	20
Tornillos	Caja	1	15	15
Costo parcial				498,00
Costo (amortización 2 años)				249,00
Costo por unidad de compostaje				20,75

#### 5.4.2.1 Costo de materia prima

Los residuos orgánicos urbanos no tienen valor alguno, mientras no sean sometidos a procesos de transformación, el costo está relacionado únicamente con el transporte.

Tabla 23 Costo materia prima

Materia prima	Unidad	Cantidad	Costo total Bs.
Transporte de residuos organicos urbanos	kg	600	200
Costo por unidad de compostaje	kg	50	16,67

#### 5.4.2.2 Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra se dedujeron del salario mínimo nacional (2,250 Bs.) en el cual se toma en cuenta 240 horas mensuales que incluyen las horas de descanso, en la contabilización monetaria del trabajo a tiempo parcial la hora laboral se puntualiza solo las horas efectivas de trabajo sumando un total de 208 horas mensuales, siendo el salario mínimo por hora aproximadamente 9,4 Bs.

Tabla 24 *Costos de mano de obra*

Tratamientos	Volteos manuales	Tiempo (horas) para el volteo	Horas trabajadas	Costo salario mínimo/hora	Costo total Bs.
T1	9	0,25	2,25	9,4	21,15
T2	8	0,25	2,00	9,4	18,80
T3	8	0,25	2,00	9,4	18,80
T4	7	0,25	1,75	9,4	16,45

## 5.5 Relación beneficio/ costo (B/C)

El correspondiente análisis de rentabilidad de la producción de compost en un área urbana se basó en; los costos de proceso de compostaje, materia prima y mano de obra, los cuales son necesarios para implementar el proyecto.

Tabla 25 *Costos generales del proceso de compostaje*

Tratamientos	Costos del proceso de compostaje Bs.	Costo de materia prima Bs.	Costo de mano de obra Bs.	Costo total Bs.
T1	20,75	16,67	21,15	58,57
T2	20,75	16,67	18,80	56,22
T3	20,75	16,67	18,80	56,22
T4	20,75	16,67	16,45	53,87

Los beneficios obtenidos en base a rendimiento de compost al no contar con un precio establecido en el mercado se evaluaron con referencia al precio (10 Bs/kg) del abono orgánico procedente de la lombricultura.

Tabla 26 *Beneficios en base a rendimiento (kg) e compost*

Tratamientos	Rendimiento en compost kg	Precio unitario Bs.	Beneficio bruto Bs.
T1	12,27	10	122,70
T2	16,00	10	160,00
T3	13,07	10	130,70
T4	11,80	10	118,00



El análisis de rentabilidad se efectuó en base a la relación beneficio costo por unidad experimental, tomando en cuenta los factores económicos más relevantes en la producción de compost.

Tabla 27 *Relación beneficio costo B/C*

Tratamientos	Beneficio bruto Bs.	Costos Bs.	Beneficio neto Bs.	Relación B/C
T1	122,70	58,57	64,13	2,09
T2	160,00	56,22	103,78	2,85
T3	130,70	56,22	74,48	2,31
T4	118,00	53,87	64,13	2,19

El análisis de rentabilidad del presente estudio detallado en la tabla 27. Indica que la producción de compost presenta una relación beneficio costo optima en todos los tratamientos, los valores hallados son superior a uno, es decir existen utilidades al margen de los costos de producción.

El resultado positivo en cuanto a la rentabilidad se debe principalmente a la materia prima, considerada como residuo sin valor económico, como es el caso de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, obteniendo un producto de valor agregado mediante el proceso de compostaje.

La diferencia en cuanto a rentabilidad entre tratamientos es marcada, siendo el tratamiento T2 el que mayor relación beneficio costo presenta Bs. 2,85 Es decir que por cada boliviano invertido se tiene una ganancia de Bs. 1.85. seguido por el tratamiento T3 con una rentabilidad de Bs. 2,31 con un beneficio de Bs. 1,41, el tratamiento T4 presenta una rentabilidad Bs. 2,19 con una utilidad de Bs. 1,19, finalmente el tratamiento T1 con una rentabilidad de 2,19 siendo el margen de ganancia de Bs 1,19 es el que menor utilidad económica presenta en comparación a los demás tratamientos.

La rentabilidad también incide en el bienestar social que el proyecto puede brindar, así como menciona (Guerrero, 2014) Los beneficios son todos los que se derivan para los miembros de una sociedad con independencia de que se traduzcan o no en ingresos.

En este aspecto la producción de compost involucra a la sociedad como elemento principal en la reducción de residuos, como también de concientización ambiental abriendo diferentes posibilidades en cuanto a la aplicación del compost como ser: la agricultura urbana, la promoción de ciudades verdes, recuperación de suelos, forestal y en la producción agrícola mejorando la calidad de vida.

## 6 CONCLUSIONES

Los parámetros físicos y químicos variaron entre los tratamientos en el proceso de compostaje, en este sentido los tratamientos T2 y T3 fueron los que presentaron una temperatura más estable y una pérdida de humedad gradual, pH y CE adecuado en el proceso. Mientras que el T1 y T4 presentaron una mayor variación térmica, la evolución del pH fue normal durante el proceso, con respecto a la CE el tratamiento T1 presentó un valor elevado respecto a los demás tratamientos, lo opuesto al tratamiento T4 en el que existió un parcial lavado de sales.

El tiempo de compostaje disminuye significativamente con aportes de oxígeno, también influye en la calidad del compost. Con respecto a las propiedades químicas y pruebas biológicas se determinó que, el compost resultante de los tratamientos T2 y T3 es tipo "A" apto para el uso como sustrato o abono y el compost procedente de los tratamientos T1 y T4 tipo "B", idóneo para ser aplicado al suelo como cobertura de suelos en la agricultura y forestación.

Las cromatografías realizadas en el compost, señala que el T2 y T3 presentaron mejor biodegradación, como resultado un compost con madurez adecuada, ya que se pueden apreciar el contenido de sustancias húmicas; de forma contraria, el compost de los tratamientos T1 y T4 no presentó dichas sustancias, se determinó que el compost no alcanzó una madurez apropiada.

La rentabilidad fue óptima en todos los tratamientos, siendo el T2 el que mayor B/C presentó (Bs.2,85) y el T1 el de menor rentabilidad (Bs. 2,09) respectivamente.

## **7 RECOMENDACIONES**

Se recomienda el procedimiento realizado en el tratamiento T2 para la obtención de compost con una óptima calidad para uso agrícola, también es el tratamiento con mejor rentabilidad económica.

El tratamiento T1 es apropiado para facilitar el manejo de residuos orgánicos urbanos en menor tiempo, recomendando la aplicación del compost resultante como cobertura del suelo.

Se recomienda alternar la frecuencia de aeración en el proceso de compostaje, es decir más continua al inicio y pausada al final. Evaluar su efecto en el periodo de compostaje y la madurez del compost resultante.

El compost no solo es un abono también es un acondicionador de suelo por la lenta liberación de nutrientes con una madurez adecuada, se recomienda su uso como sustrato sobre todo en agricultura urbana, lo cual permitiría reducir la explotación de turberas.

se recomienda la producción de compost en los domicilios, para una correcta separación de los residuos orgánicos y que estos no se contaminen, garantizando una mayor inocuidad en el abono resultante. Además, a nivel municipal esto significaría una disminución de costo en el manejo de residuos.

Se recomienda realizar estudios de investigación, sobre la biodesinfección de suelos con materia orgánica sin previo tratamiento como una opción más para el manejo de residuos orgánicos urbanos.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta C. W. y Peralta F. M 2015; Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Trabajo de grado. Universidad de Cundinamarca, facultad de ciencias agropecuarias, programa de zootecnia. Colombia. 116 pág. Consultado 5/01/19 disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co>
- Aguilar, M.; 2019/01/30 Fotografías; la basura de la paz puede convertirse en abono y energía. Pagina siete, nota digital. Consultado 1/09/19, disponible en: <https://www.paginasiete.bo/sociedad/2019/1/30/la-basura-de-la-paz-puede-convertirse-en-energia-abono-207468.html>
- Acosta Y. (et.al.) 2006; Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. Publicación Multiciencias, Vol. 6, N° 3. 9 pg. Consultado 2/10/19, disponible en: <https://www.redalyc.org>
- Álvarez de la Puente, J. sf.; Compostaje para agricultura ecológica. Manual. Junta de Andalucía. Andalucía, España. 48 pág. Consultado 2/01/19, disponible en: [http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia\\_ambiental/agricultura\\_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf](http://www.cienciasmarinas.uvigo.es/bibliografia_ambiental/agricultura_ecologica/Manual%20compostaxe.pdf)
- Archondo, O. C sf.; Macro distrito Cotahuma. Consultado 5/01/19 disponible en: [www.redcotahuma.sinapsisbolivia.org](http://www.redcotahuma.sinapsisbolivia.org)
- Barradas R. A.; 2009. Gestión integral de residuos sólidos municipales estado del arte. Minatitlán, Veracruz, México. 167 pág. Consultado 5/01/19 disponible en: <https://oa.upm.es/1922/>
- Barrena, G. R. 2006.; Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas espirométricas en el seguimiento del proceso. Memoria de tesis para optar al grado de doctora en ciencias ambientales. Universidad autónoma de Barcelona. España. 315 pág. Consultado 5/10/18 disponible en: <https://www.tdx.cat>

- Barrón S. F. 2013; optimización del proceso de composta producida a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos que se generan en la ciudad de México. Tesis presentada para optar al grado de: “Maestro en ciencias en estudios ambientales y de la sustentabilidad.” Instituto politécnico nacional. México D. F. México. 111 pág. Consultado el 5/11/19 disponible en: <https://tesis.ipn.mx>
- Brouwer A. 2018; Manejo de la fertilidad del suelo en la agricultura urbana. Fundación alerta verde. Cochabamba Bolivia. 20 pág. Consultado el 5/01/19 disponible en: [https://ccjusticiabolivia.org/wp-content/uploads/2018/10/Pres\\_Programa-Compostaje-Alerta-Verde.pdf](https://ccjusticiabolivia.org/wp-content/uploads/2018/10/Pres_Programa-Compostaje-Alerta-Verde.pdf)
- Bueno M. P. sf. Factores que afectan el proceso de compostaje. Facultad de ciencias experimentales, universidad de Huelva. Sevilla, España. 16 pág. Consultado 15/11/18 disponible en: <http://digital.csic.es>
- Cajahuanca F. S. 2016; optimización del manejo de residuos orgánicos por medio de la utilización de los microorganismos eficientes (*Saccharomyces cereviseae*, *aspergillus sp.*, *lactobacillus sp.*) en el proceso de compostaje en la central de Chaglla. Tesis para optar al título de ingeniero ambiental. Facultad de ingeniería, Universidad de Huánuco. Huánuco Perú. 166 pág. Consultado 10/11/18 disponible en: <http://repositorio.udh.edu.pe>
- Castrillón Q. O. et al. 2006. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. Artículo científico. 12 pág. Consultado 10/09/18 disponible en: <http://repository.unilasallista.edu.co>
- Chávez P. P. 2015; caracterización fisicoquímica y madurez del compost de las ciudades de Tingo María y Aucayacu mediante test de autocalentamiento. Informe final práctica preprofesional. Universidad nacional agraria de la Selva. Tingo María Perú. 85 pág. Consultado 04/09/19 disponible en: <https://web2.unas.edu.pe>

- Chilón, C. E. 2010; Compostaje altoandino, suelo vivo y cambio climático. Artículo científico. La Paz Bolivia. 7 pág. Consultado 02/03/19. disponible en: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo>
- Chilón, C. E., Chilón, M. J. 2015; Compostaje altoandino, seguridad alimentaria cambio climático y biorremediación de suelos. artículo científico. La Paz, Bolivia. Consultado 02/03/190. Disponible en: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo>.
- Comesaña V. I. 2017; estudio de la dinámica microbiana durante la fase de maduración del compostaje de residuos orgánicos. Vermicompostaje como alternativa de tratamiento. Tesis para optar al grado de doctor. Universidad de Vigo. España. 194 pág. Consultado el 5/11/18 disponible en: [http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio de la din%C3%A1mica microbiana.pdf?sequence=1](http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/824/Estudio%20de%20la%20din%C3%A1mica%20microbiana.pdf?sequence=1)
- Contreras, L. S. y López, J. P. 2019; el diseño de bloques al azar en la investigación agroecológica. 44 pág. consultado el 9/ 01/ 19 disponible en: <https://www.academia.edu>
- Cuadros S,2008; Compostaje y biometanización. Modulo impartido en Master en ingeniería y gestión medioambiental. Escuela de negocios. 67 pág. consultado el 4/ 10/ 18 disponible en: <https://docplayer.es>
- Departamento para el desarrollo sostenible de Gipuzkoa (D.D.S.G. sf).; Manual para el compostaje individual. 20 pág. consultado 7/09/18 disponible en: [http://www.gipuzkoa.net/medioambiente/compostaje/down/Manual\\_compostaje.pdf](http://www.gipuzkoa.net/medioambiente/compostaje/down/Manual_compostaje.pdf)
- Dirección general de gestión integral de residuos sólidos (DGGIRS) sf. Prevención de generación, aprovechamiento y cadena productiva de los residuos sólidos. Guía informativa. Bolivia. 40 pág. Consultado 02/11/18 disponible en: <https://www.kioscoverde.bo>

- Escobar E. N. et al. *sf*. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. Boletín científico. Consultado 12 /10/18 disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Gallardo, M. K. 2013; Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana. Tesis para optar al grado académico de maestro en ciencias con mención en minería y medioambiente. Lima-Perú. pág. 183. Consultado 1 /10/18 disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe>
- Garrido, T. G. 2014; Efecto de la humedad en la biodegradación de residuos sólidos urbanos, mediante tratamiento mecánico biológico. Tesis de grado para optar al grado de ingeniero civil. Facultad de ingeniería, universidad del Bio-Bio. Concepción Chile. 65 pág. Consultado 12/11/18 disponible en: [http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/173/1/Garrido Troncoso Gustavo.pdf](http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/173/1/Garrido_Troncoso_Gustavo.pdf)
- Gobierno de Cantabria, 2017. Manual de compostaje doméstico. España. 18 pág. Consultado 10/09/18 disponible en: <https://www.ayto-santiurde.com>
- Guerrero C. T. 2014; Análisis coste-beneficio del corredor del Mediterráneo. Tesis para optar al grado de ingeniero en tecnologías industriales. Universidad de Sevilla. España. 73 pág. Consultado el 2/01/19 disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90039/fichero/memoriaPFG.pdf>
- Guerrero J. et al., 2007. Evaluación del compostaje de subproductos derivados del sacrificio y faenamiento de ganado. Artículo científico. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira-Colombia. 7 pág. Consultado el 28/ 09/ 18 disponible en: [www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)
- Guzmán, J.; 2019/02/01. García Linera inaugura primer complejo de residuos sólidos de Bolivia en Riberalta. Kaosenlared prensa digital. Consultado 02/04/19. Disponible en: <https://kaosenlared.net/garcia-linera-inaugura-primer-complejo-de-residuos-solidos-de-bolivia-en-riberalta/>



Iglesias J. E. *sf.*; Aspectos fisicoquímicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de la calidad. Unidad temática 4: métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. Universidad Miguel Hernández, Salamanca, España. 30 pág. Consultado el 20/10/18 disponible en: <https://digital.csic.es>

Instituto nacional de estadística (INE). 2017. Residuos sólidos en ciudades capitales de la paz y El alto llevo a más de un millón de toneladas. Boletín informativo. La Paz- Bolivia .2 pág. Consultado el 02/02/19 disponible en: <https://www.ine.gob.bo>

Lainch F., (2012). Microorganismos del compost y él te de compost. Instituto Canario de investigaciones agrarias. Canarias España. 41 pág. Consultado 19/01/19 disponible en: <http://www.agrolanzarote.com/sites>

León, Y. (2019). Acechados por la basura Bolivia aun no encuentra camino para mitigar impacto. *Los tiempos* Prensa digital. Consultado el 02/04/19 disponible en: <http://www.lostiempos.com/especial-multimedia/20190204>

Gestión integral de residuos sólidos en el estado plurinacional de Bolivia Ley N 755. Ley de 28 de octubre de 2015. Artículo 14, parágrafo I. Consultado el 08/10/18 disponible en: <https://sea.gob.bo>

Maisincho A. J. C. 2015. Evaluación fisicoquímica e identificación microbiológica de *Salmonella sp.* *Shigella sp* y *escherichia coli*, de tres abonos orgánicos (lombricultura, takakura y bioabono), producido por el gobierno autónomo descentralizado de la provincia de Loja del aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos. Tesis de maestría para optar al título de Magister en sistemas de gestión ambiental. Universidad de las fuerzas armadas E.S.P.E. Sangolquí- Ecuador 84 pág. Consultado el 02/02/19 disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec>

Mendoza J. M., 2012; Propuesta de compostaje de los residuos vegetales generados en la universidad de Piura. Tesis de grado para optar al título ingeniero industrial

- y de sistemas. Universidad de Piura, Facultad de ingeniería. Piura Perú. 122 pág. Consultado el 10/05/19 disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe>
- Ministerio de medio ambiente y agua (MMAyA), 2012; Guía de educación ambiental en gestión integral de residuos sólidos. Bolivia. 133 pág. Consultado el 02/04/19 disponible en: <https://redcompostaje.mmaya.gob.bo/>
- Navia, C. C. et al sf.; Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). Revista científica “biotecnología en el sector agropecuario e industrial. Edición especial N° 2(165 a 173 pg.). 9 pág. Consultado el 02/04/19 disponible en: <http://www.scielo.org.co>
- Negro M. J. (et. al) sf. Producción y gestión del compost. España. 31 pág. Consultado el 02/02/18 disponible en: <http://digital.csic.es>
- Nivia T. I. 2017. Análisis de la cromatografía como herramienta cualitativa de diagnóstico de la fertilidad de suelos en sistemas de producción agrícola. Trabajo monográfico para optar al título de ingeniera agrónoma. Universidad abierta y a distancia, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente. Mosquera-Colombia. 69 pág. Consultado el 2/02/2019 disponible en: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13593/1/1030537336.pdf>
- Norma ambiental. Distrito federal-México (NADF-020-AMBT), 2011; Requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito federal 15 pág. Consultado el 02/02/19 disponible en: <http://data.sedema.cdmx.gob.mx>
- Norma Chilena de calidad de compost. (NCh 2880), 2004. 18 pág. Consultado el 02/02/19 disponible en: <http://www.ingeachile.cl>

Norma técnica colombiana (NTC 5167) 2004; Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizante y enmiendas o acondicionadores de suelo. Colombia. 32 pág. Consultado el 02/02/19 disponible en: <https://fdocuments.es>

Ozores, H. M *sf*. Guía para la utilización exitosa del compost en la producción de hortalizas. Publicación del horticultural Sciences, servicio de extensión cooperativa de la Florida, instituto de alimentos y ciencias agrícolas. Universidad de la Florida (UF/IFAS).6 pág. Consultado el 10/02/19 disponible en: <https://docplayer.es>

Pérez M. 2008; estudio y desarrollo de técnicas espirométricas para el control de la estabilidad del compost. Tesis doctoral para optar al grado de doctor en ciencias. Universidad de Córdoba, facultad de ciencias. Córdoba, Argentina. 377pag. Consultado el 02/05/19 disponible en: <https://core.ac.uk>

Pérez, R. F. y Zeledón, V. E. 2007, efecto de residuos de origen vegetal y animal en algunas características Física, química y biológica del compost, hacienda las mercedes, Managua. Tesis para optar al grado académico de Ingeniero agrónomo. Universidad nacional agraria. Managua Nicaragua. 50 pág. Consultado el 02/04/19 disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni>

Prescott L. M. et al. 2002. Microbiología. Libro. Editorial McGRAW\_HILL-interamericana de España S.A.U. España. 1280 pág.

Rafael A. M. 2015; Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de abonos orgánicos Sapallanga-Huancayo. Tesis para optar al grado de ingeniero forestal y ambiental. Universidad nacional del centro del Perú, facultad de ciencias forestales y del ambiente. Huancayo Perú. 116 pág. Consultado el 24/11/18 disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe>

Ramírez T. M. 2013; evaluación del efecto diferencial del mezclado mecánico en biodegradación de materia orgánica en compostaje aeróbico en pilas de

- aireación por difusores. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Universidad del Bio Bio. Concepción Chile. 45 pág. Consultado el 04/05/18 disponible en: <http://repobib.ubiobio.cl>
- Restrepo J. y Pinheiro S. 2011; cromatografía imágenes de vida y destrucción del suelo. 1ra Ed. Editorial Feriva S.A. Cali Colombia. Consultado el 21/10/18 disponible en: <https://morralcampesino.files.wordpress.com>
- Riera N. 2009; Evaluación de proceso de compostaje de residuos avícolas. Trabajo de investigación. Facultad de agronomía y ciencias agroalimentarias. Universidad de Morón. Argentina. 84 pág. Consultado el 20/05/19 disponible en: <https://www.produccion-animal.com.ar>
- Robles, M. M. 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 de Leoncio Prado. Informe técnico. Tingo María, Perú. 59 pág. Consultado el 02/10/19 disponible en: <https://www.unas.edu.pe>
- Román, P. et al., 2013; Manual de composta del agricultor; experiencias en América latina. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Santiago de Chile, Chile. 112 pág. Consultado el 21/10/18 disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Romo, M. A. 2015; Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos, revista tendencia tecnológica, boletín II E abril-mayo. 7 pág. Consultado el 10/10/18 disponible en: <https://silo.tips>
- Rostagno M. 2015; Maquina volteadora para la elaboración de fertilizante orgánico a través de guano de gallina. Universidad nacional de Córdoba, facultad de exactas, físicas y naturales. Córdoba argentina. 172 pág. Consultado el 21/10/18 disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar>
- SENAMHI (Servicio nacional de meteorología e hidrología) Consultado el 02/10/18 disponible en: <http://senamhi.gob.bo>

- Sepúlveda, V. L., Alvarado, T. J., 2013; Manual de compostaje, Medellín, Colombia. 80 pág. Consultado el 10/10/18 disponible en: <https://docplayer.es>
- Silva J. P. *et al sf.* Recuperación de nutrientes en fase solida a través del compostaje. Boletín informativo. Escuela de ingeniería de los recursos naturales y del medio ambiente (EIDENAR), universidad del Valle- facultad de ingeniería. Cali Colombia. 25 pág. consultado en 24/01/19 disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>
- Sesma, A. M. *sf.*; Un repaso a la historia del compostaje. Consultado 20/03/19 disponible en: <http://www.ecompostaje.com>
- Sistema nacional argentino de vigilancia y monitoreo de plagas. (SINAVIMO) *sf.* Consultado 17/09/2018 disponible en: <https://www.sinavimo.gov.ar>
- Skipton, J. & Calderón, A. 2015. Los impactos del huerto orgánico Lak'a Uta, fundaciones alternativas. Consultado el 21/05/18 disponible: [www.alternativascc.org](http://www.alternativascc.org)
- Solans, L. X., (et al).2001; Plantas de compostaje para el tratamiento de residuos: riesgos higiénicos. Guía N 597, ministerio de trabajo y asuntos sociales España; instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo. España. 7pag. Consultado el 20/09/18 disponible: <https://www.cso.go.cr>
- Soliva T. M. *sf.*; Materia orgánica y compostaje. Control de calidad y del proceso. Escuela superior de agricultura de Barcelona (UPC). Barcelona, España. 19 pág Consultado 10/09/2018 disponible en: <https://docplayer.es>
- Soriano, V. J. 2016. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de “microorganismos eficaces” Concepción. Tesis para optar al título profesional de: ingeniero forestal y ambiental. Huancayo, Perú. 113 pág Consultado el 21/05/18 disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe>
- Sztern y Pravia (2001). Elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Manual. Organización panamericana de la salud, organización mundial de la

salud. Uruguay. 69pag. Consultado el 22/ 04/ 2018/ disponible en:  
<http://www.bvsde.paho.org>

Tituaña M. B. (2009). Elaboración de compost mediante la inoculación de tres fuentes de microorganismos a tres dosis Tabacundo, Pichincha. Tesis para optar al grado de ingeniera agrónoma. Universidad central del Ecuador. Quito Ecuador. 115 pág. Consultado 12/12/18 disponible en;  
[https://www.soiltechcorp.com/images/uploads/product\\_PDFs/Composting\\_Flower\\_Waste\\_2\(Spanish\).pdf](https://www.soiltechcorp.com/images/uploads/product_PDFs/Composting_Flower_Waste_2(Spanish).pdf)

Universidad pública de Navarra (U.P.N). *sf.* Herbario Consultado 17/09/2018 disponible en: [https://www.unavarra.es/herbario/htm/Chen\\_albu.htm](https://www.unavarra.es/herbario/htm/Chen_albu.htm)

Vanero M. *et. al.* (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. Revista científica: suelos y nutrición vegetal N° 7. Ciencias agronómicas, universidad de Chile. Santiago Chile. Pág. 10. Consultado 10/09/2018 disponible en: <https://www.scielo.cl>

Varona, E. J. (2012). Análisis de las características técnicas y sociales asociados a procesos de compostaje comunitario. Trabajo de investigación para optar al grado de Máster en agroecología. Universidad Internacional de Andalucía. Barcelona España. 303 pág. Consultado 12/09/2018 disponible en:  
<https://compostaenred.org>

Vasco D. P. (2017). búsqueda de agentes estimulantes del crecimiento vegetal a partir de compost procedente de restos hortícolas: producción de vitaminas y fitohormonas. Proyecto de investigación para optar al título en master universitario en gestión de tratamientos y valorización de residuos orgánicos. Universidad Miguel Hernández de Elche, escuela politécnica superior de Orihuela. España. 56 pág. Consultado 10/09/2019 disponible en:  
<http://dspace.umh.es>

Vázquez P. D. (2008). Producción y evaluación de cuatro tipos de abonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de

pastos. Tesis de grado para optar al título de ingeniero Zootecnista. Escuela superior de Chimborazo, facultad de ciencias pecuarias. Riobamba- Ecuador. 115 pág. Consultado 11/10/2018 disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec>

Vergara S. D. *et al. sf.* Compostaje para residuos domiciliarios separados en la fuente. Cartilla técnica. Universidad de Antioquia. Colombia. 43 pág. Consultado 12/09/2018 disponible en: <https://www.corantioquia.gov.co>

Vico L. A. (2015). Reciclado de lodos de depuradoras mediante compostaje, estudio de agente estructurante usado y de la proporción del lodo. Proyecto de investigación para optar al título en máster universitario en gestión de tratamientos y valorización de residuos orgánicos. Universidad Miguel Hernández de Elche, escuela politécnica superior de Orihuela. España 93 pág. Consultado 10/10/2019 disponible en: <http://dspace.umh.es>

Yazàn R. D. (2013). Descomposición microbiológica de desechos orgánicos vegetales originados en la universidad central del Ecuador. Tesis de grado para la obtención del título de ingeniero químico. Universidad central del Ecuador, facultad de ingeniería química. Quito, Ecuador. 93 pág. Consultado 10/09/2019 disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec>

# **ANEXOS**



## Anexo 1 Datos promedio de temperatura en el proceso de compostaje

Fecha (2017-2018)		Senamhi		Tratamientos			
meses	dias	T ambiente minima	T ambiente maxima	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
OCTUBRE	1	5,60	22,60	26,00	28,10	25,00	25,50
	2	4,60	20,20	26,75	28,17	25,67	25,75
	3	4,50	22,00	32,35	32,84	32,00	32,09
	4	3,60	23,00	29,10	28,92	28,67	28,84
	5	5,60	24,80	26,00	26,67	26,42	26,58
	6	6,20	23,50	37,75	38,42	38,59	39,00
	7	5,20	23,20	39,10	40,42	39,42	38,25
	8	7,00	24,10	34,00	33,84	34,83	36,00
	9	6,20	23,40	27,85	28,58	28,67	29,25
	10	7,80	22,40	23,90	25,75	26,00	25,34
	11	6,20	20,80	24,45	22,50	23,17	22,92
	12	6,20	18,70	26,00	21,42	22,00	22,50
	13	5,60	22,00	26,15	21,33	21,33	22,17
	14	6,20	17,40	23,55	19,59	20,00	20,33
	15	6,30	16,60	19,20	15,42	16,17	16,50
	16	6,20	17,60	18,75	16,75	15,33	15,50
	17	6,00	20,80	19,00	18,17	15,33	15,59
	18	6,70	21,60	19,10	18,25	16,50	16,42
	19	7,30	22,10	18,00	18,08	15,83	16,50
	20	6,80	23,20	17,65	16,84	15,83	15,67
	21	5,20	22,30	18,15	17,50	19,00	16,84
	22	7,30	21,50	19,85	18,75	20,17	18,25
	23	6,90	22,00	18,50	17,09	19,83	17,00
	24	6,40	24,60	18,45	17,34	19,33	17,42
	25	7,50	22,00	17,65	16,75	17,67	16,59
	26	6,20	24,40	19,50	18,25	18,17	19,25
	27	7,20	23,40	20,75	20,09	19,00	21,08
	28	6,40	23,30	18,90	18,58	19,67	19,59
	29	7,20	23,50	18,45	18,08	17,67	18,84
	30	7,80	23,70	18,85	17,58	17,50	18,17
	31	7,10	24,00	18,00	17,09	18,00	17,75
NOVIEMBRE	1	7,90	23,30	18,65	17,75	18,83	18,34
	2	7,10	24,00	17,65	17,00	17,83	17,08
	3	8,80	22,20	17,35	17,00	17,67	16,84
	4	6,70	20,70	15,15	14,92	14,83	15,00
	5	7,40	21,80	15,85	15,42	15,83	14,75
	6	7,80	20,60	18,15	17,34	16,67	16,67
	7	7,80	24,50	17,80	16,84	17,67	16,84
	8	6,60	25,00	17,30	17,17	17,50	16,42
	9	8,40	20,00	16,35	16,00	16,00	15,42
	10	7,40	22,30	18,00	17,17	18,33	16,84
	11	7,60	21,70	15,75	15,92	17,00	15,09
	12	8,20	20,90	16,85	16,83	16,17	16,09
	13	7,50	23,00	18,75	18,50	18,33	17,50
	14	6,90	24,50	16,60	16,59	17,17	16,42
	15	8,50	22,20	18,05	18,00	17,83	18,84
	16	9,10	24,50	17,35	17,34	17,00	17,50
	17	8,20	23,50	16,50	16,67	16,67	16,25
	18	7,30	26,50	18,10	18,25	18,17	18,17
	19	8,00	24,60	17,25	17,34	19,33	17,42
	20	7,00	25,00		17,92	18,33	17,83
	21	6,80	24,50		17,92	18,67	17,92
	22	7,60	25,20		18,42	18,00	18,50
	23	8,20	25,20		17,92	18,33	17,59
	24	8,60	24,30		19,50	19,33	19,75
	25	8,20	25,20		18,84	18,67	18,75
	26	9,00	23,00		19,00	18,33	18,67
	27	8,50	20,50		14,92	15,33	15,42
	28	8,30	20,80		15,75	17,17	15,58
	29	7,20	21,00		14,25	14,00	14,34
	30	8,80	23,30		17,17	17,00	17,75

Continua...

Fecha (2017-2018)		Senamhi		Tratamientos			
meses	días	T ambiente mínima	T ambiente máxima	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
DICIEMBRE	1	9,00	20,80		15,58	16,00	15,17
	2	8,00	24,80		17,34	16,67	16,84
	3	8,20	17,80		12,17	14,50	14,00
	4	8,40	16,00		12,17	13,00	12,09
	5	5,50	14,60		12,67	13,67	13,09
	6	5,40	20,80		14,75	15,17	15,67
	7	8,00	18,20		15,09	15,00	14,59
	8	7,80	18,60		16,25	16,50	17,17
	9	7,50	21,20		14,42	13,33	14,17
	10	6,80	23,00		17,58	17,00	18,00
	11	7,80	22,40		17,34	17,50	17,25
	12	8,00	23,30		17,92	18,83	18,09
	13	7,50	23,10		16,67	16,83	16,67
	14	8,40	21,40		17,17	24,00	16,67
	15	8,00	21,00		17,25	17,00	17,17
	16	8,20	23,80		17,67	17,50	17,67
	17	7,30	24,00		19,50	19,50	19,17
	18	8,60	18,30		18,42	17,00	16,92
	19	7,90	20,50		15,50	14,67	15,17
	20	8,00	21,20		15,34	14,50	14,59
	21	9,00	20,00		15,25	14,33	14,25
	22	7,20	17,80		13,34	13,83	13,34
	23	8,10	20,10		14,92	15,33	15,25
	24	9,40	20,60		15,17	15,17	15,17
	25	9,00	17,50		14,17	13,67	15,00
	26	8,30	19,00			14,17	13,75
	27	8,00	20,60			14,67	15,33
	28	8,80	20,80			17,67	17,84
	29	7,00	16,80			14,33	14,42
	30	7,30	21,30			16,33	16,09
	31	10,00	24,50			16,50	16,92
ENERO	1	9,20	24,20			16,67	16,92
	2	8,70	21,30			13,17	13,34
	3	8,20	18,20			15,67	15,67
	4	7,30	22,00			15,67	16,00
	5	7,00	22,80			15,83	15,42
	6	9,50	23,40			16,83	15,67
	7	7,00	20,20			15,17	16,00
	8	7,60	17,20			13,00	13,92
	9	6,80	17,60			13,33	12,50
	10	7,00	19,70			13,17	13,67
	11	7,50	17,20			11,00	12,00
	12	6,70	18,50			14,50	13,75
	13	7,20	14,60			11,33	11,42
	14	7,50	19,00			14,17	13,83
	15	7,80	15,80			11,83	12,42
	16	7,20	17,20			13,00	13,58
	17	8,00	19,50			11,50	13,42
	18	7,60	18,60			13,00	13,42
	19	7,90	17,00			11,17	11,92
	20	7,00	16,30			10,83	11,09
	21	7,50	18,60			14,00	14,34
	22	7,50	19,50			12,50	13,34
	23	7,50	18,00			9,50	10,50
	24	7,40	17,40			11,83	11,59
	25	7,00	13,90			10,00	10,75
	26	6,50	18,60			11,67	10,75
	27	7,20	21,60			12,17	12,25
	28	7,40	17,20			11,00	11,00
	29	5,90	17,70			14,33	11,00
	30	7,20	19,80			12,00	12,09
	31	9,00	20,00			14,33	13,58

Continua...

## Anexo 2. Datos promedio de humedad en el proceso de compostaje

Fecha (2017-2018)		Senamhi		Tratamientos			
meses	dias	T ambiente minima	T ambiente maxima	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
FEBRERO	1	9,40	12,50			10,00	10,00
	2	8,00	15,50			9,17	9,17
	3	8,60	18,30			10,50	11,58
	4	8,60	18,60			14,00	15,17
	5	9,60	21,90				15,09
	6	8,20	20,30				13,75
	7	6,90	17,40				12,50
	8	6,90	15,40				11,25
	9	7,80	17,30				13,42
	10	8,50	18,20				13,25
	11	7,60	16,20				12,75
	12	7,80	15,00				11,25
	13	7,10	18,00				11,59
	14	6,80	16,30				12,67
	15	7,00	17,20				13,33
	16	8,00	16,20				14,09
	17	8,20	18,70				13,67
	18	8,00	20,80				14,50
	19	7,00	21,20				13,92
	20	7,80	20,20				13,25
	21	8,10	18,40				12,59
	22	7,80	14,20				10,75
	23	6,50	18,20				12,08
	24	7,30	17,00				13,09
	25	6,90	18,50				14,92

Fecha 2017-2018		TRATAMIENTOS			
Meses	Días	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
OCTUBRE	1	100	100	100	100
	2	100	1000	100	100
	3	100	96,67	100	100
	4	100	100	100	100
	5	100	100	100	99,59
	6	99,2	96,25	96,17	98,5
	7	95,5	96,25	96,92	97
	8	94,3	91,92	94,67	95,34
	9	90	92,5	93,34	93,33
	10	89,6	91,25	91,67	90,42
	11	88	90,83	91,67	89,59
	12	88,8	89,59	90	90,84
	13	87,9	90,42	89,59	89,17
	14	88,3	89,59	90	90
	15	88,4	89,17	88,34	88,75
	16	86,7	89,17	88,75	89,59
	17	88,8	89,17	89,17	89,59
	18	88,3	88,75	90	90,42
	19	88,8	89,17	89,17	89,59
	20	86,7	89,17	89,17	87,92
	21	84,6	87,5	87,92	88,33
	22	82,5	86,25	85,84	87,5
	23	83,3	87,09	87,09	88,34
	24	83,8	86,25	86,67	87,92
	25	82,1	85,83	86,67	88,33
	26	80,4	85,42	87,5	89,59
	27	79,6	83,75	87,5	90,42
	28	80,1	83,75	87,09	90
	29	79,2	83,75	87,5	90,42
	30	79,9	84,59	87,5	90,83
	31	77,1	82,92	86,67	89,59
NOVIEMBRE	1	74,6	83,33	86,67	89,17
	2	72,9	84,59	85,83	89,17
	3	68,8	84,17	86,67	89,59
	4	70	79,58	86,25	89,17
	5	67,5	80,83	83,34	88,75
	6	57,9	73,75	84,17	88,34
	7	53,4	71,67	82,92	89,17
	8	52,1	69,17	82,92	89,59
	9	50,8	66,25	82,5	89,17
	10	45,9	64,17	54,34	88,75
	11	43,8	61,67	69,17	89,59
	12	42,5	60,42	71,25	87,92
	13	42,1	59,17	70,83	87,5
	14	38,8	57,92	62,92	86,67
	15	30,5	57,5	68,33	80,83
	16	25	56,67	72,5	76,25
	17	23,4	48,75	65	75
	18	22,5	49,17	62,09	70
	19	20,4	49,58	63,34	68,75
	20		50,42	53,75	65,42
	21		50,42	53,33	62,92
	22		52,5	57,09	68,34
	23		50,42	52,5	68,34
	24		52,08	55	59,59
	25		40	52,08	63,75
	26		42,09	52,08	62,5
	27		43,33	55,42	65,42
	28		40	42,09	56,25
	29		48,33	53,75	63,34
	30		36,25	29,59	58,34

Continua...

Fecha 2017-2018		TRATAMIENTOS			
Meses	Dias	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
<b>DICIEMBRE</b>	1		43,75	46,67	66,25
	2		42,09	46,67	56,25
	3		46,25	54,17	58,75
	4		46,25	48,34	60,42
	5		36,25	43,75	57,09
	6		30,84	45	37,5
	7		31	42,5	40,42
	8		19,59	46,67	46,25
	9		30,84	54,59	50
	10		27,09	45,42	51,67
	11		29,17	37	51,25
	12		21,5	37,5	56,25
	13		32,5	43,33	57,5
	14		21,92	35,42	47,92
	15		24,08	39,58	52,08
	16		18,33	31,25	50,83
	17		19,59	40,83	50,83
	18		19,34	42,09	51,25
	19		15,83	48,33	55,84
	20		16	44,17	52,92
	21		15,67	40	47,92
	22		20,42	31,67	42,92
	23		17,92	35,42	46,25
	24		17,92	29,17	42,5
	25		18,75	43,75	49,59
	26			35,42	30
	27			33,75	33,75
	28			35	35
	29			37,08	46,67
	30			40,84	52,09
	31			46,67	60,42
<b>ENERO</b>	1			53,33	60,84
	2			52,92	60,42
	3			47,5	56,67
	4			49,17	50,84
	5			44,17	49,59
	6			42,5	49,59
	7			42,08	47,5
	8			51,25	52,09
	9			45,84	47,5
	10			46,25	45,42
	11			48,75	51,25
	12			38,75	40,42
	13			40,42	41,59
	14			38,75	31,25
	15			43,33	43,33
	16			44,17	34,58
	17			48,75	42,92
	18			49,17	42,92
	19			43,75	42,08
	20			40,42	42,5
	21			39,58	42,92
	22			43,34	47,92
	23			43,75	48,33
	24			34,17	39,17
	25			38,75	35
	26			37,5	40
	27			32,5	40
	28			35,84	50
	29			31,67	50
	30			34,17	31,75

Continua

Fecha 2017-2018		TRATAMIENTOS			
Meses	Dias	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
<b>FEBRERO</b>	31			31,67	45
	1			36,25	43,33
	2			30,42	45,42
	3			25	34,17
	4			20,83	26,25
	5				29,17
	6				33,75
	7				30,84
	8				25,42
	9				29,59
	10				32,09
	11				29,58
	12				32,5
	13				29,59
	14				32,08
	15				31,67
	16				31,67
	17				31,25
	18				28,33
	19				26,25
	20				25,83
	21				25,42
	22				24,17
	23				22,5
	24				22,5
	25				20,84

### Anexo 3. Datos promedio de pH durante el proceso de compostaje

FECHA (2017-2018)		TRATAMIENTOS			
meses	días	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
OCTUBRE	1	6,01	6,01	6,01	6,01
	2	5,80	5,68	5,52	5,52
	3	6,00	5,90	5,98	5,98
	4	6,50	6,54	6,35	6,38
	5	6,70	6,55	6,57	6,47
	6	6,70	6,55	6,59	6,59
	7	6,80	6,59	6,57	6,61
	8	6,80	6,66	6,64	6,67
	9	7,00	6,63	6,63	6,73
	10	6,90	6,75	6,73	6,78
	11	7,00	6,78	6,78	6,77
	12	7,00	6,88	6,86	6,95
	13	7,00	6,92	6,89	6,89
	14	7,00	6,89	6,92	6,92
	15	7,00	6,83	6,88	6,90
	16	7,00	6,93	6,92	6,93
	17	7,00	6,98	7,02	6,94
	18	7,00	7,00	7,05	6,95
	19	7,00	6,99	7,00	6,97
	20	7,00	6,97	7,00	6,97
	21	7,00	7,02	7,00	6,99
	22	7,10	7,04	7,00	6,96
	23	7,10	7,00	7,00	6,99
	24	7,10	7,02	7,00	7,00
	25	7,10	7,00	7,00	7,00
	26	7,20	7,02	7,02	7,04
	27	7,20	7,09	7,00	7,00
	28	7,10	7,09	7,06	7,00
	29	7,20	7,00	7,00	7,00
	30	7,20	7,00	7,02	7,00
	31	7,40	7,00	7,00	7,00
NOVIEMBRE	1	7,40	7,02	7,02	7,00
	2	7,40	7,00	7,00	7,00
	3	7,30	7,08	7,03	7,00
	4	7,40	7,04	7,00	7,03
	5	7,30	7,00	7,00	7,00
	6	7,30	7,00	7,00	7,00
	7	7,30	7,00	7,00	7,00
	8	7,60	7,00	7,00	7,00
	9	7,60	7,00	7,00	7,00
	10	7,60	7,00	7,00	7,00
	11	7,60	7,00	7,00	7,00
	12	7,70	7,00	7,00	7,00
	13	8,00	7,00	7,00	7,00
	14	8,00	7,00	7,00	7,00
	15	8,00	7,00	7,00	7,00
	16	8,00	7,00	7,00	7,00
	17	8,20	7,00	7,00	7,00
	18	8,20	7,00	7,00	7,00
	19	8,41	7,00	7,00	7,00
	20		7,00	7,00	7,00
	21		7,00	7,00	7,00
	22		7,00	7,00	7,00
	23		7,00	7,00	7,00
	24		7,00	7,00	7,00
	25		7,00	7,00	7,00
	26		7,00	7,00	7,00
	27		7,00	7,00	7,02
	28		7,00	7,00	6,92
	29		7,00	7,00	7,00
	30			7,00	7,00

Continua....

FECHA (2017-2018)		TRATAMIENTOS			
meses	dias	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
DICIEMBRE	1		7,00	7,00	7,00
	2		7,00	7,00	7,00
	3		7,02	7,00	7,00
	4		7,00	7,00	7,00
	5		7,00	7,00	7,00
	6		7,00	7,00	7,00
	7		7,08	7,00	7,00
	8		7,25	7,00	7,00
	9		7,25	7,00	7,00
	10		7,42	7,00	7,00
	11		7,50	7,00	7,00
	12		7,59	7,00	7,00
	13		7,63	7,00	7,00
	14		7,75	7,00	7,00
	15		7,80	7,00	7,00
	16		7,88	7,00	7,00
	17		7,96	7,00	7,00
	18		8,04	7,00	7,00
	19		8,09	7,00	7,00
	20		8,08	7,00	7,00
	21		8,13	7,00	7,00
	22		8,17	7,00	7,00
	23		8,25	7,00	7,00
	24		8,29	7,00	7,00
	25		8,31	7,00	7,00
	26			7,00	7,00
	27			7,00	7,00
	28			7,00	7,00
	29			7,02	7,00
	30			7,00	7,00
	31			7,00	7,00
ENERO	1			7,04	7,02
	2			7,00	7,00
	3			7,00	7,00
	4			7,00	7,00
	5			7,00	7,00
	6			7,00	7,00
	7			7,04	7,00
	8			7,08	7,00
	9			7,17	7,00
	10			7,19	7,00
	11			7,25	7,00
	12			7,30	7,00
	13			7,42	7,00
	14			7,42	7,00
	15			7,46	7,00
	16			7,46	7,00
	17			7,63	7,00
	18			7,71	7,00
	19			7,79	7,00
	20			7,79	7,00
	21			7,84	7,00
	22			7,96	7,00
	23			7,96	7,00
	24			7,88	7,00
	25			7,88	7,04
	26			8,00	7,04
	27			8,00	7,09
	28			8,13	7,09
	29			8,13	7,09
	30			8,17	7,13

Continua...



FECHA (2017-2018)		TRATAMIENTOS			
meses	dias	PROMEDIO T1	PROMEDIO T2	PROMEDIO T3	PROMEDIO T4
FEBRERO	31			8,25	7,13
	1			8,30	7,13
	2			8,30	7,25
	3			8,34	7,21
	4			8,40	7,24
	5				7,42
	6				7,46
	7				7,50
	8				7,54
	9				7,50
	10				7,58
	11				7,59
	12				7,57
	13				7,63
	14				7,79
	15				7,73
	16				7,88
	17				7,83
	18				7,88
	19				8,00
	20				8,00
	21				8,04
	22				8,08
	23				8,20
	24				8,17
25				8,30	

## Anexo 4 Datos de conductividad eléctrica (CE)

CE $\mu\text{s/cm}$					
fecha		TRATAMIENTO T1			
meses	dias	C5B2T1	C9B3T1	C10B21T1	PROMEDIO T1 dS/m
OCTUBRE	1	950	950	950	0,95
	10	1710	1705	1725	1,71
	17	1723	1730	1728	1,73
	24	3215	3714	2659	3,20
	31	3170	3339	3192	3,23
NOVIEMBRE	7	3252	4318	2948	3,51
	14	3974	4270	4523	4,26
	19	4930	7160	5370	5,82

CE $\mu\text{s/cm}$					
fecha		tratamiento T2			
MESES	dias	C3B3T2	C4B1T2	C11B2T2	PROMEDIO T2 dS/m
OCTUBRE	1	950	950	950	0,95
	10	1710	1723	1713	1,72
	17	1718	1730	1728	1,73
	24	2514	2649	2415	2,53
	31	3046	2470	2835	2,78
NOVIEMBRE	7	2484	3517	2630	2,88
	14	3557	4246	3046	3,62
	21	3697	4005	3500	3,73
	28	3905	4025	3120	3,68
DICIEMBRE	5	3399	4487	3320	3,74
	12	3354	3934	4280	3,86
	19	3139	4555	4807	4,17
	25	5860	5740	4000	5,20

Continua...

CE $\mu\text{s/cm}$					
fecha		tratamiento T3			
MESES	dias	C2B2T3	C7B1T3	C12B3T3	PROMEDIO T3 dS/m
OCTUBRE	1	950	950	950	0,95
	10	1727	1728	1722	1,73
	17	1728	1713	1735	1,73
	24	2417	2177	3250	2,61
	31	3110	2819	2835	2,92
NOVIEMBRE	7	3780	3001	3411	3,40
	14	3907	3795	2950	3,55
	21	3783	4871	3595	4,08
	28	3670	4483	4022	4,06
DICIEMBRE	5	4003	4673	4423	4,37
	12	3809	4148	3331	3,76
	19	3986	3955	3783	3,91
	26	3981	3172	3291	3,48
ENERO	2	3427	3003	3458	3,30
	9	3624	3554	3731	3,64
	16	3939	3378	2745	3,35
	23	4320	3517	3091	3,64
	30	4258	3514	4404	4,06
FEBRERO	4	4840	4490	3690	4,34

CE $\mu\text{s/cm}$					
fecha		tratamiento T4			
MESES	dias	C1B1T4	C6B3T4	C8B2T4	PROMEDIO T4 dS/m
OCTUBRE	1	950	950	950	0,95
	10	1697	1721	1733	1,72
	17	1731	1718	1738	1,73
	24	2254	3036	2882	2,72
	31	2941	2635	3287	2,95
NOVIEMBRE	7	3277	2719	4086	3,36
	14	3450	3462	4400	3,77
	21	3812	4192	5098	4,37
	28	4511	3540	5225	4,43
DICIEMBRE	5	3473	3938	5561	4,32
	12	4070	3618	5118	4,27
	19	3652	3563	4253	3,82
	26	3299	3088	3905	3,43
ENERO	2	3220	3271	4621	3,70
	9	3137	3917	4555	3,87
	16	2590	4088	3521	3,40
	23	3475	3772	3995	3,75
	30	3545	3483	3199	3,41
FEBRERO	6	3178	3380	2680	3,08
	14	3183	3382	2958	3,17
	21	2891	2389	3070	2,78
	25	2760	2840	2510	2,70

## Anexo 5 Valores obtenidos del rendimiento en compost

RENDIMIENTO Kg T1				
codigo compost	C5-B2-T1	C9-B3- T1	C10-B1-T1	PROMEDIO
peso inicial	50	50	50	50
peso final	10,2	7,3	8,5	8,67
rendimiento neto ( tamizado)	7,6	4,8	6	6,13
rendimiento %	15,2	9,6	12	12,27

RENDIMIENTO Kg T2				
codigo compost	C3-B3-T2	C4-B1-T2	C11-B2-T2	PROMEDIO
peso inicial	50	50	50	50
peso final	10,3	9,2	14,4	11,3
rendimiento neto ( tamizado)	7	5,8	11,2	8
rendimiento %	14	11,6	22,4	16

RENDIMIENTO Kg T3				
codigo compost	C2-B2-T3	C7-B1- T3	C12-B3-T3	PROMEDIO
peso inicial	50	50	50	50
peso final	7,2	9,5	9,6	8,77
rendimiento neto ( tamizado)	7	5,5	7,1	6,53
rendimiento %	14	11	14,2	13,07

RENDIMIENTO Kg T4				
codigo compost	C1-B1-T4	C6-B3- T4	C8-B2-T4	PROMEDIO
peso inicial	50	50	50	50
peso final	9,6	8,8	5,2	7,87
rendimiento neto ( tamizado)	7,7	6	4	5,9
rendimiento %	15,4	12	8	11,8

**Anexo 6.** Datos de la prueba viabilidad de semillas de maleza en compost

PRUEBA DE GERMINACION DE MALEZAS		
	CODIGO	N SEMILLA MALEZA
T 1	C5-B2-T1	0
	C9-B3-T1	0
	C10-B1-T1	0
	TOTAL	0
T 2	C3-B3-T2	0
	C4-B1-T2	3
	C11-B2-T2	1
	TOTAL	1,33
T 3	C2-B2-T3	2
	C7-B1-T3	0
	C12-B2-T3	3
	TOTAL	1,67
T 4	C1-B1-T4	0
	C6-B3-T4	0
	C8-B2-T4	2
	TOTAL	0,67

## Anexo 7. Datos del test de fitotoxicidad

TRATAMIENTO	TESTIGO 1	TESTIGO 2	TESTIGO 3
Testigo (agua destilada) ELONGACION RADICULAR cm	2,7	3,2	3,3
	3,7	2,7	3,7
	2,6	4	3,6
	3,7	3,3	4,1
	2,3	2,2	2,6
	2,2	3,4	2,1
	3,3	2,7	2,6
	2,5	1,2	1,6
	1,7	0	1,7
	3	0	3,5
promedio	2,77	2,27	2,88
TOTAL	2,64		
N semillas germinadas	10	8	10
TOTAL	9,33		

TRATAMIENTO	C53 B3 T2	C4 B1 T2	C11 B3 T2
T2 (frecuencia de volteo 10 días) ELONGACION RADICULAR cm	2,9	2,3	3
	3,3	1,7	3,4
	3,5	3	3,1
	3	2,9	3,3
	3,3	2	3,2
	4	2,3	3,6
	3	2,3	3
	2,7	2,5	3,3
	3,3	1,5	3,8
	2,5	0	0
promedio	3,15	2,05	2,97
TOTAL	2,72		
N semillas germinadas	10	8	9
TOTAL	9		

TRATAMIENTO	C5 B2 T1	C9 B3 T1	C10 B1 T1
T1 (frecuencia de volteo 5 días) ELONGACION RADICULAR cm	2,4	2,8	2,6
	2,2	1,9	1,8
	3,3	1,9	2,8
	2,8	2,3	1,8
	3	2,5	3,4
	2,7	2,3	1,6
	2	2	2,5
	2,3	1,5	2,2
	2,2	2	0
	0	1,4	0
promedio	2,29	2,06	1,87
TOTAL	2,07		
N semillas germinadas	9	10	8
TOTAL	9		

Continua.....

TRATAMIENTO	C2 B2 T3	C7 B1 T3	C12 B3 T3
T3 ( frecuencia de volteo 15 días) ELONGACION RADICULAR cm	1,2	4,3	3,7
	5,2	4,7	3,2
	4,7	4,2	4
	5	3	2,6
	3,7	3,5	3
	4	2,8	3
	3,7	2,7	2,3
	2,5	2,7	3,2
	2,2	2,5	3,4
	4	2,5	1,5
promedio	3,62	3,29	2,99
TOTAL	3,3		
N semillas germinadas	10	10	10
TOTAL	10		

TRATAMIENTO	C1 B1 T4	C6 B3 T4	C8 B2 T4
T4 ( frecuencia de volteo 20 días) ELONGACION RADICULAR cm	3,7	3,5	3,2
	4	3	2,7
	3,2	4	4,7
	3,4	3,9	3,7
	3,7	1,9	4,2
	4	2	2
	4,5	1,8	2,3
	4,3	3	1,2
	4	1,5	2,3
	4	0	0
promedio	3,88	2,46	2,63
TOTAL	2,99		
N semillas germinadas	10	9	9
TOTAL	9,33		

## Anexo 8. Análisis de laboratorio



### MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

## ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

INTERESADO: *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA: *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia MURILLO*  
*COTAHUMA*

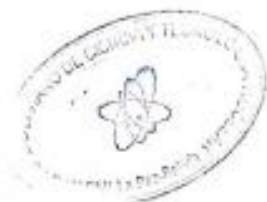
Nº SOLICITUD: *186 / 2017*  
FECHA DE RECEPCIÓN: *05 / Octubre / 2017*  
FECHA DE ENTREGA: *30 / Octubre / 2017*

### ALTERNATIVAS

PRODUCTO: *Muestra de Compost Urbano Alternativo*

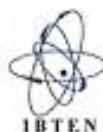
Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
581-01 /2017	Nitrógeno	1,37	% N	Kjeldahl
581-02 /2017	Fósforo	0,23	% P	Espectrofotometría UV-Visible
581-03 /2017	Potasio	1,77	% K	Emisión atómica
581-04 /2017	Carbono orgánico	12,19	%	Walkley Black
581-05 /2017	pH (1:10)	6,01	-	Potenciometría
581-06 /2017	Conductividad eléctrica	0,85	mS / cm	Potenciometría
581-07 /2017	Materia orgánica	24,38	%	Walkley Black
581-08 /2017	Humedad	81,36	%	Gravimetría
581-09 /2017	Materia seca	18,62	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultado en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHENSARA C.





## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

INTERESADO : YESSSENIA APAZA PALACIOS  
PROCEDENCIA : Departamento LA PAZ,  
Provincia : MURILLO  
COTAHUMA

N° SOLICITUD: 0074 / 2018  
FECHA DE RECEPCION : 22 / Febrero / 2018  
FECHA DE ENTREGA : 23 / Marzo / 2018

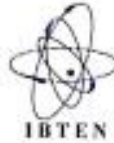
PRODUCTO : MUESTRA DE COMPOST : C 3 - B 2 - T 1

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
007-01 /2018	Nitrógeno	1,33	% N	Kjeldahl
007-02 /2018	Fósforo	0,10	% P	Espectrofotometría UV-Visible
007-03 /2018	Potasio	1,25	% K	Emisión atómica
007-04 /2018	Carbono orgánico	12,29	%	Walkley Black
007-05 /2018	pH (1 : 10)	8,52	-	Potenciometría
007-06 /2018	Conductividad eléctrica	4,93	mS / cm	Conductancia
007-07 /2018	Humedad	2,24	%	Gravimetría
007-08 /2018	Materia seca	97,70	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- Resultados en base seca



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CRUZAMA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDECIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

Nº SOLICITUD: *007B / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *22 / Febrero / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *23 / Marzo / 2018*

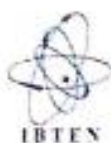
PRODUCTO : *MUESTRA DE COMPOST : C9 - B3 - T1*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
008-01 /2018	Nitrogeno	1,47	% N	Njeldal
008-02 /2018	Fósforo	0,10	% P	Espectrofotometría UV/Visible
008-03 /2018	Potasio	1,48	% K	Emisión atómica
008-04 /2018	Carbono orgánico	12,87	%	Walkley Block
008-05 /2018	pH (1:10)	8,36	-	Potenciometría
008-06 /2018	Conductividad eléctrica	7,16	mS / cm	Conductancia
008-07 /2018	Humedad	1,79	%	Gravimetría
008-08 /2018	Materia seca	98,21	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHUMANA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE COMPOST

INTERESADO : YESSSENIA APAZA PALACTOS  
PROCEDENCIA : Departamento LA PAZ  
Provincia : MURILLO  
COTAHUMA

N° SOLICITUD: 807C / 2018  
FECHA DE RECEPCIÓN : 22 / Febrero / 2018  
FECHA DE ENTREGA : 23 / Marzo / 2018

PRODUCTO : MUESTRA DE COMPOST : C 10 - B1 - T1

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
009-01 /2018	Nitrógeno	1,14	% N	Kjeldahl
009-02 /2018	Fósforo	0,13	% P	Espectrofotometría UV-Visible
009-03 /2018	Potasio	1,17	% K	Emisión atómica
009-04 /2018	Carbono orgánico	11,41	%	Walkley Black
009-05 /2018	pH (1:10)	8,36	-	Potenciometría
009-06 /2018	Conductividad eléctrica	5,37	mS / cm	Conductancia
009-07 /2018	Humedad	10,42	%	Gravimetría
009-08 /2018	Materia seca	89,58	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- Resultados en base seca.



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHANGARA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento : LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

N° SOLICITUD: *012A / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *28 / Febrero / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *28 / Marzo / 2018*

PRODUCTO : *MUESTRA DE ABONO : C3 - B3 - T2*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
026-01 /2018	Nitrógeno	1,10	% N	Kjeldahl
026-02 /2018	Fósforo	0,11	% P	Espectrofotometría UV/Visible
026-03 /2018	Potasio	1,27	% K	Emisión atómica
026-04 /2018	Carbono orgánico	12,48	%	Walkley Black
026-05 /2018	pH (1:5)	8,00	-	Potenciometría
026-06 /2018	Conductividad eléctrica	5,06	mS / cm	Conductometría
026-07 /2018	Humedad	3,04	%	Gravimétrica
026-08 /2018	Materia seca	96,96	%	Gravimétrica

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE CHANGARA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : **YESSENIA APAZA PALACIOS**  
PROCEDENCIA : **Departamento : LA PAZ,**  
**Provincia : MURILLO**  
**COTAHUMA**

N° SOLICITUD: **012B / 2018**  
FECHA DE RECEPCIÓN : **28 / Febrero / 2018**  
FECHA DE ENTREGA : **28 / Marzo / 2018**

PRODUCTO : **MUESTRA DE ABONO : C 4 - B 1 - T 2**

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
027-01 /2018	Nitrógeno	1,16	% N	Kjeldahl
027-02 /2018	Fósforo	0,10	% P	Espectrofotometría UV-Visible
027-03 /2018	Potasio	1,12	% K	Emisión atómica
027-04 /2018	Carbono orgánico	12,77	%	Walkley Block
027-05 /2018	pH (1 : 5)	8,33	-	Potenciometría
027-06 /2018	Conductividad eléctrica	5,74	mS / cm	Conductancia
027-07 /2018	Humedad	2,91	%	Gravimetría
027-08 /2018	Materia seca	97,09	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- Resultados en base seca.



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JOSÉ CRAMONA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento : LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

Nº SOLICITUD: *012B / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *28 / Febrero / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *28 / Marzo / 2018*

PRODUCTO : *MUESTRA DE ABONO : C4 - B1 - T2*

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
027-01 /2018	Nitrógeno	1,16	% N	Kjeldahl
027-02 /2018	Fósforo	0,10	% P	Espectrofotometría UV-Visible
027-03 /2018	Potasio	1,12	% K	Emisión atómica
027-04 /2018	Carbono orgánico	12,77	%	Walkley Block
027-05 /2018	pH [1 : 5]	8,33	-	Potenciometría
027-06 /2018	Conductividad eléctrica	5,74	mS / cm	Conductancia
027-07 /2018	Humedad	2,91	%	Gravimetría
027-08 /2018	Materia seca	97,09	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO

JOSÉ CHANDARA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

N° SOLICITUD: *020B / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Marzo / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *10 / Abril / 2018*

PRODUCTO : *MUESTRA DE COMPOST : C 2 - B 2 - T 3*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
039-01 /2018	Nitrogeno	1,26	% N	Kjeldal
039-02 /2018	Fósforo	0,20	% P	Espectrofotometría UV-Visible
039-03 /2018	Potasio	1,13	% K	Emisión atómica
039-04 /2018	Carbono orgánico	10,24	%	Walkley Black
039-05 /2018	pH (1 : 5)	8,45	-	Potenciometría
039-06 /2018	Conductividad eléctrica	4,94	mS / cm	Conductancia
039-07 /2018	Humedad	19,91	%	Gravimetría
039-08 /2018	Materia seca	80,09	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE GUERRERA G.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

N° SOLICITUD: *020B / 2018*  
FECHA DE RECEPCIÓN : *15 / Marzo / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *18 / Abril / 2018*

PRODUCTO : *MUESTRA DE COMPÓST : C2 - B2 - T3*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
039-01 /2018	Nitrogeno	1,26	% N	Kjeldal
039-02 /2018	Fósforo	0,20	% P	Espectrofotometría UV-Visible
039-03 /2018	Potasio	1,13	% K	Ensayo atómico
039-04 /2018	Carbono orgánico	10,24	%	Walkley Black
039-05 /2018	pH (1:5)	8,45	-	Potenciométrica
039-06 /2018	Conductividad eléctrica	4,84	mS / cm	Conductancia
039-07 /2018	Humedad	19,91	%	Gravimétrica
039-08 /2018	Materia seca	80,09	%	Gravimétrica

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE GUZMARA G.





## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

N° SOLICITUD: *0204 / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *15 / Marzo / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *10 / Abril / 2018*

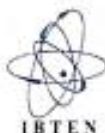
PRODUCTO : *MUESTRA DE COMPOST : C 12 - B 3 - T 3*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
043-01 /2018	Nitrógeno	1,07	% N	Kjeldahl
043-02 /2018	Fósforo	0,23	% P	Espectrofotometría UV-Visible
043-03 /2018	Potasio	0,96	% K	Emisión atómica
043-04 /2018	Carbono orgánico	7,80	%	Walkley Black
043-05 /2018	pH (1 : 5)	5,34	-	Potenciometría
043-06 /2018	Conductividad eléctrica	3,69	mS / cm	Condensado
043-07 /2018	Humedad	18,22	%	Gravimétrica
043-08 /2018	Materia seca	81,78	%	Gravimétrica

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JOSÉ CRUZADO C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : *YESSSENIA APAZA PALACIOS*  
PROCEDENCIA : *Departamento LA PAZ,*  
*Provincia : MURILLO*  
*COTAHUMA*

N° SOLICITUD : *0284 / 2018*  
FECHA DE RECEPCION : *13 / Marzo / 2018*  
FECHA DE ENTREGA : *19 / Abril / 2018*

PRODUCTO : *MUESTRA DE COMPOST : C1 - B1 - T4*

N° Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
038-01 /2018	Nitrogeno	1,13	% N	Kjeldahl
038-02 /2018	Fósforo	0,22	% P	Espectrofotometría UV-Visible
038-03 /2018	Potasio	0,50	% K	Emisión atómica
038-04 /2018	Carbono orgánico	11,12	%	Walkley Black
038-05 /2018	pH (1 : 5)	6,59	-	Potenciometría
038-06 /2018	Conductividad eléctrica	2,75	mS / cm	Conductancia
038-07 /2018	Humedad	17,36	%	Gravimetría
038-08 /2018	Materia seca	82,64	%	Gravimetría

OBSERVACIONES.- *Resultados en base seca.*



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JOSE GARBARRA G.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO : YESSSENIA APAZA PALACIOS  
PROCEDENCIA : Departamento LA PAZ,  
Provincia : MURILLO  
COTAHUMA

Nº SOLICITUD : 6284 / 2018  
FECHA DE RECEPCIÓN : 15 / Marzo / 2018  
FECHA DE ENTREGA : 10 / Abril / 2018

PRODUCTO : MUESTRA DE COMPOST : C 4 - B 3 - T 4

Nº Lab.	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
040-01 (2018)	Nitrógeno	1,47	% N	Kjeldahl
040-02 (2018)	Fósforo	0,21	% P	Espectrofotometría UV-Visible
040-03 (2018)	Potasio	1,09	% K	Emisión atómica
040-04 (2018)	Carbono orgánico	11,70	%	Walkley Black
040-05 (2018)	pH (1:5)	8,32	-	Potenciometría
040-06 (2018)	Conductividad eléctrica	2,84	mS / cm	Conductancia
040-07 (2018)	Humedad	19,26	%	Gravimétrica
040-08 (2018)	Materia seca	80,74	%	Gravimétrica

OBSERVACIONES.- Resultados en base seca.



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE OLANENA C.



## MINISTERIO DE ENERGÍAS

INSTITUTO BOLIVIANO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA NUCLEAR  
CENTRO DE INVESTIGACIONES Y APLICACIONES NUCLEARES  
UNIDAD DE ANÁLISIS Y CALIDAD AMBIENTAL

### ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE ABONOS

INTERESADO: **YESSSENIA APAZA PALACIOS**  
PROCEDENCIA: **Departamento LA PAZ,**  
**Provincia: MURILLO**  
**COTAHUMA**

N° SOLICITUD: **6264 / 2018**  
FECHA DE RECEPCIÓN: **15 / Marzo / 2018**  
FECHA DE ENTREGA: **10 / Abril / 2018**

PRODUCTO: **MUESTRA DE COMPOST: C 8 - B 2 - T 4**

N° Lab	PARAMETRO	Resultado	Unidades	Método
042-01 /2018	Nitrogeno	1.88	% N	Kjeldahl
042-02 /2018	Fósforo	0.19	% P	Espectrofotometría UV-Visible
042-03 /2018	Potasio	0.88	% K	Emisión atómica
042-04 /2018	Carbono orgánico	4.88	%	Walkley-Black
042-05 /2018	pH (1 : 5)	8.49	-	Potenciometría
042-06 /2018	Conductividad eléctrica	2.51	mS / cm	CONDUMASS
042-07 /2018	Humedad	21.57	%	Gravimétrica
042-08 /2018	Moistura seca	78.43	%	Gravimétrica

OBSERVACIONES.- **Resultados en base seca.**



RESPONSABLE DE LABORATORIO  
JORGE DURANA S.