

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA ADACÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS
POR MEDIO DE LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS
EFICIENTES (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*,
Lactobacillus sp.) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA
CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

BACHILLER

SARA ANA CAJAHUANCA FIGUEROA

Huánuco - Perú

2016

RESUMEN

El proyecto que se realizó evaluó una alternativa diferente para la producción de compost a partir del 100% de los residuos orgánicos provenientes de los comedores del campamento de la Central Hidroeléctrica Chaglla por medio de la utilización de Microorganismos Eficientes (EM).

Para lograr dicho objetivo, se determinó la cantidad de residuos orgánicos generados y se realizó la caracterización de dichos residuos que van a disposición final, para establecer su posterior tratamiento en compostaje con EM. En la caracterización se hizo la distinción entre la producción de sopa y seco como residuos orgánicos.

Así mismo, se realizó el análisis del compost durante y al finalizar el proceso, este seguimiento se hizo mediante pruebas in situ y ex situ para cada tratamiento.

Se trabajó con cuatro tratamientos para producción de compost, en los cuales se utilizó la misma cantidad de residuos orgánicos y aserrín, pero se variaron las dosis de microorganismos eficientes en la conformación de los lotes de compostaje. En el primer tratamiento (testigo), no se utilizaron microorganismos eficientes; para el segundo tratamiento se utilizaron 5 litros del caldo de inoculación (EM); en el tercer tratamiento se utilizaron 10 litros del caldo de inoculación (EM), 5 litros en cada capa del lote (dos capas) y para el cuarto tratamiento se utilizaron 20 litros del caldo de inoculación (EM), 5 litros en cada capa del lote (4 capas). Se construyeron tres lotes para cada uno de los tratamientos.

Al terminar el proceso de compostaje se realizó la caracterización a cada lote y se determinó que la mejor alternativa para la producción de compost en la Central Hidroeléctrica Chaglla, teniendo en cuenta la calidad del compost, los costos de inversión y mantenimiento, fue la de del cuarto tratamiento con EM.

Por medio del seguimiento a la variación de temperatura, se evidenciaron las fases del proceso de compostaje, a saber: mesofílico, termofílica (en los que presentaron), de enfriamiento y maduración. Dado a que los lotes del proyecto eran de dimensiones relativamente grandes, se alcanzaron temperaturas extremas. Así, por ejemplo, la máxima temperatura alcanzada fue de 69.5°C.

Después de 32 días se daba por terminado el proceso de compostaje. Se determinó la producción final de compost en peso y volumen, obteniendo mejores resultados en los lotes del cuarto tratamiento con EM. Finalmente se enviaron muestras al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina para determinar las características químicas finales del compost obtenido en cada tratamiento. Tales pruebas fueron C/N, Materia Orgánica, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio.

Ya teniendo los resultados de análisis de las muestras, se hizo la respectiva comparación con la Norma de Calidad de Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcazar, 2004); para evaluar en que rango se encuentra (Clase A, Clase B o Inmaduro) para su posterior recomendación del uso del compost obtenido en cada tratamiento para uso hortícola.

ABSTRACT

The project was conducted to evaluate a different alternative for the production of compost, from 100% organic waste from canteens camp "Hydroelectric Chaglla" with Efficient Microorganisms (EM).

To achieve this objective, the amount of organic waste generated was determined and the characterization of such waste going to final disposition, to establish further treatment in composting with EM.

In characterizing the distinction between the production of soup and dry waste.

In addition, compost analysis was performed during and after the process, this monitoring is done by in situ and ex situ tests for each treatment.

It worked with four treatments for composting, in which the same amount of organic waste and sawdust was used, but doses of EM were varied in the conformation of batch composting. In the first treatment (control), not EM were used; for the second treatment 5 liters of inoculation broth (EM) were used; in the third treatment 10 liters broth inoculation (EM), 5 liters each layer of the batch (two layers) and the fourth treatment 20 liters of broth inoculation (MS) were used 5 liters were used in each layer lot (4 layers). Three batches for each treatment were constructed.

At the end the composting process characterizing each batch is done and it was determined that the best alternative for the production of compost in Hydroelectric Chaglla, taking into account the quality of compost, investment costs and maintenance, was that of the fourth treatment with EM.

By monitoring the temperature variation, the phases of the composting process were evident, namely mesophilic, thermophilic (where presented), cooling and maturation. Given that the batches of the project were relatively

large, extreme temperatures were reached. For example, the maximum temperature reached was 69.5 ° C.

After 32 days was terminated the composting process. The final production of compost by weight and volume was determined, obtaining better results in the fourth batch treatment with MS. Finally, samples were sent to the Laboratory of Soils of the Universidad Nacional Agraria La Molina to determine the chemical characteristics of the final compost obtained in each treatment. Such tests were C / N, organic matter, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and magnesium.

Already having the results of analysis of the samples was compared with the respective Quality Standard Compost National Standards Institute of Chile (Alcazar, 2004); to evaluate that range is (Class A, Class B or Immature) for subsequent recommendation of the use of compost obtained in each treatment for forest use.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que bajo su voluntad me brindó la oportunidad de cumplir con uno de mis más anhelados sueños.

A la Universidad de Huánuco; decano, asesor, personal administrativo, docentes de la facultad de ingeniería; por su apoyo incondicional en mi formación profesional y de quienes me llevo los más gratos recuerdos.

A mis jurados por guiarme en el desarrollo de este proyecto y por sus valiosas observaciones.

Mi eterna gratitud a la empresa Norberto Odebrecht S.A. por brindarme su confianza y apoyo para la ejecución de esta investigación; así como también a mis líderes y compañeros de trabajo por su colaboración.

A los trabajadores del Centro de Gestión de Residuos de la empresa por su constancia, responsabilidad en las labores asignadas y por hacerme más ameno el tiempo de permanencia.

A todas aquellas personas que colaboraron de una y otra manera en la consecución de este proyecto.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Raúl y Ana que con mucho esfuerzo e infinito amor supieron guiarme en mi formación personal y profesional, por ser el pilar que me ha sostenido para alcanzar todos mis objetivos y metas.

A mi hermano Elí Raúl, por mostrarme siempre su cariño y apoyo.

A mi abuela Dolores que por decisiones de nuestro creador, ahora es mi ángel de la guarda.

A mi abuela Primitiva y demás familiares que han sabido apoyarme día tras día con paciencia y sabiduría en mi anhelo de superación.

A ellos dedico esta investigación, fruto del trabajo y esfuerzo constante. Sin todo este respaldo no hubiese sido posible.

INDICE

INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO I	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3. OBJETIVOS	14
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4. HIPÓTESIS	15
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	15
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	15
1.5. VARIABLES	16
1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE	16
1.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE	16
1.5.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	17
1.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	19
1.8. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	19
CAPÍTULO II	20
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.2. BASES TEÓRICAS	24
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	28
2.3.1. COMPOSTAJE	28
2.3.1.1. Propiedades del compostaje	29
2.3.1.2. Materias primas del compostaje	29
2.3.1.3. Factores que condicionan el proceso de compostaje	30
2.3.2. ABONO	33
2.3.2.1. Propiedades de los abonos orgánicos	33
2.3.2.2. Composición química de los abonos orgánicos	35
2.3.2.3. Factores de control técnico	36
2.3.3. POBLACIÓN MICROBIANA	37
2.3.3.1. Generalidades de los Microorganismos	38
2.3.3.2. Microorganismos Eficientes	39
2.3.3.2.1. Origen	39
2.3.3.2.2. Tipos de Microorganismos que conforman el caldo microbiano	39

2.3.3.2.3. Aplicación en el manejo de residuos sólidos orgánicos	40
2.3.4. PROCESO DE COMPOSTAJE	40
2.3.4.1. Mesofílico	40
2.3.4.2. Termofílico	41
2.3.4.3. De enfriamiento	41
2.3.4.4. De maduración	41

CAPÍTULO III **42**

3.1. MARCO REFERENCIAL	42
3.1.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO	42
3.1.2. CLIMA	42
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL	44
3.3. MATERIALES	47
3.3.1. MICROORGANISMOS EFICIENTES (<i>SACCHAROMYCES CEREVISIAE</i> , <i>ASPERGILLUS SP.</i> , <i>LACTOBACILLUS SP</i>)	47
3.3.2. HANGAR	47
3.3.3. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	49
3.3.4. INSUMOS	49
3.4. MÉTODOS	49
3.4.1. REPRODUCCIÓN DE LA CEPA MADRE	49
3.4.2. PROCESO DE COMPOSTAJE	50
3.4.3. MEDICIÓN DE PARÁMETROS	56
3.4.4. COSECHA	57
3.4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	57
3.4.6. PROYECCIÓN DE AHORRO ECONÓMICO PROYECTADO A UN AÑO	58

CAPÍTULO IV **59**

4.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	59
4.1.1. RESULTADOS DE TEMPERATURA	61
4.1.2. RESULTADOS DEL PH	77
4.1.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL PRODUCTO FINAL (COMPOST)	92
4.1.4. RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE COMPOST OBTENIDO	100
4.1.5. RESULTADOS DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS POR DESCOMPONER	101
4.2. COMPARACIÓN DE COSTOS	103
4.2.1. ANÁLISIS COSTO - BENEFICIO	103
4.2.2. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN	100

CAPÍTULO V	107
5.1. CONCLUSIONES	107
5.2. RECOMENDACIONES	109
CAPÍTULO VI	111
6.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	114
ANEXO 1. GRÁFICO DE CADA TRATAMIENTO	114
ANEXO 2. DATOS DE CAMPO	116
ANEXO 3. ILUSTRACIONES	148
ANEXO 4. PRESUPUESTO	155
ANEXO 5. MATRIZ DE CONSISTENCIA	158
ANEXO 6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES (DIAGRAMA DE GANTT)	161
ANEXO 7. RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR	165
ANEXO 8. RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	166

INTRODUCCIÓN

Uno de los más grandes problemas ambientales en el país es la disposición de los residuos sólidos; Perú cuenta con 8 rellenos sanitarios para residuos sólidos domésticos y 1 relleno sanitario para residuos peligrosos. Sin embargo, cada día son generados grandes cantidades de residuos en 1 mil 838 distritos a nivel nacional; así como también en las empresas tanto privadas como del estado; que por normativa tienen que tratar y disponer sus residuos de forma adecuada. En general, la labor de retiro de dichos residuos se realiza a través de la contratación de empresas privadas, lo que genera grandes costos para las empresas, las prácticas habituales para la disposición final de residuos, consiste en colocar estos en rellenos sanitarios.

Ante esta problemática se han adecuado y creado técnicas que permiten la reutilización (reciclaje) de los residuos, dándole un valor agregado y disminuyendo el volumen dispuesto en los rellenos sanitarios.

El compost se presenta como una de estas soluciones técnicas para tratar los residuos orgánicos, permitiendo su reutilización como abono.

Desde el punto de vista ambiental evita la extracción de tierra y a su vez alarga la vida útil de los rellenos sanitarios, así como el evitar la emisión de gases de efecto invernadero, y desde el punto de vista económico podría disminuir los costos en abono y en la disposición final. Por lo tanto, el compost podría contribuir con ciudades y empresas sustentables, reutilizando los residuos y fertilizando nuestras áreas verdes.

Sin embargo solo utilizan una parte del total de residuos orgánicos, pues se prefiere procesar solo los residuos de frutas y verduras debido a la rapidez de descomposición (aprox. 3 meses). Quedando gran parte de los residuos orgánicos sin ser tratados ya que emiten olores desagradables y propician la proliferación de vectores y microorganismos patógenos y en lugar de descomponerse, pasa por un proceso de putrefacción.

Es así que, el presente trabajo constituye una continuación de experiencias anteriores, y da un primer paso para la validación e investigación del uso de

microorganismos eficientes en la Central Hidroeléctrica Chaglla, que se busca optimizar el manejo de residuos orgánicos, aumentar la producción de compost y reducir costos de transporte y disposición final de dichos residuos, detallando la efectividad de cada dosis bajo condiciones controladas (temperatura, humedad y pH) identificando finalmente la dosis más adecuada para la descomposición de residuos en la Central Hidroeléctrica Chaglla.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

A nivel mundial no existen políticas que contribuyan a disminuir la contaminación ambiental ocasionada por la acumulación de residuos sólidos, como los residuos orgánicos generados en comedores.

En la Central Hidroeléctrica Chaglla, Ubicado en el Departamento de Huánuco, Provincia Huánuco y Pachitea, Distrito Chinchao, Chaglla y Umari a 1000 msnm; se generan aproximadamente 60 toneladas al mes de residuos orgánicos provenientes de los comedores de la obra, los cuales deben ser transportados hasta Lima (520 km) para ser dispuestos en un relleno sanitario autorizado.

Por otro lado, las actividades de recuperación y estabilización de áreas degradadas necesitaban de un suministro constante de abono de calidad.

A partir de las premisas mencionadas, en 2012, el Programa de Asuntos Ambientales empezó a aprovechar dichos residuos a través de la técnica de compostaje, con la cual se procesaba un 30% de los residuos orgánicos (frutas y verduras) para producir alrededor de 11 toneladas al mes de abono orgánico.

Sin embargo, con el aumento en la generación de residuos orgánicos y con el mayor requerimiento de abono orgánico, se están incrementando los costos tanto en la disposición final del 70% restante de residuos orgánicos difíciles de descomponer (cereales, carnes, tubérculos, etc.), como en la compra de abono, ya que no es suficiente el abono generado a partir del 30 % de residuos orgánicos (frutas y verduras).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la aplicación de microorganismos eficientes en la optimización del manejo de residuos orgánicos durante el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Optimizar el manejo de residuos orgánicos mediante la aplicación de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*) en el proceso de compostaje que se realiza en el centro de gestión de residuos de la Central Hidroeléctrica Chaglla.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Evaluar el proceso que se lleva a cabo, comparando sus ventajas o desventajas; con respecto al actual sistema que se ejecuta en el centro de gestión de residuos.
- Monitorear el proceso de degradación de los residuos orgánicos, considerando parámetros como la temperatura, pH y humedad relativa.
- Generar compost para utilizar en las actividades de revegetación en la obra.
- Analizar las características del producto final, determinando las propiedades físico - químicas para su uso como abono en las actividades de revegetación.
- Reducir costos de transporte y disposición final de los residuos orgánicos (restos de comida), mediante el uso de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General

Afirmativa

Es posible la optimización del manejo de residuos orgánicos con la aplicación de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla.

Nula

No es posible la optimización del manejo de residuos orgánicos con la aplicación de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla.

1.4.2. Hipótesis Específicas

- **Afirmativa**

Es posible la evaluación del proceso, comparando con la metodología anterior utilizada en el centro de gestión de residuos.

Nula

No es posible la evaluación y monitoreo del proceso, comparando con la metodología anterior utilizada en el centro de gestión de residuos.

- **Afirmativa**

Es posible el monitoreo del proceso de degradación de los residuos orgánicos considerando los parámetros como la temperatura, pH y humedad relativa.

Nula

No es posible el monitoreo del proceso de degradación de los residuos orgánicos considerando los parámetros como la temperatura, pH y humedad relativa.

- **Afirmativa**

Es posible la generación de compost para ser utilizado en las actividades de revegetación.

Nula

No es posible la generación de compost para ser utilizado en las actividades de revegetación.

- **Afirmativa**

Es posible el análisis de las características físico – químicas del producto final (abono).

Nula

No es posible el análisis de las características físico – químicas del producto final (abono).

- **Afirmativa**

Es posible la reducción de costos de transporte y disposición final de los residuos orgánicos mediante el uso de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje.

Nula

No es posible la reducción de costos de transporte y disposición final de los residuos orgánicos mediante el uso de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje.

1.5. Variables

1.5.1. Variable dependiente

Residuos orgánicos y Microorganismos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*).

1.5.2. Variable independiente

El compost.

1.5.3. Operacionalización de variables

- **Peso de materia prima recolectada**

Se registrará el peso de los desechos orgánicos a compostar, como base comparativa para el producto final que se obtenga luego del proceso. Utilizaremos para este fin una balanza mecánica (para 500 Kg.).

- **Peso de compost obtenido**

Estos datos servirán para determinar qué diferencias existieron al final del proceso en cuanto a peso final de compost. Para su registro se utilizará una balanza mecánica (para 500 Kg.).

- **Relación entre material prima y compost obtenido**

A través de esta relación, se determinará la conversión de los desechos orgánicos en compost y se generará una idea preliminar de la acción microbiológica según los valores obtenidos. Es una relación matemática de conversión que nos indicará cuánto se necesitó de desechos orgánicos para obtener el compost.

- **Tiempo de compostaje del material**

Se determinará el tiempo que durará el proceso de compostaje para cada tratamiento, y siendo comparados con el tiempo de referencia de duración de un compostaje tradicional, el cual es de 3 meses.

- **pH diario del proceso**

La variación de pH en la pila podrá afectar el trabajo de los microorganismos en el compostaje.

Utilizaremos un pH-metro para obtener los valores de estas variaciones durante todo el proceso.

- **Temperatura diaria del proceso**

La acción microbiológica genera un aumento acelerado de temperatura en las pilas. El registro de temperatura se realizará con un termómetro tipo espiga durante los días que durará el proceso.

1.6. Justificación de la investigación

En el Centro de Gestión de Residuos Sólidos de la Central Hidroeléctrica Chaglla, se desarrollan actividades de reciclaje de materiales de construcción y producción de compost a partir del 30% de residuos orgánicos (frutas y verduras) generados en los comedores de la obra.

Este último proceso tal como se viene realizando, no es lo suficientemente bueno, ya que no se puede procesar el 70% de residuos orgánicos restante y el tiempo de producción de abono es muy largo (3 meses), generando costos altos para la disposición final de los residuos que no se pueden procesar, además para las actividades de revegetación en la obra se necesita un constante suministro de abono y debido a su deficiente producción no se abastece.

Por estas razones, con este proyecto de investigación se pretende optimizar el manejo de los residuos orgánicos en la elaboración de compost, mediante la utilización de microorganismos eficientes, para tratar el 100% de los residuos orgánicos generados en obra minimizando impactos negativos sobre el medio ambiente como la generación de gases de efecto invernadero y costos para su disposición final.

De igual manera obtener un abono de mejor calidad, satisfaciendo la demanda en el programa de revegetación.

1.7. Viabilidad de la investigación

Es viable, debido a que esta investigación beneficiará a la empresa con la reducción de sus costos para el transporte y disposición final de todos los residuos orgánicos, que no era posible su descomposición con la metodología que se venía usando en el Centro de Gestión de Residuos, así como también se beneficiará en la obtención de suficiente compost para sus actividades de revegetación.

Por otro lado, la metodología realizada en esta investigación se podría replicar en el manejo de residuos sólidos de las ciudades.

1.8. Limitaciones de la investigación

No existieron limitaciones, la empresa puso a disposición los recursos necesarios para realizar la investigación ya que los resultados de esta investigación también son de su interés.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Sir Albert Howard, agrónomo inglés, quien estuvo en la India entre los años 1905 y 1934, practicó por primera vez el «método indore», desarrolló la técnica de compostar, para el mejoramiento de los terrenos de cultivos e incrementar la producción en la región; concluyó que los residuos animales y plantas sanas que caen en el suelo mejoran la fertilidad de éste debido al abundante humus. Aprendió de los agricultores chinos la importancia de usar todos los residuos orgánicos para fortalecer las tierras.

Córdova Molina Carolina Alejandra, en el año 2006, elaboró en la Universidad de Chile la tesis “Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos” esta investigación tuvo como objetivo general estudiar la factibilidad técnico - económica para instalar una planta de compostaje, utilizando residuos vegetales urbanos. Córdova Molina obtuvo los siguientes resultados: Del estudio de mercado, el volumen bruto de residuos de podas, talas y ferias libres correspondiente a 28.088 m³ en La Reina y 7.946 m³ en Providencia. Del estudio de factibilidad técnica se infirió que es posible realizar la implementación de una planta de compostaje dentro de las Comunas en estudio, dado principalmente por que los residuos son adecuados para el proceso de compostaje contando con volúmenes netos de 1.133 m³ en La Reina y 282 m³ en Providencia y porque existen superficies disponibles para sus instalaciones.

Esteban David Andrade García, en el año 2008, elaboró en la Universidad San Francisco de Quito la tesis “Reciclaje: Utilización de desechos orgánicos para obtener abono orgánico”; donde comparó los procesos de compostaje y

Lombricultura, basado en una agricultura sostenible, para el efecto se utilizó los desechos de los jardines y la granja de la USFQ, para obtener abono orgánicos; la conclusión al haber finalizado este proyecto muestra que se debe utilizar un sistema híbrido para el reciclaje de los desechos. Se debe combinar un proceso de precompostaje seguido por el proceso de Lombricultura. En base a los resultados de laboratorio, el tamaño de partículas y la composición física del material de esta investigación mostró que la Lombricultura es el proceso más idóneo para la obtención de abono orgánico; pero este no se puede desarrollar sin primero un proceso de precompostaje.

Ascázubi Massón Edith Andrea, en el año 2011, desarrolló en la Escuela Politécnica del Ejército de Ecuador la tesis titulada “Evaluación de seis combinaciones de compost de material vegetal de rosas enriquecido con Machachi – Cat utilizando como planta indicadora la remolacha”, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desarrollo de compostaje con rosas enriquecido con Machachi–Cat, llegando a las siguientes conclusiones: Se considera que el material vegetal de rosas base es muy adecuado pues mantuvo similares temperaturas que cuando se adicionó los materiales nitrogenados, los cuales provocan incrementos de temperatura; prácticamente la utilización del Machachi-Cat así como de los compuestos nitrogenados no afectaron al pH del compost a lo largo de las 10 semanas de evaluación; sin embargo la relación carbono – nitrógeno en la primera evaluación semanal se diferenció el compost normal y el de gallinaza con respecto al compost de harina de pescado, en las evaluaciones subsiguientes se equipararon.

Enríquez Villacorte Edwin Fabián, en el año 2013, desarrolló en la Universidad Técnica del Norte de Ecuador, con la tesis “Producción de compost a base de Lechugín utilizando en tratamiento de aguas residuales en Lafarge Cementos S.A. y su efecto en el cultivo de lechuga”, esta investigación tuvo como objetivo general producir compost a base de lechuguín (*Eichornia crassipes*) utilizado en el tratamiento de aguas residuales en Lafarge Cementos S.A., y evaluar su

efecto en el cultivo de lechuga. Llegó a las conclusiones siguientes: En base a los estudios y análisis realizados a cada uno de los tratamientos y haciendo referencia a los contenidos de As, B y Hg determinados en el lechuguín; donde se observa que el lechuguín, no es el factor que eleva los valores de estos contaminantes en el compost; y se comprueba la hipótesis alternativa, demostrando que es posible producir compost a base de lechuguín (*Eichornia crassipes*), utilizado en el tratamiento de aguas residuales en Lafarge Cementos S.A.

En base a los resultados obtenidos de dicha investigación, se recomendó a Lafarge Cementos S.A. disponer de este compost, para la reforestación de capas vegetales, recuperación de áreas verdes; además de prácticas agrícolas con la comunidad.

La práctica del compostaje se inició en el Perú en 1940 en la estación experimental agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, a través de experimentos empíricos con residuos de rastrojo y heces de los vacunos. Desde 1985 se está realizando una amplia promoción del proceso de elaboración del compost, en las comunidades campesinas de la zona andina, a cargo de algunas instituciones privadas (ONG) que ejecutan proyectos de desarrollo rural integral, tales como IDEAS, EDAC en Cajamarca, IDMA en Huánuco. Además es de mencionar la enseñanza de esta técnica en escuelas rurales de Ancash, Cajamarca, Ayacucho y Celendín que vienen desarrollando la asociación evangélica LUTERANA de ayuda para el desarrollo comunal (DÍACONIA) con buenos resultados.

Fanny Mabel Carhuancho León, en el año 2012, realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima – Perú, la tesis “Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola”; al finalizar la investigación se concluyó que el biol obtenido de la gallinaza de piso presenta mejor calidad en

nutrientes sin efecto de toxicidad en mínimas concentraciones 0.1/100 y 1/100 de biol para las plantas, considerándose un biol fitonutriente.

Marco Antonio Mansilla de la Peña, en el año 2012, desarrolló en la Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto – Perú; la investigación “Determinación de la concentración de nutrientes N, P, K en los residuos sólidos orgánicos selectivos provenientes del mercado Ayaymaman, mediante la técnica del compostaje, Moyobamba”; al realizar la clasificación por sectores de generación de los residuos sólidos orgánicos en el mercado Ayaymaman, precisaron el sector comidas, el sector frutas y verduras, y el sector jugos.

El análisis de varianza y prueba de Duncan de la materia orgánica del contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, no presentaron significancia ni diferencia estadística entre los promedios porcentuales; sin embargo, los valores de pH de los sectores comida, testigo, frutas – verduras y jugos, fueron, 10.788, 10.590, 9.952 y 8.904 respectivamente, el testigo alcanzó una conductividad eléctrica mayor, con 16.376 unid., y con similitud estadística de 11.872 unid., pero el sector jugos fue de 7.098 unidades.

Ana Asado, Edwin Vidal y Yula Ruíz, en el año 2007, desarrollaron en la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, Huánuco - Perú, la tesis “Concentración de sales en ocho tipos de compost mejorado, elaborados bajo las condiciones del huerto olerícolafrutícola de la UNHEVAL”, llegando a la conclusión que el tratamiento (15 kg de roca fosfórica + 1 1 2 broza de frijol + estiércol de cobayo) alcanzó el valor máximo de conductividad eléctrica al 1º, 2º 3º y 4º mes de compostaje con 19,46 dS/m, 20,95 dS/m, 21,95 dS/m y 25,40 dS/m respectivamente; la misma tendencia mostraron los tratamientos (15 kg de 1 1 1 roca fosfórica + broza de frijol + estiércol de vacuno) y a b c (15 kg de roca fosfórica + 1 2 2 broza de maíz + estiércol de cobayo). El tratamiento (30 kg de roca fosfórica + 2 2 2 broza de maíz + estiércol de cobayo) alcanzó el valor mínimo de conductividad eléctrica con 12,83 dS/m al primer y segundo mes de compostaje. Los valores de los tratamientos con 15 kg de roca fosfórica

tienden a mostrar la tendencia de presentar un mayor contenido de sales solubles que aquellos tratamientos que tienen un contenido de 30 kg de roca fosfórica, lo que significa que a mayor contenido de roca fosfórica, el proceso de descomposición es más lento, lo que afecta la liberación de las sales solubles.

Rosa Guadalupe Martel Alva en el año 2014, desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Huánuco – Perú; con la tesis “Caracterización preliminar de la agricultura convencional y orgánica en la comunidad de Vinchos, distrito de Churubamba, provincia de Huánuco”, con esta investigación se llegó a la conclusión que en la comunidad de Vinchos, que la aplicación de las técnicas agroecológicas son básicas por la mayor parte de la población 85%, pero aún falta impulso en otro tipo de técnicas agroecológicas más avanzadas para poder mejorar la producción de los campesinos. En cuanto a cultivos, se practica bastante la asociación de cultivos, dándose entre maíz y frijol, maíz y calabaza y maíz y habas. Sin embargo, no se hace ningún tipo de control ecológico de plagas, lo cual ayudaría a disminuir el uso de pesticidas. Por último, hay una escasa producción de enmiendas orgánicas, (como el bocashi o biol), cuya elaboración mejoraría el aporte de nutrientes a los cultivos; teniendo en cuenta, además, que varios de los elementos para su elaboración lo pueden obtener en el mismo medio rural.

2.2. Bases Teóricas

Desde los días de la sociedad primitiva, los seres humanos y los animales han utilizado los recursos de la tierra para la supervivencia y evacuación de residuos¹. Hace millones de años los residuos no planteaban ningún

¹Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994

inconveniente, esto debido a que la relación población versus terreno era lo suficientemente grande como para que estas no presentaran problema alguno. Los problemas de disposición y tratamiento se dan cuando el hombre se convierte en sedentario, y empieza a agruparse en tribus, aldeas o comunidades, lo que conllevó a la acumulación de residuos. El mal manejo de estos residuos, los cuales eran dispuestos en las vías sin ninguna gestión adecuada, llevó a la reproducción de ratas, siendo las principales transmisoras de la peste bubónica, junto con esta se dio la epidemia, la plaga, la muerte negra, causante de la muerte de casi la mitad de las personas que habitaban en ese entonces Europa (siglo XIV)².

Para el siglo XIX, se empiezan a considerar de vital importancia que la recolección y evacuación de los residuos de comida se debían realizar de una forma sanitaria para controlar roedores, moscas y vectores sanitarios. Se evidenció también, que la relación entre salud pública y el almacenamiento, recolección y evacuación inapropiada de residuos era muy claro³.

Fenómenos como la contaminación del agua, aire y afecciones a la salud humana han sido atribuidos a la gestión inapropiada de los residuos sólidos, esto debido a que se ha demostrado que las ratas, moscas y otros transmisores se reproducen en vertederos incontrolados; por otro lado el lixiviado que producen los residuos luego de ser dispuesto, han contaminado tanto las aguas superficiales como subterráneas, debido a la falta de aplicación de controles de inyección para el manejo de los rellenos⁴.

Otra solución dada para el tratamiento de los residuos fue la incineración, siendo esta uno de los métodos más antiguos, se desarrolló y tecnicizó a finales del siglo XIX.

² Davis & Masten, 2005; Pineda, 1998; Tchobanoglous et al., 1994

³ Vázquez, 1996; Tchobanoglous et al., 1994

⁴ Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994.

Con este tratamiento se creyó llegar a la solución ideal, gracias a la reducción del volumen y el peso de los residuos, además de dejar residuos indoloros y homogéneos, con poco atractivo tanto para insectos como roedores, pero con la incineración como solución se generó un nuevo problema, la contaminación atmosférica⁵.

Hoy en día, el relleno sanitario se convierte en una de las alternativas más eficientes para la disposición adecuada de los residuos sólidos, pero a largo plazo, tampoco será el método o al menos el único, debido a que cada día con el crecimiento urbano se dificulta más la consecución de terrenos para el establecimiento de los mismos⁶.

Por esta razón se han venido desarrollando diferentes tratamientos, los cuales utilizan poco espacio y pueden tratar todo el material como es el caso de la termólisis o pirolisis, o fracciones, como la biogeneración o el compostaje⁷.

Actualmente surgen preocupaciones importantes por los millones de toneladas de residuos que se generan en el mundo, ya que éstos no tienen un buen manejo y tratamiento; otro factor primordial es la composición, que a medida que pasa el tiempo ha venido cambiando como también sus características químicas, físicas y biológicas. Es por esto que hace unas décadas se viene hablando de un sistema integral para el manejo de residuos sólidos, que tenga en cuenta reducción en origen, reciclaje de residuos, transformación y evacuación⁸.

Este presenta diferentes tecnologías de tratamiento para la evacuación definitiva como lo son la minimización de residuos, la reutilización y reciclado, el tratamiento biológico, el tratamiento térmico y la evacuación a rellenos sanitarios.

⁵ Collazos, 2005; Davis & Masten, 2005.

⁶ Collazos, 2005; Pineda, 1998

⁷ Davis & Masten, 2005; Pineda, 1998.

⁸ Orozco, 2005; Decreto 1713 de 2002; Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994.

En la actualidad, pocos son utilizados en el medio, debido a los altos costos como es el caso de los térmicos, ya que son tecnologías nuevas en el país, las cuales utilizados en el medio, debido a los altos costos de los términos, ya que son tecnologías nuevas en el país, las cuales utilizan una mano de obra capacitada, grandes cantidades de energía, llevando a un aumento de los costos de funcionamiento, pero con una gran ventaja, la disminución de impactos al ambiente. Por esto otro tipo de tratamientos de menor costo, se imponen en el medio; como es el caso de los rellenos sanitarios o evacuación a vertedero, la cual se convierte en la mejor opción de tratamiento en los países debido a su fácil manejo⁹.

Este tratamiento combinado con otros como es el caso de la reutilización y el reciclaje para los residuos inorgánicos y el tratamiento biológico para los residuos orgánicos, logra disminuir la cantidad a disponer en el vertedero. Son los residuos orgánicos, los de mayor producción en la cantidad total de residuos, con un rango entre 50 y 60%, convirtiéndose en el tipo de residuo más importante para ser tratado, debido a que se logra disminuir la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario¹⁰.

⁹ Resolución 1390 de 2005; Decreto 838 de 2055; Resolución 1045 de 2003, MINAMBIENTE, 2002; Decreto 1713 de 2002.

¹⁰ Li'ao et al., 2009; Gamze et al., 2009; Osman et al., 2009; Cherunini et al., 2008; AMVA, 2006; PGIRS Subregional, 2002.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Compostaje

El compostaje es la descomposición biológica oxidativa de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se produce en condiciones controladas sobre sustratos orgánicos heterogéneos, en estado sólido¹¹.

Es un proceso biológico aerobio controlado, que permite la degradación y estabilización de la materia orgánica, donde se generan reacciones químicas, físicas y biológicas como cambios de temperatura, humedad, pH, entre otros.

En términos generales el Compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica¹².

Moreno, C.; Moral, J. & Herrero, R. (2008) mencionan que: “El proceso de compostaje se define como una descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas como consecuencia de una producción biológica de calor, que da un producto final estable, libre de patógenos, semillas de malas hierbas y que aplicado al terreno produce un beneficio”.

Por otro lado Fiabane y Meléndez. (1997) indican que: “El compostaje es un proceso que supone una serie de transformaciones de los residuos orgánicos, mejorando las propiedades físicas y químicas del material original, aumenta la fertilidad potencial y simultáneamente la cantidad de humus estable”.

¹¹ CEGARRA, Juan. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Memorias VII congreso Colombiano de la ciencia del suelo, Bucaramanga, Octubre 1994. p. 21-31

¹² MUNÉVAR M, Fernando. Concepto Sobre la Materia Orgánica y el Nitrógeno del Suelo Relacionados con la interpretación de análisis Químicos. En: Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas para Riego. 3ra Ed., Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1990. p. 227-239.

2.3.1.1. Propiedades del compostaje

- **Mejora las propiedades físicas del suelo**

La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo.

- **Mejora las propiedades químicas**

Aumenta el contenido en macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), y micronutrientes.

- **Mejora la actividad biológica del suelo**

Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad.

2.3.1.2. Materias primas del compostaje

Para la elaboración del compostaje se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de:

- **Restos de cosechas**

Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, etc. son ricos en nitrógeno y pobres en carbono. Los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, etc. son menos ricos en nitrógeno.

- **Las ramas de poda de los frutales**

Es preciso triturarlas antes de su incorporación al compostaje, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga.

- **Restos urbanos**

Se refiere a todos aquellos restos orgánicos procedentes de las cocinas como puede ser restos de fruta y hortalizas, restos de animales de mataderos, etc.

- **Estiércol animal**

Se destaca el estiércol de vaca, aunque otros de gran interés son la gallinaza, conejina o sirle, estiércol de caballo, de oveja y los purines.

- **Complementos minerales:**

Son necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras. Destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo.

- **Plantas marinas**

Anualmente se recogen en las playas grandes cantidades de fanerógamas marinas como Posidonia oceánica, que pueden emplearse como materia prima para la fabricación de compostaje ya que son compuestos ricos en nitrógeno (N), fósforo (P), carbono (C), oligoelementos y biocompuestos cuyo aprovechamiento en agricultura como fertilizante verde puede ser de gran interés.

- **Algas**

También pueden emplearse numerosas especies de algas marinas, ricas en agentes antibacterianos y antifúngicos y fertilizantes para la fabricación de compostaje.

- **Hojas**

Pueden tardar de 6 meses a dos años en descomponerse, por lo que se recomienda mezclarlas en pequeñas cantidades con otros materiales.

2.3.1.3. Factores que condicionan el proceso de compostaje

La calidad de un compost es usualmente determinado por parámetros químicos los cuales dan una determinación exacta de cada sustancia y los parámetros biológicos los cuales permiten evaluar la estabilidad del producto final¹³.

¹³ SOTO M, Gabriela. Abonos orgánicos: El proceso de compostaje. En: memorias taller de abonos orgánicos, Sabanilla, Costa Rica, Marzo de 2003; p. 29-66.

El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica.

Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

Son muchos y complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

- **Temperatura**

Se define como la unidad de calor y se expresa en °C dada por un valor variable en tiempo y espacio. La temperatura del suelo tiene importancia fundamental en relación con la actividad de los micro y meso-organismos, la descomposición de la materia orgánica, la germinación de semillas.

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malezas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.

- **Humedad**

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60%. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento.

El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos la humedad

máxima permisible es del 75-85% mientras que para material vegetal fresco, ésta oscila entre 50 - 60%.

- **pH**

El compostaje se puede desarrollar en un amplio rango de pH 3.0 - 11.0.

En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5).

Generalmente el pH decrece al principio por la producción de ácidos orgánicos de cadena corta y lentamente va incrementándose posteriormente, debido a la degradación de las proteínas y la liberación del amoníaco de los aminoácidos.

- **Oxígeno**

El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.

El oxígeno es necesario para que se dé un proceso de descomposición aeróbica, la actividad de los microorganismos y para oxidar determinadas moléculas orgánicas del sustrato. En el sistema de compostaje se incrementan los niveles de CO₂ mientras que el oxígeno disminuye; el consumo de éste está relacionado con la actividad microbiana de acuerdo a los cambios de temperatura y humedad.

- **Relación C/N equilibrada**

Es un factor importante dentro del proceso, por la necesidad de carbono por parte de los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno es un factor importante como elemento básico en la formación de proteínas y otros constituyentes del protoplasma celular.

El carbono (C) y el nitrógeno (N) son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compostaje de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos.

Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compostaje. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica. Una relación C/N muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco.

Es importante realizar una mezcla adecuada de los distintos residuos con diferentes relaciones C/N para obtener un compostaje equilibrado. Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, el heno seco, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las defecaciones animales y los residuos de matadero.

2.3.2. Abono

Los abonos estimulan las plantas para desarrollar su producción y crecimiento, por medio de ciertos nutrientes que actúan de manera tal que las plantas generan muchos más frutos de los que generarían sin los mismos.

2.3.2.1. Propiedades de los abonos orgánicos

Ariza, J. (2012) dice que, los abonos orgánicos tienen propiedades que ejercen determinados efectos sobre el suelo, aumentando la fertilidad de éste. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades:

a) Propiedades físicas

- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto por el agua como el viento.

Trinidad, A. (2008) indica que: “Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas del suelo: estas características son: estructura,

porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración conductividad hidráulica y estabilidad de agregados. Un aumento en la porosidad aumenta la capacidad del suelo para retener el agua, incrementando simultáneamente la velocidad de infiltración de esa misma agua en el suelo. Tal efecto es de la mayor importancia en los terrenos con desnivel donde el agua por escurrir superficialmente, no es eficientemente aprovechada”.

Una mayor porosidad está relacionada inversamente con la densidad aparente del suelo y con aspectos de compactación del mismo. Es evidente que la aplicación de estiércoles, con el tiempo tendrá efecto positivo en las propiedades físicas de los suelos; sin embargo, habrá que estar pendientes de algún incremento en la conductividad eléctrica, relacionando con el grado de salinidad de los suelos.

b) Propiedades químicas

Cervantes, M. (2009) muestra que: “Los abonos orgánicos cambian las propiedades químicas del suelo, aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste. Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad”. Cruz, M. (2008) comunica que: “La composición química de los abonos orgánicos variará de acuerdo al origen de estos. Las plantas, residuos de cosecha, estiércoles, etc., difieren grandemente en cuanto a los elementos que contienen. Las características químicas del suelo que cambian por efecto de la aplicación de los abonos orgánicos son obviamente el contenido de materia orgánica; derivado de esto aumenta el porcentaje de nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el pH y la concentración de sales”.

c) Propiedades biológicas

Cervantes, M. (2009) señala que: Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios, y que constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente”.

Según Trinidad, A. (2008): “Los estiércoles contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición casi siempre resulta en un incremento de la actividad biológica. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también en efectos directos en el crecimiento de las plantas”.

En la mayoría de los casos, el resultado del incremento de la actividad biológica, repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo, por efecto de la agregación que los productos de la descomposición caen sobre las partículas del suelo; las condiciones de fertilidad aumentan lo cual hace que el suelo tenga la capacidad de sostener un cultivo rentable. Asimismo, se logra tener un medio biológicamente activo, en donde existe una correlación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica del suelo. En relación con la disponibilidad de nutrimentos, la actividad biológica del suelo, juega un papel importante en la oxidación de reducción de los elementos esenciales; convirtiendo las formas no aprovechables a formas aprovechables por las plantas.

2.3.2.2. Composición química de los abonos orgánicos

Coronado, M. (1998) reporta que: “Los abonos orgánicos también se los conoce como: enmiendas orgánicas, fertilizantes orgánicos, fertilizantes naturales, entre otros. Asimismo, existen diversas fuentes orgánicas como por ejemplo: abonos verdes, estiércoles, compost, humus de lombriz, bioabonos, los cuales varían su composición química de acuerdo con el proceso de preparación e insumos que se empleen”.

Tabla 1: Composición química de diferentes abonos orgánica

Abono Orgánico	N – total %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	M.O. %	CE	pH 1:1
Estiércol	1.64	0.96	4.95	49.06	19.65	7.6
Compost	1.39	0.67	0.69	45.10	8.6	6.4
Humus Lombriz	1.54	0.21	0.46	49.44	3.8	4.6

Fuente: Coronado, M (1998). Manual de prevención y minimización de la contaminación industrial.

2.3.2.3. Factores de control técnico

Según Moreno, C. (1993): "El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Los factores más importantes son:

- **Temperatura.-** Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C., para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas muy altas, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporados.
- **Humedad.-** En el proceso de compostaje es importante que la humedad, alcance niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, produciendo la putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja, se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento.
- **pH.-** Influye en el proceso debido a su acción sobre microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8; mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5).
- **Oxígeno.-** El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial. La concentración de oxígeno dependerá del tipo de material, textura, humedad, frecuencia de volteo y de la presencia o ausencia de aireación forzada.
- **Relación C/N equilibrada.-** El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad, es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 20-30 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost. Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica; una relación C/N

muy baja no afecta al proceso de compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoniaco.

Tabla 2: Composición química de diferentes materias primas

Materia Prima	C/N	Materia Prima	C/N
Alfalfa	16-20:1	Orina	0.8: 1
Bagazo de caña	150:01:00	Paja de arroz	100:01:00
Basuras	35:01:00	Paja de frejol	40:01:00
Cáscara de maní	55:01:00	Paja de maní	20:01
Corteza	120:01:00	Paja de trigo	60:110: 1
Estiércol de gallina	10:01	Papeles, cartón	350:01:00
Estiércol de vaca	18 – 25:1	Residuos de la cocina	20:01
Heno fresco	12:01	Residuos de jardín	40:01:00
Hierbas cortadas	20:01	Aserrín	Hasta 500: 1
Hojas de yuca	12:01	Aserrín	200:01:00
Hojas secas	45:01:00	Aserrín fresco	500 – 800:1
Jacinto de agua (Lechugín)	20:01	Tallo de mijo	70:01:00
Mezcla de estiércol, orina de vaca + agua	10:01	Tallos de yuca	40:01:00
Mezcla de orina de vaca + agua	15:01	Troncos de maíz con hojas	55 – 70:1

Fuente: Coronado, M (1998). Manual de prevención y minimización de la contaminación industrial.

2.3.3. Población microbiana

Rodríguez, F. (2005) expone que: “El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos”.

Los principales organismos degradadores del petróleo son: las bacterias, las levaduras y en menor cantidad los hongos oxidantes de los hidrocarburos. Entre los organismos degradadores del petróleo destacan: *Pseudomonas putida* y *oleovorans*, la levadura del género *Candida* y diversos géneros de hongos tales como *Aspergillus* y *Fusarium*.

También agrega que estos organismos existen en residuos orgánicos de forma natural, aunque en pequeñas cantidades y mediante el proceso de compostaje en condiciones óptimas, éstas se reproducen aumentando la actividad microbiana y descomponiendo materia orgánica.

2.3.3.1. Generalidades de los Microorganismos

En el planeta existen diversas clases de organismos que interactúan con la naturaleza, permitiendo un equilibrio adecuado entre todos los reinos vivientes. Sin embargo, existen algunos tipos de seres que han sido beneficiosos dentro de este proceso, los microorganismos. Estos diminutos seres están presentes en casi todos los rincones de nuestro planeta, dentro de casi todos los procesos existentes, ayudando a mantener el equilibrio de la materia y energía en el ciclo del planeta.

La diversificación de estos microorganismos nos lleva a encontrar desde microorganismos parásitos y patógenos tanto de planta, animales y el hombre, hasta microorganismos llamados benéficos, por la gran ayuda que éstos brindan en diversos procesos en algunas áreas de la vida del ser humano.

Los microorganismos son muy importantes dentro del ciclo de transformación de la materia y energía. Se encargan de degradar los restos animales y vegetales, transformándolos en nutrientes indispensables para su propio metabolismo, además de generar sustancias y minerales que servirán como fuente de energía para otras especies dentro de otros ciclos.

2.3.3.2. Microorganismos Eficientes

Los E.M. (Effective Microorganisms) o Microorganismos Eficientes, son una combinación de varios microorganismos benéficos (caldo microbiano), de origen natural, que unidas producen a temperaturas favorables un aprovechamiento de los componentes de la materia a compostar para optimizar el proceso de compostaje. Son utilizados en diferentes aplicaciones en más de 110 países del mundo, brindando soluciones a diferentes problemas de la agricultura, el medio ambiente, la acuicultura, entre otras áreas.

2.3.3.2.1. Origen

Los microorganismos eficientes (EM) fueron desarrollados en la década de los 70, por el profesor Teruo Higa de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón.

Teóricamente este producto se encuentra conformado esencialmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias acidolácticas y bacterias fotosintéticas, las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería, según sus promotores. Inicialmente este producto fue desarrollado para el mejoramiento de suelos y el tratamiento de residuos Agropecuarios.

2.3.3.2.2. Tipos de Microorganismos que conforman el caldo microbiano

Los E.M. son una combinación de varios microorganismos agrupados en 4 grandes géneros: bacterias Foto tróficas, bacterias ácido lácticas, levaduras y actinomicetos.

- a) Las bacterias ácido-lácticas, producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias foto tróficas y levaduras; también aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa.

- b) Las levaduras, sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias foto tróficas, materia orgánica y raíces de las plantas.
- c) Los actinomicetos, actúan como antagonistas de muchas bacterias y hongos patógenos de las plantas debido a que producen antibióticos.
- d) Las bacterias foto tróficas, son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles como aminoácidos, ácidos nucleicos y azúcares, a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía.

2.3.3.2.3. Aplicación en el manejo de residuos sólidos orgánicos

En este ámbito, los E.M. son utilizados para transformar residuos orgánicos en compost a través de su fermentación, para contrarrestar la producción de malos olores en procesos de descomposición, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo. La calidad del compost obtenido, proviene de la utilización de una excelente materia prima (estiércol de ganado vacuno previamente compostado, material orgánico, etc. y microorganismos eficientes), una climatología adecuada, el manejo y una instalación adecuada permitirá realizar en proceso de compostaje, utilizando medios naturales.

2.3.4. Proceso de compostaje

Según INFOAGRO (2010): "El proceso de compostaje puede dividirse en cuatro períodos, atendiendo a la evolución de la temperatura:

2.3.4.1. Mesofílico

La masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad

metabólica la temperatura se eleva y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.

2.3.4.2. Termofílico

Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

2.3.4.3. De estabilización

Cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que reinviden el mantillo y descomponen la celulosa. Al bajar de 40 °C los mesófilos también reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente.

2.3.4.4. De maduración

Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus”.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Marco Referencial

3.1.1. Localización Del Ensayo

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la Central Hidroeléctrica Chaglla, ubicada en la región Huánuco a 520 km de Lima, entre los distritos de Chaglla (Pachitea) y Chinchao (Huánuco). Específicamente, en una zona cerrada de la cordillera a 1,196 msnm, desde donde se aprovechará las aguas del río Huallaga.

Distrito: Chinchao y Chaglla

Provincia: Huánuco y Pachitea

Región: Huánuco



Figura 1: Ubicación de la Central Hidroeléctrica Chaglla

3.1.2. Clima

Se identifican en el área de estudio tres zonas climáticas bien definidas: una zona cálida y semiárida que varía a mayor altitud a cálida-templada, que se presenta en el sur, por debajo de los 2 000 msnm; una zona templada y muy húmeda, que se presenta tanto en el sur como en la parte central, en las laderas altas y cimas

montañosas situadas por encima de los 1 800 – 2 000 msnm; y una zona muy cálida y húmeda que caracteriza la parte central y norte del área, por debajo de los 1 800 msnm. (Estudio de impacto ambiental de la Central Hidroeléctrica Chaglla - 2009).

Tabla 3: Zonas climáticas en la Central Hidroeléctrica Chaglla

Zonas Climáticas	Pp Media anual (mm)	T° Media Anual (°C)	HR Media anual %	Zonas de Vida
Zona cálida (cálida a templada) y semi-árida	402,6	20,4	64,7	Bosque seco – premontano tropical (bs-PT)
				Bosque seco – montano bajo tropical (bs-MBT)
Zona templada y muy húmeda	2348,0	14,4	88,7	Bosque pluvial – montano bajo tropical (bp-MBT)
Zona muy cálida y húmeda	3317,4	24,1	81,9	Bosque húmedo – premontano tropical (bh – PT)
				Bosque muy húmedo – premontano tropical (bmh-PT)
				Bosque muy húmedo – montano bajo tropical (bmh – MBT)

Fuente: Estudio de Walsh Perú S.A. para la Central Hidroeléctrica Chaglla.

Tabla 4: Ubicación geográfica del proyecto y las características de la zona

Nombre	Coordenadas Referencial UTM (WGS 84)		Área Estimada (ha)	Zona de Vida	Cobertura Vegetal
	Norte	Este			
Centro de Gestión de Residuos	403989	8937570	0.89	Bosque muy Húmedo Pre montano Tropical	Área de influencia antrópica

Fuente: Estudio de Walsh Perú S.A. para la Central Hidroeléctrica Chaglla.

3.2. Diseño Experimental

El diseño es experimental y obedece a un Diseño Completamente al Azar (D.C.A) obteniéndose un total de 4 tratamientos incluido el testigo, con tres repeticiones.

- Número de repeticiones por tratamiento: Tres (3)
- Número de tratamientos: Tres (3)
- Número de Testigos: Uno (1)
- Unidad experimental: El número de unidades experimentales

$$(t + 1 \times r) = 12$$

- Cada Unidad Experimental (UE) estará conformada por lotes de materia orgánica a compostar.
- Se calculará el Coeficiente de Variación (CV), prueba de Duncan al 5%.

El esquema del análisis de varianza se indica en el siguiente cuadro:

FUENTES DE VARIACIÓN	GRADOS DE LIBERTAD
TOTAL (t*r)-1	11
TRATAMIENTOS (t-1)	3
ERROR EXPERIMENTAL (t-1)(r-1)	8

- Rendimiento: Con los valores de peso de los desechos orgánicos (peso inicial) y compost (peso final) respectivos, se obtendrá una relación matemática para determinar la conversión de materia orgánica en compost que se producirá en cada unidad experimental.

$$Rendimiento = \frac{Peso\ Final}{Peso\ Inicial} \times 100$$

- Costos: Se calcularán por medio de registros durante el desarrollo de la investigación con una proyección de un año.

a) Factores a probar

Material Orgánico

- F1: Proceso con tres capas (P3C)
- F2: Proceso con cinco capas (P5C)

Caldo de Inoculación (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp.*)

- L0: Sin EM
- L1: Con 5 litros de EM
- L2: Con 10 litros de EM
- L3: Con 20 litros de EM

b) Tratamientos a comparar

De la combinación de los dos factores en estudio se tienen los tratamientos detallados en la tabla 5.

Tabla 5: Nomenclatura y descripción de tratamientos

N° Tratamiento	Nomenclatura General	Nomenclatura Específica	Descripción
T1	F0L1	P3C	Proceso con tres capas
T2	F1L1	P3C + EM5	Proceso con tres capas + 5 litros de EM
T3	F1L2	P3C + EM10	Proceso con tres capas + 10 litros de EM
T4	F2L3	P5C + EM20	Proceso con cinco capas + 20 litros de EM

Fuente: Elaboración propia

c) Características de las UE

- Número de unidades experimentales: 12

- Área de las unidades experimentales: 2.03 m³
- Ancho: 1.30 m
- Alto: 1.20 m
- Largo: 1.30 m
- Forma de la UE: montículo
- Área total del ensayo: 112.5 m²
- Ancho: 7.5 m
- Largo: 15 m
- Alto: 3.5 m15*

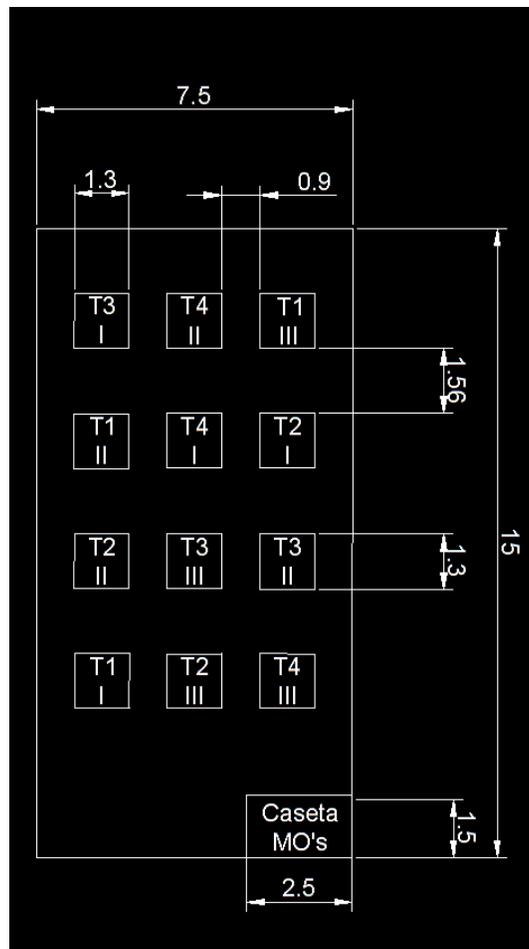


Figura 2. Diseño del Área Experimental de la Investigación

Nota: Elaboración Propia

3.3. Materiales

3.3.1. Microorganismos Eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp*)

Es una mezcla de varios tipos de microorganismos benéficos de origen natural sin manipulación genética: Bacterias ácido lácticas, Levaduras, Hongos de fermentación, Actinomicetos, los cuales son fisiológicamente compatibles, desarrolladas en un ecosistema natural.

Estos microorganismos se obtuvieron de la empresa M&F Orgánicos de Tingo María y se envió una muestra a la ciudad de Lima para su identificación.

3.3.2. Hangar

a) Características del Hangar

La investigación fue conducida bajo un sistema de hangar no climatizado, construido con materiales básicos de madera, malla Rachel y techo con calaminas.

Las dimensiones del hangar fueron:

- Ancho: 7.5 metros.
- Largo : 15 metros.
- Alto : 3.5 metros.

El hangar contó con mallas Rachel, para mitigar el efecto de las altas temperaturas, la alta luminosidad y la radiación de la zona.

En la Figura 3 nos muestra el hangar donde se llevó a cabo la investigación.



Figura 3: Hangar donde se realizó la Investigación

b) Materiales utilizados en el Hangar

La lista de materiales en el invernadero es la siguiente:

- Listones de madera 4" x 4" x 3 m
- Listones de madera 1" x 3" x 3 m
- Listones de madera 1" x 4" x 3 m
- Listones de madera 2" x 4" x 3 m
- Listones de madera 3" x 2" x 3 m
- Plancha de Triplay Fenólico
- Planchas de calamina 3.6 m
- Clavos para madera 3"
- Clavos para calamina
- Rollo de Malla Raschel 80%

3.3.3. Instrumentos de Medición

Los instrumentos de medición utilizados en la presente investigación fueron los siguientes:

- 1 pH-metro digital Hanna 98130 Precisión ± 0.01 .
- 1 Termómetro tipo espiga Hanna Rango (-50 a 150 °C); precisión ± 0.3 .
- 1 Termo-higrómetro digital (0.5 % precisión HR).
- 1 Balanza de pesas deslizantes 500 Kg.

3.3.4. Insumos

Los insumos utilizados en la consecución de los ensayos de la investigación fueron los siguientes:

- Polvillo de arroz (Según proporción).
- Melaza de caña (Según proporción).
- Agua (Según proporción).
- Microorganismos eficientes (Según proporción).
- Aserrín (Según proporción).

3.4. Métodos

3.4.1. Reproducción de la Cepa Madre

Una vez tengamos el caldo microbiano, al cual llamaremos “**cepa madre**” (***Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp***), se procederá a la reproducción de los microorganismos para lo cual se necesitará utilizar la siguiente proporción mostrada en la tabla 5.

Tabla 6: Insumos para constitución de la cepa de microorganismos (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp*)

INSUMOS	CANTIDAD
Cepa Madre	20 L.
Agua	170 L.
Polvillo de Arroz	2 Kg.
Melaza	5 Kg.
Total de Cepa Reproducida	200 L.

Fuente: Elaboración Propia

Las cepas resultantes del proceso de reproducción a partir de la cepa madre se llamarán “**cepas de inoculación**”, una vez realizada la reproducción se deberá esperar un periodo de tiempo de entre 2 a 3 días, tiempo en el cual se realizarán mediciones de pH hasta garantizar que se mantenga en un valor ácido de 4 a 4.5.¹⁴.

La temperatura a la cual deberá estar expuesta el caldo microbiano será de entre 20 a 25 °C.¹⁵

Una característica organoléptica de que nuestra cepa ya está lista para la siguiente etapa es la del olor a fermento dulce con presencia de una costra o natilla de un espesor de 3 cm de grosor aproximadamente.

Una vez logrado el desarrollo completo de las cepas de inoculación, podremos extraer las cantidades determinadas para agregar en los lotes de compostaje.

3.4.2. Proceso de Compostaje

A continuación se detalla los pasos que se siguieron para el desarrollo de la presente investigación:

¹⁴ Madigan, 2004

¹⁵ De Carlo, 2001

a) Recolección y caracterización de los residuos orgánicos

Lo principal fue conocer la clase de residuos orgánicos con la que se cuenta, para esto se realizó un análisis de caracterización de la fuente de los residuos orgánicos. Para cada tratamiento y repetición ingresó un peso de residuos orgánicos de 1570 Kilogramos.

El principal producto de la fuente de residuos orgánicos es la comida procesada con un 21% para carnes, 14% arroz, 18% cereales del total generado, enseguida hallamos a los residuos de frutas y verduras 29% y otros residuos (principalmente servilletas de papel) con 10%.

En el caso de las sopas, se tuvo un 8% que hace que los residuos orgánicos lleguen a una humedad de 90%, lo cual es responsable de los lixiviados, por lo que se deberá controlar los lixiviados con el uso de aserrín, para mejorar la textura y calidad del compost.

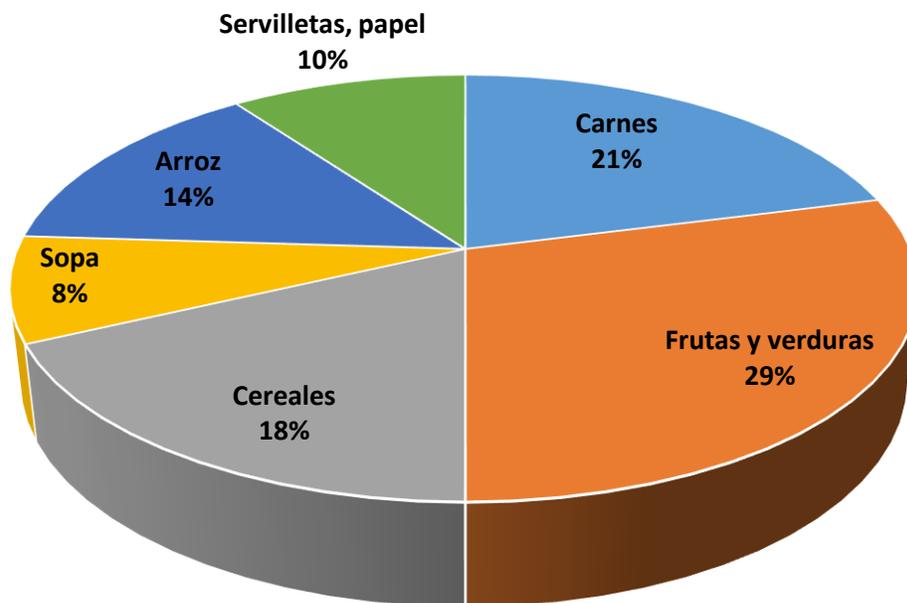


Figura 4: Caracterización de los residuos orgánicos

b) Proceso de Compostaje (ANEXO 1)

➤ Tratamiento 1 (Testigo)

1er Paso:

Se colocó una base de aserrín de 30 cm de espesor (275 Kg).

2do Paso:

Se colocó los 1570 kg de residuos orgánicos

3er Paso:

Finalmente se colocó una capa de aserrín (275 Kg) que tapanía todos los residuos orgánicos, hasta formar un montículo de 1.20 m de altura.

➤ Tratamiento 2

1er Paso:

Se colocó una base de aserrín de 30 cm de espesor (275 Kg).

2do Paso:

Se colocó los 1570 kg de residuos orgánicos

3er Paso:

Se tomó una dosis de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de los residuos orgánicos.

4to Paso:

Finalmente se colocó una capa de aserrín (275 Kg) que tapanía todos los residuos orgánicos, hasta formar un montículo de 1.20 m de altura.

➤ Tratamiento 3

1er Paso:

Se colocó una base de aserrín de 30 cm de espesor (275 Kg).

2do Paso:

Se tomó una dosis de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de la capa de aserrín.

3er Paso:

Se colocó los 1570 kg de residuos orgánicos

4to Paso:

Se tomó una dosis más de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de los residuos orgánicos.

5to Paso:

Finalmente se colocó una capa de aserrín (275 Kg) que taparía todos los residuos orgánicos, hasta formar un montículo de 1.20 m de altura.

➤ Tratamiento 4**1er Paso:**

Se colocó una base de aserrín de 30 cm de espesor (183.33 Kg).

2do Paso:

Se tomó una dosis de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de la capa de aserrín.

3er Paso:

Se colocó los 785 kg de residuos orgánicos

4to Paso:

Se tomó una dosis más de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de los residuos orgánicos.

5to Paso:

Se colocó una base de aserrín de 30 cm de espesor (183.33 Kg).

6to Paso:

Se tomó una dosis más de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de la capa de aserrín.

7mo Paso:

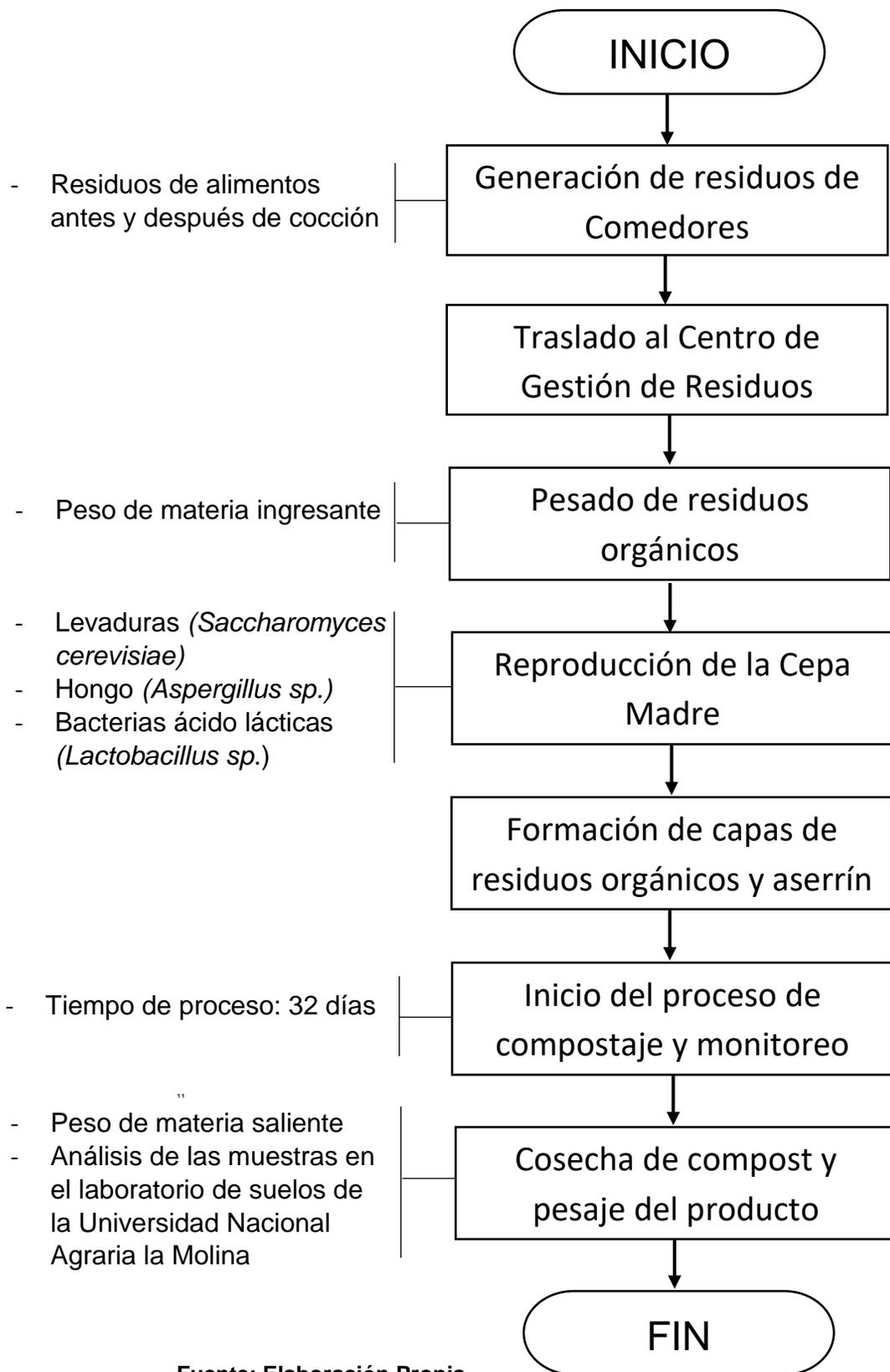
Se colocó los 785 kg de residuos orgánicos

8vo Paso:

Se tomó una dosis más de 5 litros del caldo de inoculación y con un equipo de aspersión se cubre toda la superficie de la capa de aserrín.

9no Paso:

Finalmente se colocó una capa de aserrín (183.33 Kg) que tapanía todos los residuos orgánicos, hasta formar un montículo de 1.20 m de altura.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5: Diagrama de flujo del proceso

3.4.3. Medición de Parámetros

Se realizaron las mediciones de los parámetros antes y después de realizar cada volteo hasta el día de su cosecha (32 días); los volteos para la homogenización de los lotes se realizaron cada 4 días.

a) Primer parámetro – Medición de pH

El rango de pH que deberá alcanzar el producto final será cercano al valor neutro – 6.5 a 7.5 es decir de ligeramente ácido a ligeramente alcalino, lo cual asegura el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos de los microorganismos.¹⁶ Si los valores se mantienen inferiores a 5 (ácidos) se inhibe el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 (alcalinos) son agentes inhibidores del crecimiento¹⁷.

b) Segundo parámetro – Medición de Temperatura:

La temperatura en los lotes de compost varía por una fase inicial de descomposición rápida de los materiales como azúcares, proteínas, almidones y hemicelulosas.

Luego ocurre una segunda fase de temperaturas más altas, donde se degradan los demás materiales como celulosa y lignina. Finalmente pasan a la fase de síntesis, donde se forman sustancias húmicas¹⁸.

El monitoreo y registro de temperatura se realizó al finalizar la conformación de los lotes, así como al finalizar cada volteo y antes de su cosecha, con ayuda del termómetro digital, se hizo tres lecturas por lote: una en cada extremo y otra en la parte central; estos valores son promediados para obtener una lectura única que pueda ser analizada estadísticamente.

¹⁶ Castrillón, 2006

¹⁷ De Carlo 2001

¹⁸ Madigan 2004

c) Temperatura ambiental

Con la ayuda de un Multiparámetro digital que mide la temperatura ambiente en °C, se monitoreo y registro la temperatura diaria del ambiente en el área de compostaje.

d) Humedad relativa

Con la ayuda de un Multiparámetro digital que mide la humedad relativa en %, se monitoreo y registro la humedad relativa del ambiente en el área de compostaje.

3.4.4. Cosecha

El proceso de la cosecha es uno de los más importantes, porque engloba el total de los procesos anteriormente realizados y el éxito en este proceso recompensara el esfuerzo realizado a lo largo del desarrollo de los ensayos.

La cosecha se da al culminar los 32 días del proceso de compostaje, donde se realizará el pesaje para evaluar la reducción de la materia con respecto a la que ingresó.

El producto de cada lote pasará por una zaranda, para separar el abono obtenido y los grumos de materia aún no descompuesta a la cual llamaremos “afrecho”; para evaluar las productividades alcanzadas.

$$Rendimiento (\%) = 100 \times \frac{\textit{materia saliente}}{\textit{materia ingresante}}$$

3.4.5. Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos en la presente investigación se evaluaron mediante el análisis de distribución de frecuencias y el análisis de varianza.

En el análisis de varianza se determinó este para cada una de las variables (Temperatura, pH, peso de compost obtenido y resultados del análisis de laboratorio del compost obtenido) y se determinara si existen diferencias significativas entre los resultados de ensayo de compostaje. Se calculará el Coeficiente de Variación (CV), prueba de Duncan al 5%.

3.4.6. Proyección de ahorro económico proyectado a un año

En base al estudio de demanda de abono para las actividades de revegetación y reforestación del proyecto con la proyección gastos al evitar los costos de transporte y disposición final de los residuos en rellenos sanitarios ubicados en la ciudad de Lima. En el siguiente capítulo se detallaran los resultados de la proyección en base a lo mencionado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El capítulo Resultados y Discusión de la presente investigación se muestra a través de Cuadros y Figuras que permiten explicar e interpretar las observaciones realizadas de los datos en el sistema de compostaje que se encuentran en los Anexos.

4.1. Presentación de Resultados

En la investigación se realizaron tres repeticiones de cuatro tratamientos para la descomposición de residuos orgánicos. Cada lote de compostaje tiene 2021 Kg (Residuos orgánicos y aserrín) con diferentes dosis de la “cepa de inoculación” y diferentes formas de conformación.

Tratamiento 1: En este ensayo para la descomposición de residuos orgánicos, se utilizó 550 Kg de aserrín y 1570 Kg de residuos orgánicos, sin ninguna dosis de la cepa de inoculación y se trabajó con dos capas de aserrín (base y cubierta) para las tres repeticiones.

Tratamiento 2: En este ensayo para la descomposición de residuos orgánicos, se utilizó 550 Kg de aserrín y 1570 Kg de residuos orgánicos, con una dosis de 5 litros de la cepa de inoculación y se trabajó con dos capas de aserrín (base y cubierta) para las tres repeticiones.

Tratamiento 3: En este ensayo para la descomposición de residuos orgánicos, se utilizó 550 Kg de aserrín y 1570 Kg de residuos orgánicos, con una dosis de 10 litros de la cepa de inoculación (5 litros en cada capa) y se trabajó con dos capas de aserrín (base y cubierta) para las tres repeticiones.

Tratamiento 4: En este ensayo para la descomposición de residuos orgánicos, se utilizó 550 Kg de aserrín y 1570 Kg de residuos orgánicos, con una dosis de 20 litros de la cepa de inoculación (5 litros en cada capa), se trabajó con dos capas de residuos orgánicos y tres capas de aserrín (base, intermedia y cubierta) para las tres repeticiones.

Para la comparación de la calidad del resultado de compostaje se analizó los análisis respectivos en el laboratorio de suelos de la Universidad Agraria la Molina.

El sistema empleado para el tratamiento de residuos orgánicos fue el compostaje con microorganismos eficientes, por ser considerada como una forma ambientalmente adecuada de reciclaje de materia orgánica siendo posiblemente producido a partir del empleo de principios de la física, de la biología y bioquímica, ciencias que asociadas, determinan la biotecnología aplicada.

El nivel de significación fue a través de la prueba estadística de Duncan y en la comparación de los promedios y estándares no hubo gran diferencia, con respecto a los valores de las tres comunidades en las fechas tomadas y todo ello se expresa en cuadros estadísticos.

De acuerdo con las mediciones efectuadas la temperatura más alta para el T1 fue el día 32 con 27.8°C, para el T2 fue el día 23 con 38.64°C, para el T3 fue el día 20 con 58.84°C y para el T4 fue el día 24 con 69.5°C.

Se llevó un control de acuerdo a lo programado de la temperatura, pH, y humedad relativa y temperatura ambiente, parámetros que indican el grado de avance y el control del proceso de compostaje.

4.1.1. Resultados de temperatura

Los resultados se indican en los anexos 1 del día a día tomados la T °C
En los siguientes cuadros mostramos los rangos de cada 4 días (antes y después de cada homogenización) de temperatura hasta llegar al día 32.

a) Antes de la primera homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de su conformación y antes de la primera homogenización se muestran en la Tabla 6 y en la Figura 5.

Tabla 7: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la primera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	34.04	A
2	T3	30.31	B
3	T2	22.85	C
4	T1	21.48	C

Fuente: Elaboración propia

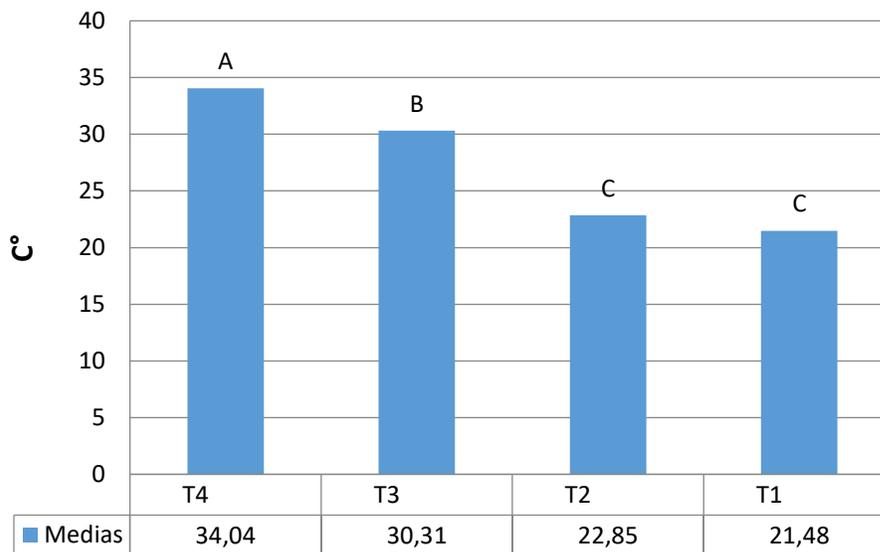


Figura 6: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la primera homogenización

Fuente: Elaboración propia

b) Resultados de temperatura después de la primera homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la primera homogenización se muestran en la Tabla 7 y en la Figura 6.

Tabla 8: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la primera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	38.43	A
2	T3	29.55	B
3	T2	21.55	C
4	T1	20.53	C

Fuente: Elaboración propia

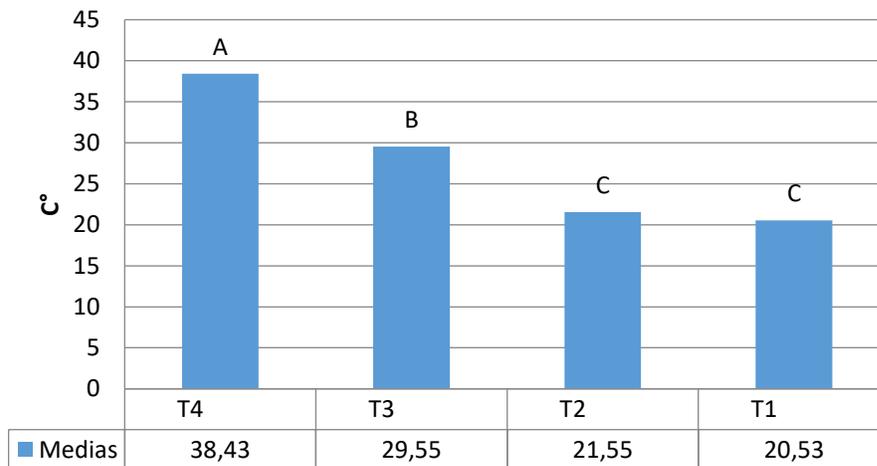


Figura 7: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura °C después de la primera homogenización

Fuente: Elaboración propia

c) Resultados de temperatura antes de la segunda homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la segunda homogenización se muestran en la Tabla 8 y en la Figura 7.

Tabla 9: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la segunda homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	50.16	A
2	T4	49.6	A
3	T2	24.35	B
4	T1	22.42	B

Fuente: Elaboración propia

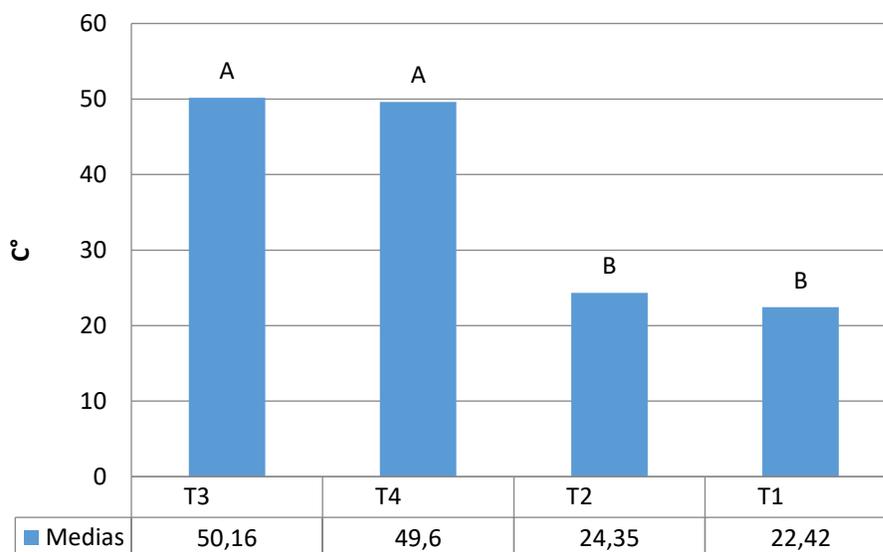


Figura 8: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la segunda homogenización

Fuente: Elaboración propia

d) Resultados de temperatura después de la segunda homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la segunda homogenización se muestran en la Tabla 9 y en la Figura 8.

Tabla 10: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la segunda homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	50.4	A
2	T4	48.86	B
3	T2	22.58	C
4	T1	21.56	C

Fuente: Elaboración propia

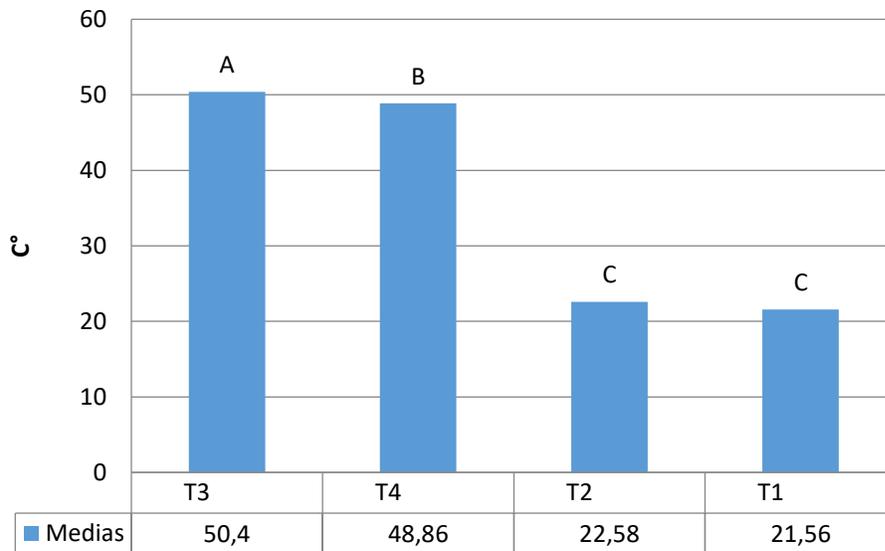


Figura 9: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la segunda homogenización

Fuente: Elaboración propia

e) Resultados de temperatura antes de la tercera homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la tercera homogenización se muestran en la Tabla 10 y en la Figura 9.

Tabla 11: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la tercera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	55.86	A
2	T3	52.88	A
3	T2	24.77	B
4	T1	23.16	B

Fuente: Elaboración propia

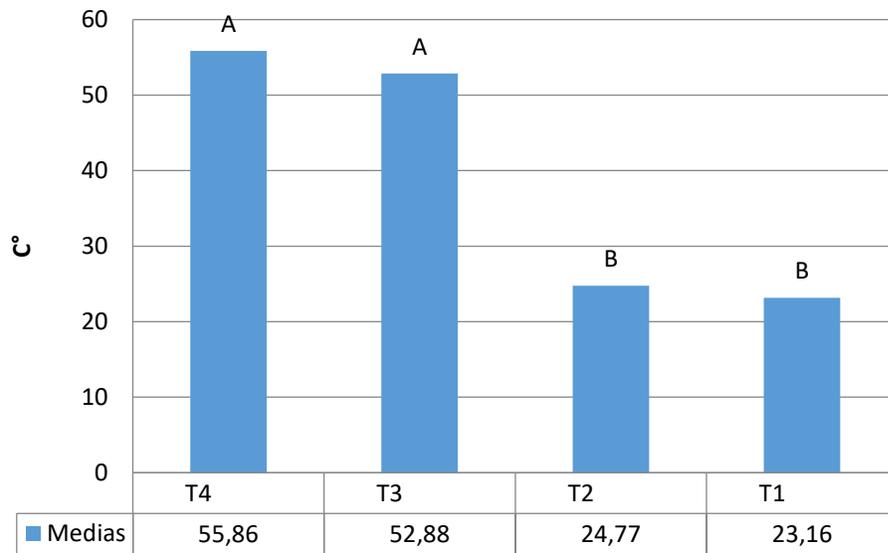


Figura 10: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la tercera homogenización

Fuente: Elaboración propia

f) Resultados de temperatura después de la tercera homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la tercera homogenización se muestran en la Tabla 11 y en la Figura 10.

Tabla 12: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la tercera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	50.02	A
2	T3	44.24	A
3	T2	22.88	B
4	T1	21.2	B

Fuente: Elaboración propia

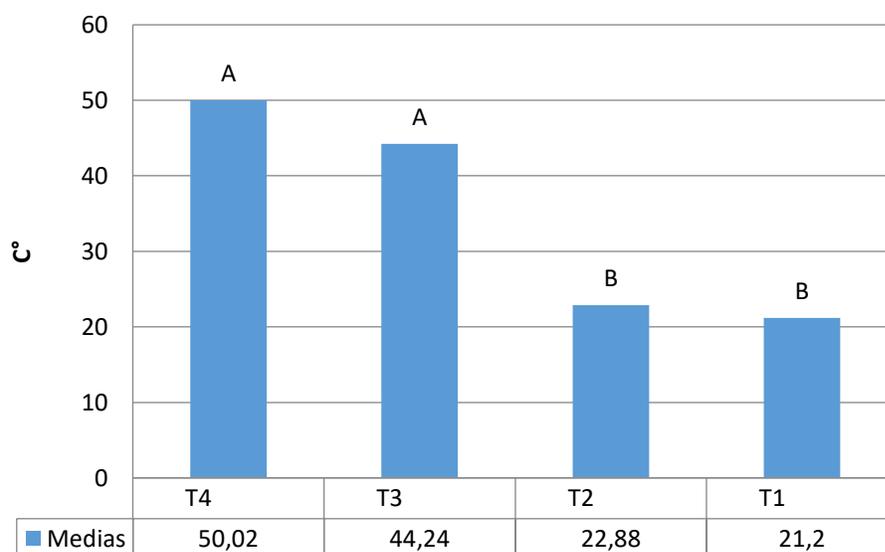


Figura 21: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la tercera homogenización

Fuente: Elaboración propia

g) Resultados de temperatura antes de la cuarta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la cuarta homogenización se muestran en la Tabla 12 y en la Figura 11.

Tabla 13: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la cuarta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	58.25	A
2	T3	53.5	B
3	T2	26.27	C
4	T1	23.61	C

Fuente: Elaboración propia

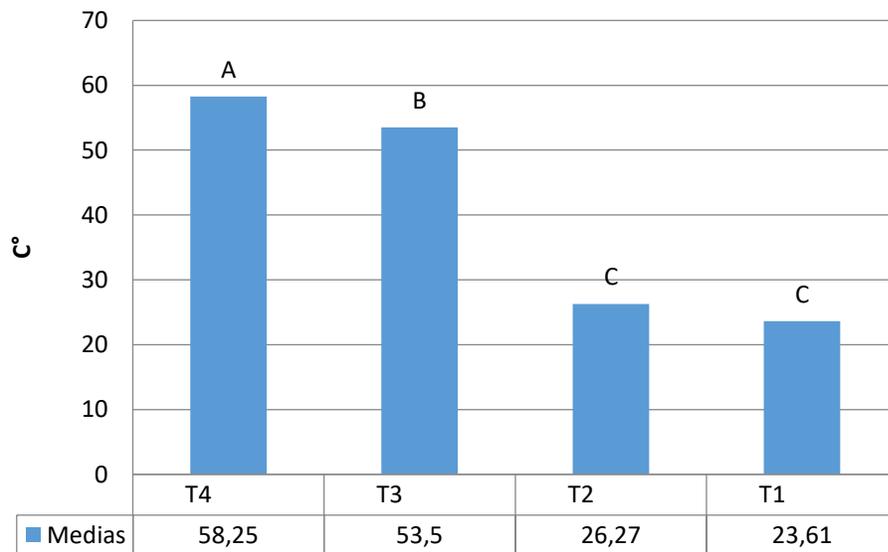


Figura 32: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la cuarta homogenización

Fuente: Elaboración propia

h) Resultados de temperatura después de la cuarta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la cuarta homogenización se muestran en la Tabla 13 y en la Figura 12.

Tabla 14: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la cuarta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	49.98	A
2	T3	48.83	A
3	T2	24.27	B
4	T1	21.09	B

Fuente: Elaboración propia

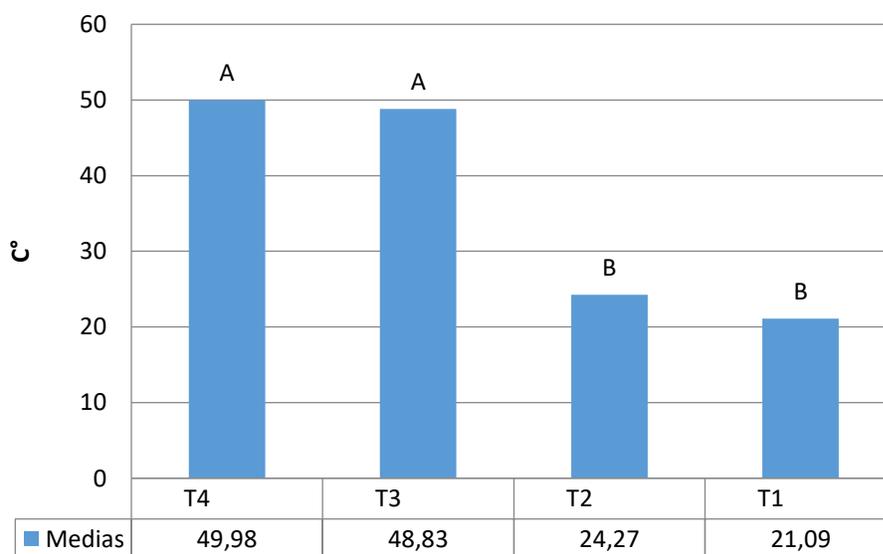


Figura 43: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la cuarta homogenización

Fuente: Elaboración propia

i) Resultados de temperatura antes de la quinta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la quinta homogenización se muestran en la Tabla 14 y en la Figura 13.

Tabla 15: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la quinta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	61.29	A
2	T3	51.48	B
3	T2	27.43	C
4	T1	23.7	C

Fuente: Elaboración propia

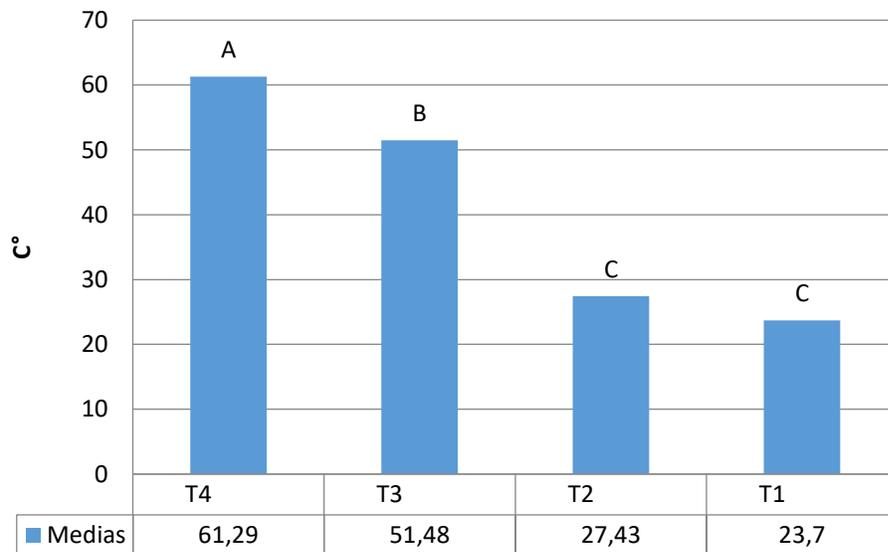


Figura 54: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la quinta homogenización

Fuente: Elaboración propia

j) Resultados de temperatura después de la quinta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la quinta homogenización se muestran en la Tabla 15 y en la Figura 14.

Tabla 16: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la quinta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	57	A
2	T3	48.87	B
3	T2	27.21	C
4	T1	22.1	C

Fuente: Elaboración propia

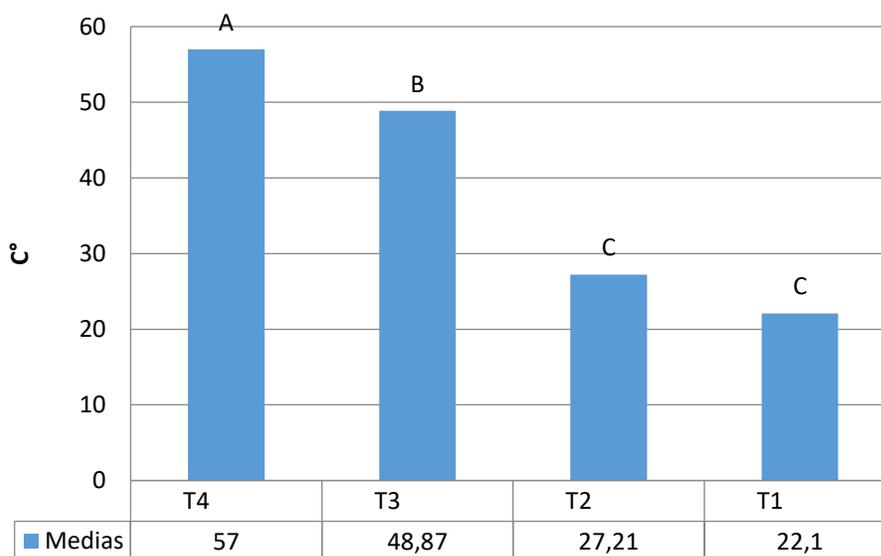


Figura 65: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la quinta homogenización

Fuente: Elaboración propia

k) Resultados de temperatura antes de la sexta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la sexta homogenización se muestran en la Tabla 16 y en la Figura 15.

Tabla 17: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la sexta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	67.06	A
2	T3	57.49	B
3	T2	34.54	C
4	T1	24.88	D

Fuente: Elaboración propia

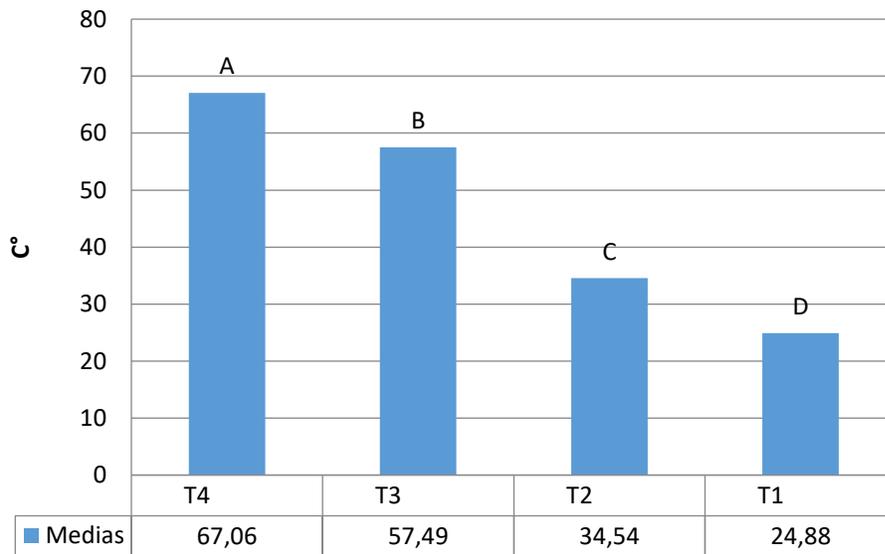


Figura 76: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la sexta homogenización

Fuente: Elaboración propia

I) Resultados de temperatura después de la sexta homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la sexta homogenización se muestran en la Tabla 17 y en la Figura 16.

Tabla 18: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la sexta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	54.6	A
2	T3	54.43	A
3	T2	33.37	B
4	T1	23.5	C

Fuente: Elaboración propia

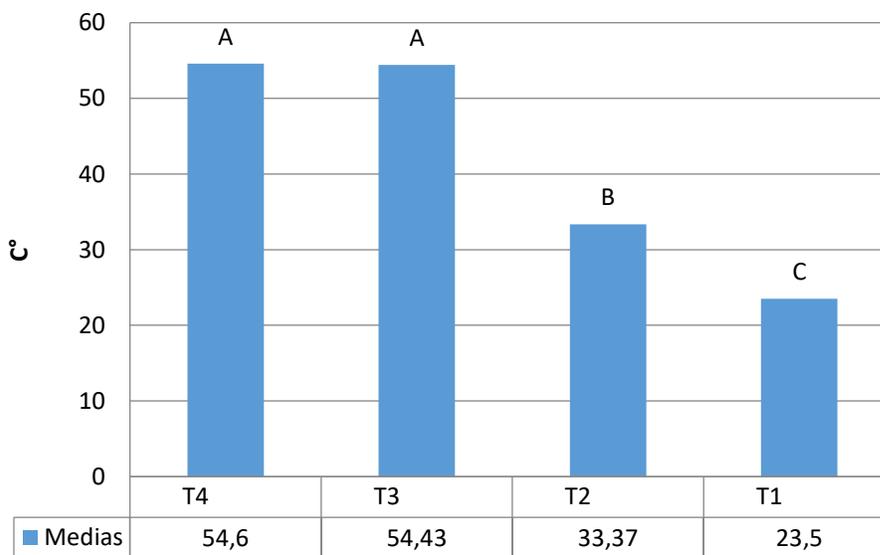


Figura 87: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la sexta homogenización

Fuente: Elaboración propia

m) Resultados de temperatura antes de la séptima homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días antes de la séptima homogenización se muestran en la Tabla 18 y en la Figura 17.

Tabla 19: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la séptima homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	63.72	A
2	T3	50.81	B
3	T2	37.77	C
4	T1	26	D

Fuente: Elaboración propia

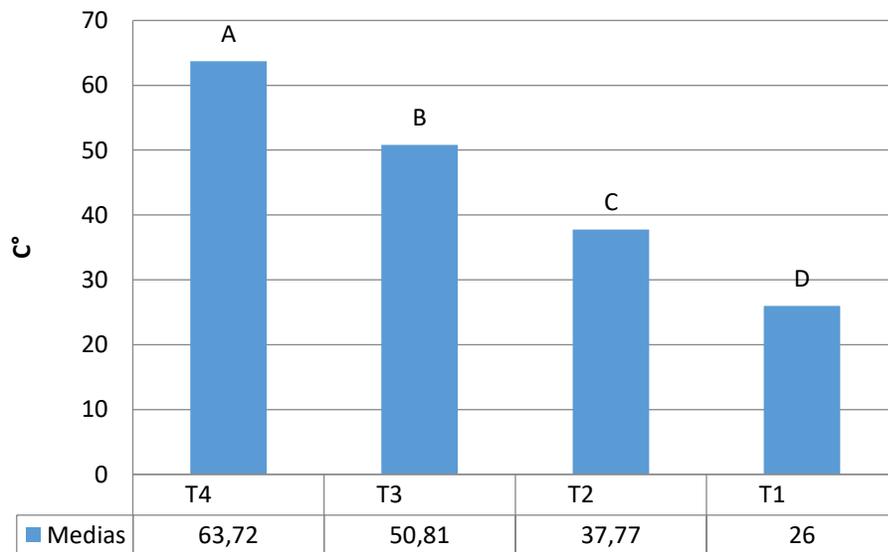


Figura 98: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la séptima homogenización

Fuente: Elaboración propia

n) Resultados de temperatura después de la séptima homogenización

Los resultados de temperatura a los cuatro días después de la séptima homogenización se muestran en la Tabla 19 y en la Figura 18.

Tabla 20: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la séptima homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	55.06	A
2	T3	49.13	B
3	T2	34.73	C
4	T1	24.2	D

Fuente: Elaboración propia

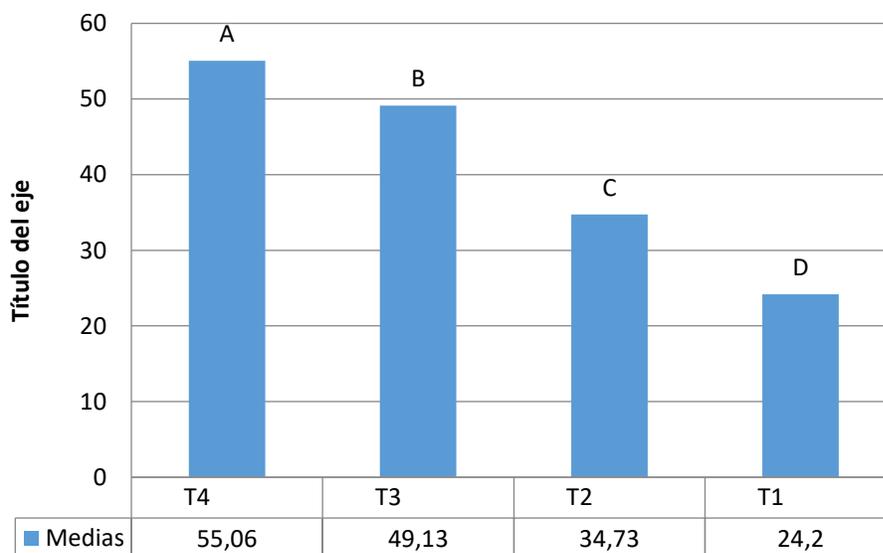


Figura 109: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura después de la séptima homogenización

Fuente: Elaboración propia

o) Resultados de temperatura antes de la cosecha

Los resultados de temperatura antes de la cosecha del compost obtenido del proceso de compostaje se muestran en la Tabla 20 y en la Figura 19.

Tabla 21: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la cosecha

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	64.91	A
2	T3	54.98	B
3	T2	37.1	C
4	T1	27.82	D

Fuente: Elaboración propia

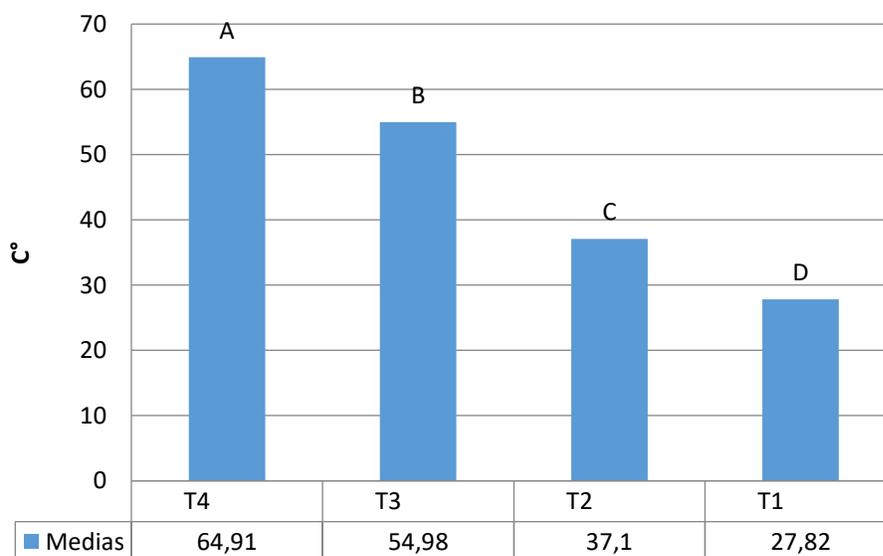


Figura 20: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la temperatura antes de la cosecha

Fuente: Elaboración propia

Significativo

Porque: La prueba de Duncan indica que es significativo entre la variación de temperaturas en los diferentes tratamientos debido a que todos los procesos tienen una dosis diferente de la cepa de inoculación; sin embargo de acuerdo a las fases por las que atraviesa la descomposición de materia orgánica, la temperatura fue cambiando gradualmente hasta alcanzar un máximo de 67.28°C, en el tratamiento 4 (T4) para luego descender y estabilizarse en los 32 días, mientras que en los demás tratamientos no alcanzaron temperaturas altas durante el tiempo de investigación.

Se debe mencionar que cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para realizar su actividad así tenemos que los criófilos de 5 a 15 °C, mesófilos de 15 a 45°C, los termófilos, de 45°C a 70°C.

Las temperaturas conseguidas en el proceso, junto con la importancia de los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos) impiden su desarrollo a otros microorganismos patógenos y parásitos en el desarrollo del proceso de compostaje. Asimismo a temperaturas elevadas mueren determinadas especies buenas para el compostaje, mientras que otras no actúan porque se forman esporas.

4.1.2. Resultados del pH

Los resultados se indican en los anexos 1 del día a día tomados del pH.

En los cuadros siguientes mostramos los rangos de cada 4 días (antes y después de cada homogenización) del pH hasta llegar al día 32.

a) pH antes de la primera homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la primera homogenización se muestran en la Tabla 21 y en la Figura 20.

Tabla 22: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la primera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	4.78	A
2	T3	4.74	A
3	T2	4.51	A
4	T1	4.36	A

Fuente: Elaboración propia

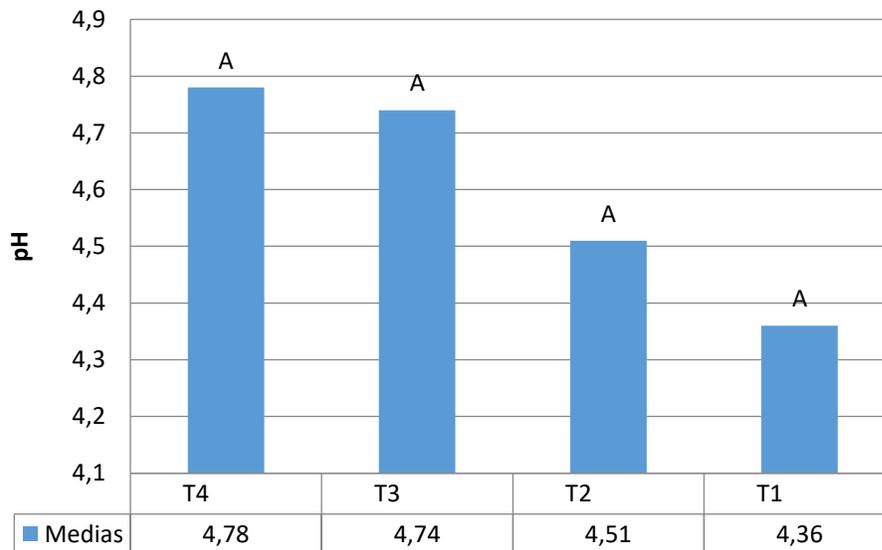


Figura 111: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la primera homogenización

Fuente: Elaboración propia

b) pH después de la primera homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la primera homogenización se muestran en la Tabla 22 y en la Figura 21.

Tabla 23: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la primera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	4.09	A
2	T1	3.93	A
3	T3	3.79	A
4	T2	3.79	A

Fuente: Elaboración propia

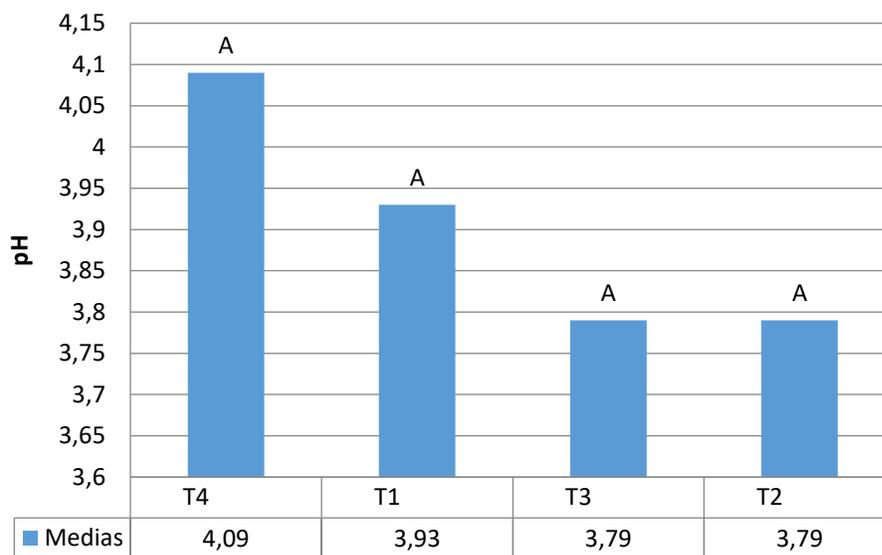


Figura 122: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la primera homogenización

Fuente: Elaboración propia

c) pH antes de la segunda homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la segunda homogenización se muestran en la Tabla 23 y en la Figura 22.

Tabla 24: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la segunda homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05	
1	T4	5.59	A	
2	T3	5.48	A	B
3	T2	4.45	B C	
4	T1	4.32	C	

Fuente: Elaboración propia

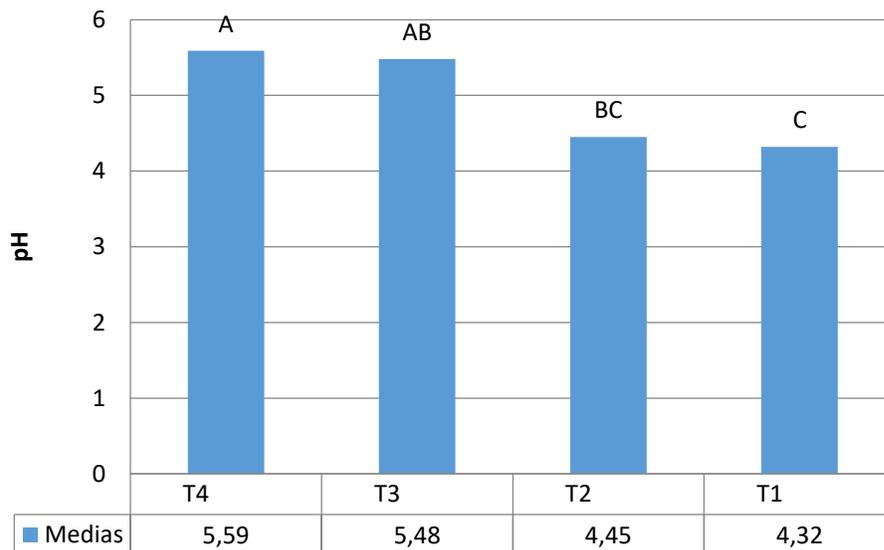


Figura 133: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la segunda homogenización

Fuente: Elaboración propia

d) pH después de la segunda homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la segunda homogenización se muestran en la Tabla 24 y en la Figura 23.

Tabla 25: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la segunda homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	4.55	A
2	T4	4.41	A
3	T2	4.04	A
4	T1	3.53	A

Fuente: Elaboración propia

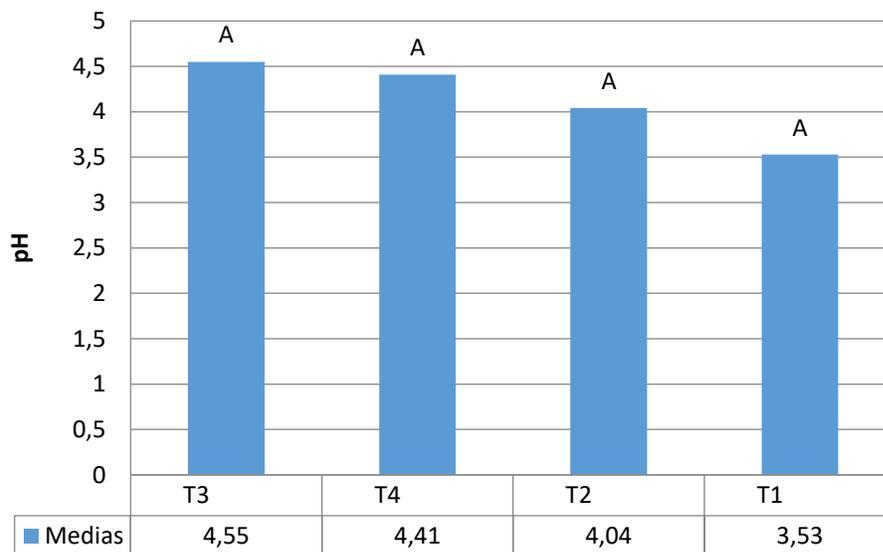


Figura 144: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la segunda homogenización

Fuente: Elaboración propia

e) pH antes de la tercera homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la tercera homogenización se muestran en la Tabla 25 y en la Figura 24.

Tabla 26: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la tercera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	5.75	A
2	T3	5.51	A
3	T2	4.5	B
4	T1	3.74	B

Fuente: Elaboración propia

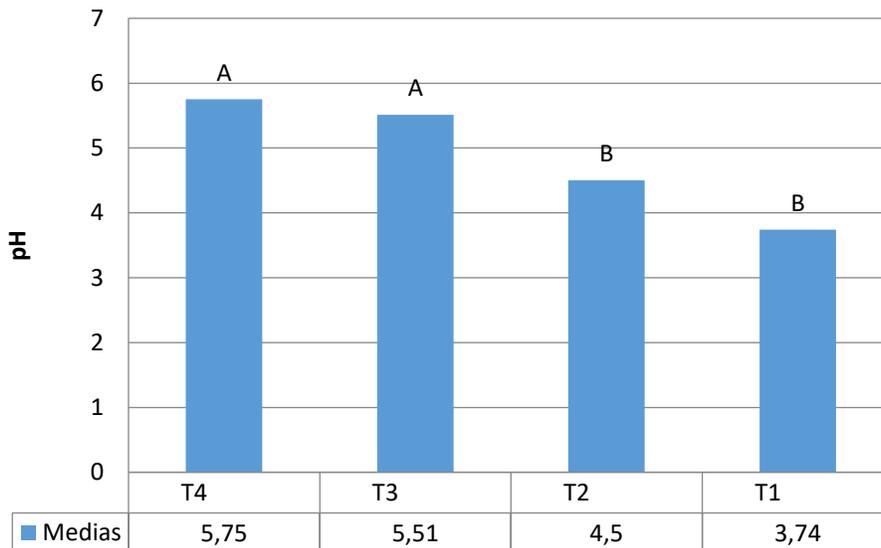


Figura 155: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la tercera homogenización

Fuente: Elaboración propia

f) pH después de la tercera homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la tercera homogenización se muestran en la Tabla 26 y en la Figura 25.

Tabla 27: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la tercera homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	4.81	A
2	T4	4.68	A
3	T2	4.51	A
4	T1	3.91	A

Fuente: Elaboración propia

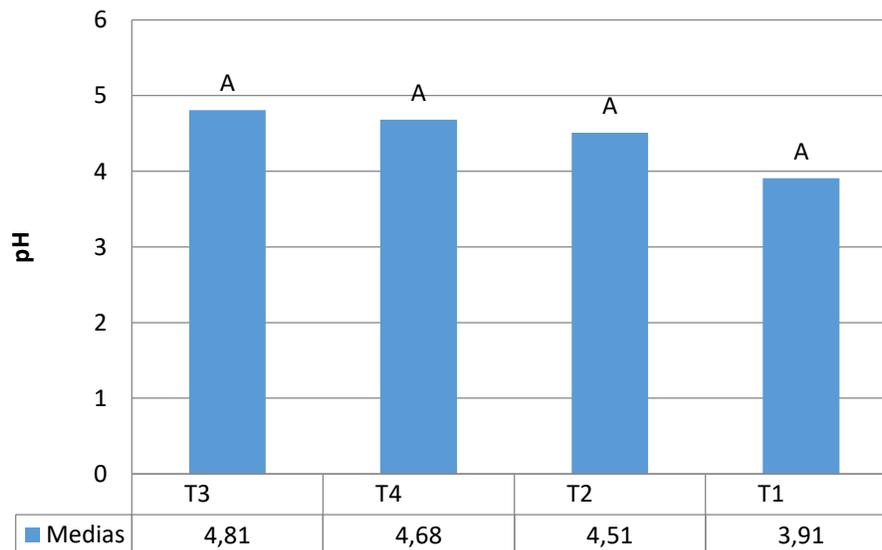


Figura 166: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la tercera homogenización

Fuente: Elaboración propia

g) pH antes de la cuarta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la cuarta homogenización se muestran en la Tabla 27 y en la Figura 26.

Tabla 28: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la cuarta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05	
1	T4	6.22	A	
2	T3	6	A	B
3	T2	5.16	B C	
4	T1	4.67	C	

Fuente: Elaboración propia

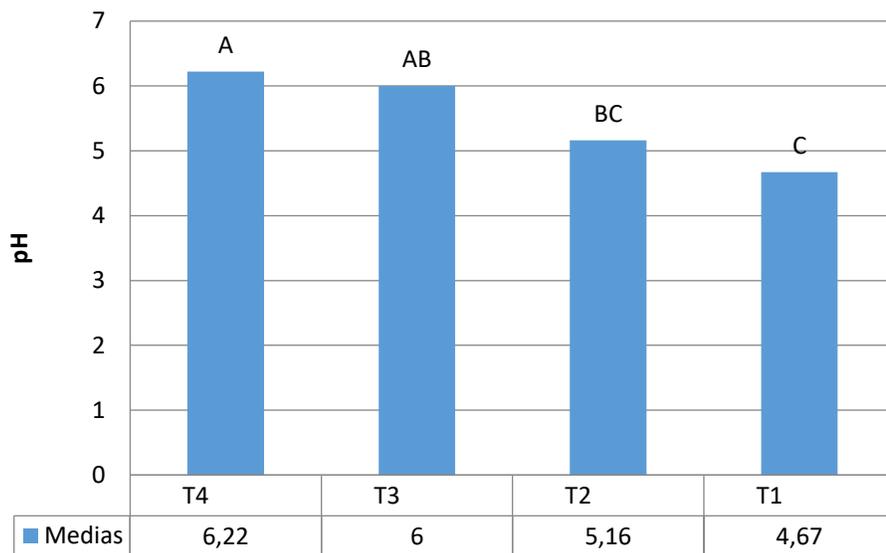


Figura 177: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la cuarta homogenización

Fuente: Elaboración propia

h) pH después de la cuarta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la cuarta homogenización se muestran en la Tabla 28 y en la Figura 27.

Tabla 29: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la cuarta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	5.64	A
2	T3	5.41	A
3	T2	4.54	B
4	T1	3.97	B

Fuente: Elaboración propia

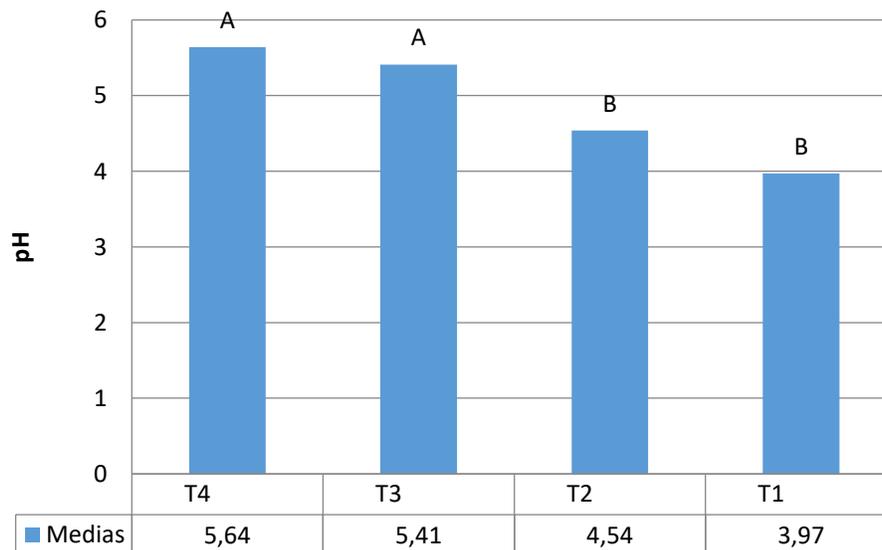


Figura 188: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la cuarta homogenización

Fuente: Elaboración propia

i) pH antes de la quinta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la quinta homogenización se muestran en la Tabla 29 y en la Figura 28.

Tabla 30: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la quinta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	6.58	A
2	T3	6.4	A
3	T2	5.88	A B
4	T1	5.24	B

Fuente: Elaboración propia

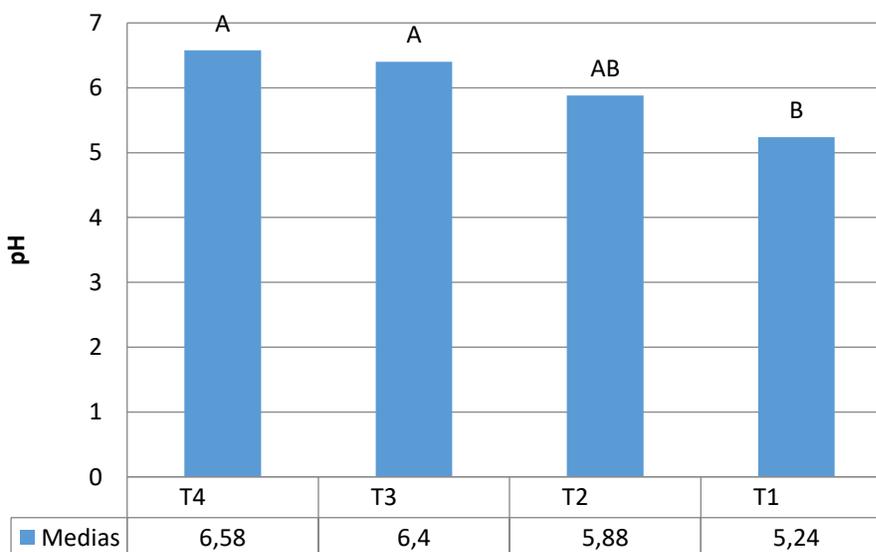


Figura 199: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la quinta homogenización

Fuente: Elaboración propia

j) pH después de la quinta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la quinta homogenización se muestran en la Tabla 30 y en la Figura 29.

Tabla 31: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la quinta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T2	5.45	A
2	T3	5.32	A
3	T4	5.29	A
4	T1	4.57	A

Fuente: Elaboración propia

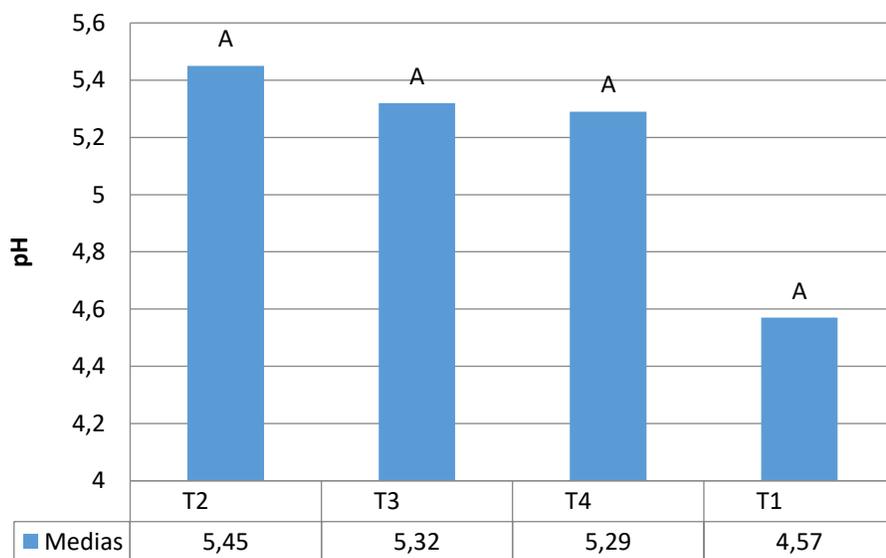


Figura 30: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la quinta homogenización

Fuente: Elaboración propia

k) pH antes de la sexta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la sexta homogenización se muestran en la Tabla 31 y en la Figura 30.

Tabla 32: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la sexta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05	
1	T4	6.62	A	
2	T3	6.18	A	B
3	T2	5.96	A	B
4	T1	5.36		B

Fuente: Elaboración propia

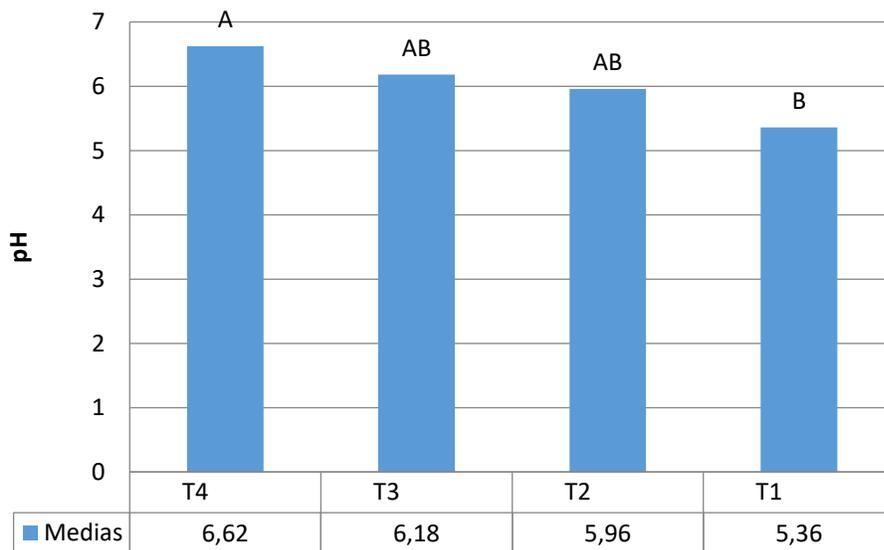


Figura 201: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la sexta homogenización

Fuente: Elaboración propia

I) pH después de la sexta homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la sexta homogenización se muestran en la Tabla 32 y en la Figura 31.

Tabla 33: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la sexta homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	5.92	A
2	T4	5.87	A
3	T2	5.05	A B
4	T1	4.48	B

Fuente: Elaboración propia

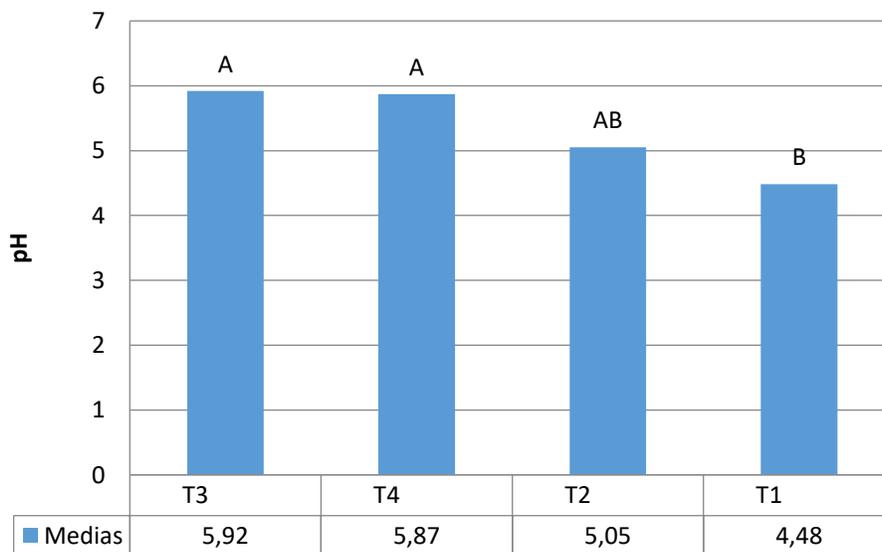


Figura 212: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la sexta homogenización

Fuente: Elaboración propia

m) pH antes de la séptima homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días antes de la séptima homogenización se muestran en la Tabla 33 y en la Figura 32.

Tabla 34: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la séptima homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	6.85	A
2	T3	6.7	A
3	T2	5.57	B
4	T1	5.2	B

Fuente: Elaboración propia

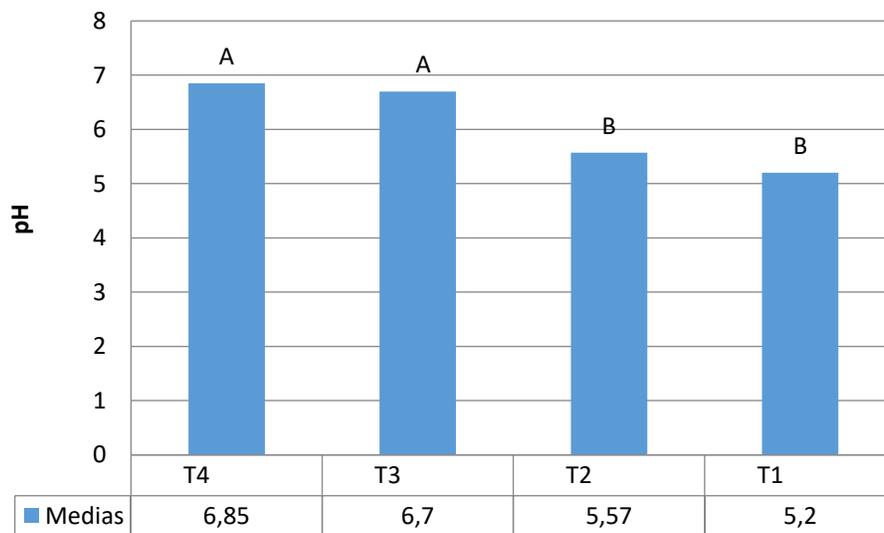


Figura 223: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la séptima homogenización

Fuente: Elaboración propia

n) pH después de la séptima homogenización

Los resultados del pH a los cuatro días después de la séptima homogenización se muestran en la Tabla 34 y en la Figura 33.

Tabla 35: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH después de la séptima homogenización

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	6.31	A
2	T3	6.17	A
3	T2	5.06	B
4	T1	4.62	B

Fuente: Elaboración propia

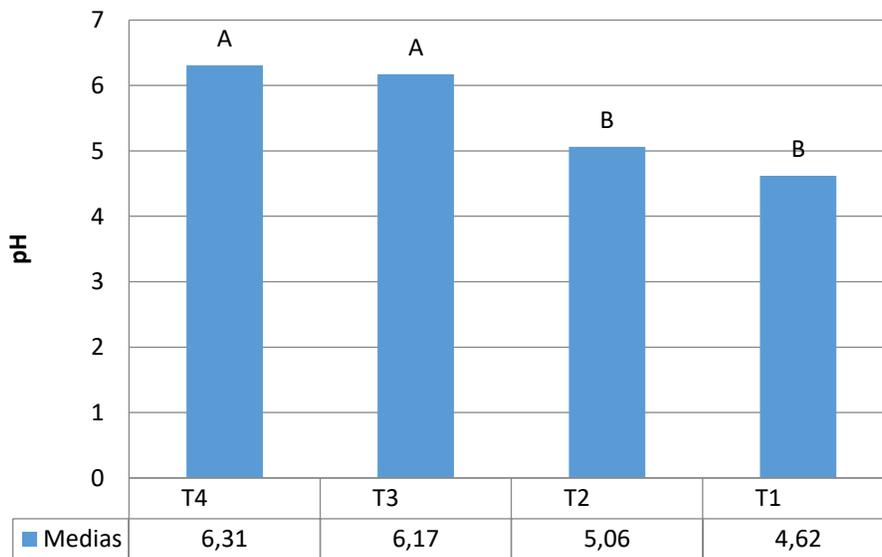


Figura 234: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH después de la séptima homogenización

Fuente: Elaboración propia

o) pH antes de la cosecha

Los resultados de pH antes de la cosecha del compost obtenido del proceso de compostaje se muestran en la Tabla 35 y en la Figura 34.

Tabla 36: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la cosecha

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05	
1	T4	7.08	A	
2	T3	6.71	A	B
3	T2	6.2	B C	
4	T1	5.72	C	

Fuente: Elaboración propia

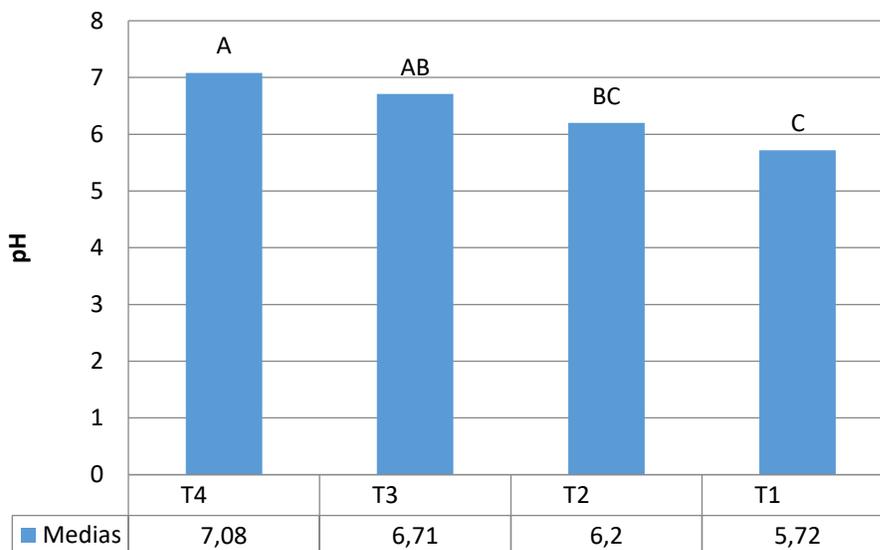


Figura 245: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el pH antes de la cosecha

Fuente: Elaboración propia

El pH fue monitoreado a lo largo del proceso de compostaje midiendo la alcalinización progresiva, producto de la degradación de los compuestos ácidos y la mineralización de los compuestos nitrogenados hasta formar amoníaco, desde el inicio del proceso hasta el producto final, el cual se mantuvo relativamente en un rango de 6 a 7, a diferencia de otros estudios y experimentos no aumentó mucho el pH debido a que no se utilizó cal para el proceso.

El pH en el proceso de compostaje, muestra la diferencia a acercarse al valor ideal para cualquier proceso biológico, tal como se muestra en los cuadros antes y después de cada homogenización, las diferencias son mínimas debidas que la materia prima proviene de residuos orgánicos cocidos y no cocidos.

Los hongos toleran un margen de pH 5-8, mientras que las bacterias tienen menos capacidad de tolerancia.

4.1.3. Resultados del Análisis del producto final (compost)

Las plantas requieren de elementos como son los micro y macro nutrientes, asimismo los elementos requeridos por las plantas en proporciones son: El Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio todos estos elementos tiene importancia estructural y funcional en los tejidos de las plantas; en la Central Hidroeléctrica Chaglla, hay un programa de revegetación y reforestación, en dicho programa se requiere abono de calidad para sus actividades, para lo cual se tiene pensado usar el abono cosechado.

Se realizó el análisis de las muestras de cada tratamiento en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Obteniendo los siguientes resultados.

a) Relación C–N

La relación C/N de la mezcla de residuos a compostar es uno de los parámetros más importantes para evaluar la calidad así como la madurez de una composta, ya que tanto el carbono como el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo, por tanto es importante mantener las concentraciones adecuadas de estos nutrientes para llevar a cabo una degradación correcta durante el proceso de compostaje. Con respecto a los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas, mientras que el nitrógeno se encuentra en casi su totalidad en forma orgánica, de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos. Las dos terceras partes del carbono son transformadas en CO₂ y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos para la producción de proteínas. Además, se necesita la absorción de otros elementos en menores cantidades como el fósforo y el azufre. (INIFAT, 2002).

A continuación se muestra los resultados de la relación C/N en el compost final.

Tabla 37: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la relación C-N

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T1	31.26	A
2	T2	26.36	B
3	T3	24.28	C
4	T4	23.32	C

Fuente: Elaboración propia

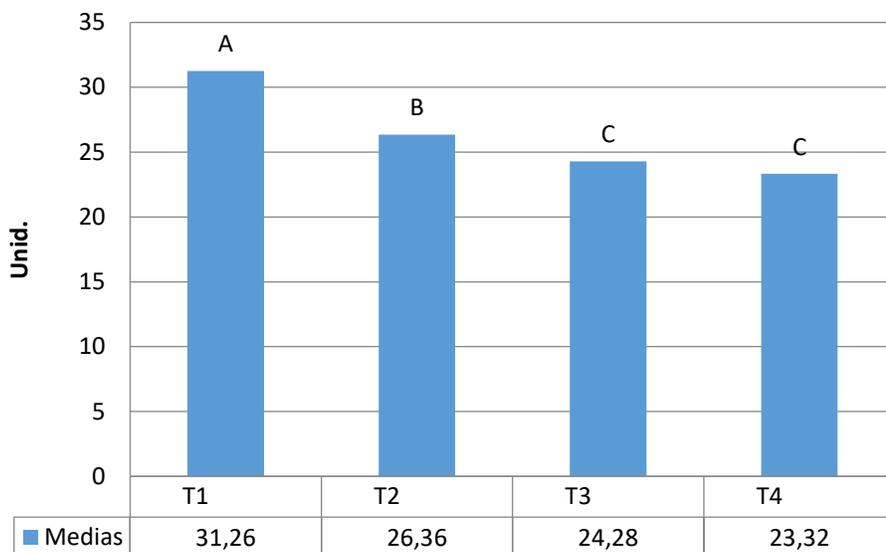


Figura 256: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la relación C-N

Fuente: Elaboración propia

b) Materia Orgánica

Este otro parámetro también es de gran importancia, ya que el conocimiento del contenido de materia orgánica en los lotes es fundamental, pues se considera como principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). La cantidad total de materia orgánica (MO) de un lote es un indicador de la cantidad de carbono orgánico que aportará a las plantas y al suelo.

Tabla 38: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la Materia Orgánica

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	82.59	A
2	T3	79.22	A
3	T2	62.39	B
4	T1	42.69	C

Fuente: Elaboración propia

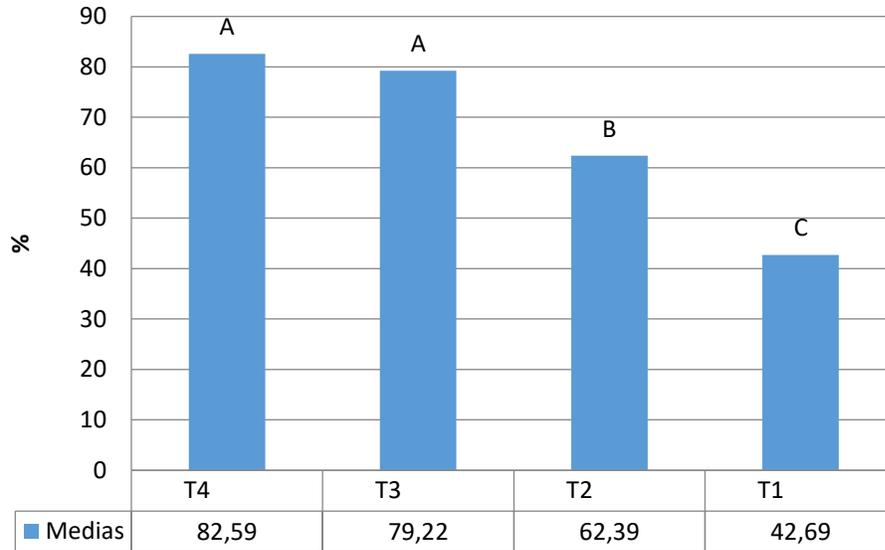


Figura 267: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la Materia Orgánica

Fuente: Elaboración propia

c) Resultados del Nitrógeno que contiene el producto final (abono)

Tabla 39: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el Nitrógeno

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05	
1	T4	2.56	A	
2	T3	2.16	A	B
3	T2	1.62	B	C
4	T1	0.92	C	

Fuente: Elaboración propia

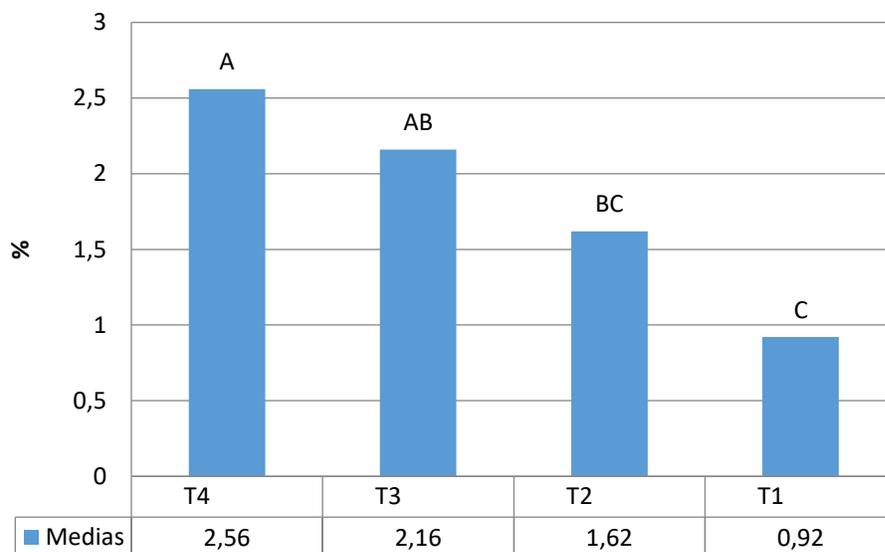


Figura 278: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el Nitrógeno

Fuente: Elaboración propia

d) Fósforo

Tabla 40: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el Fósforo

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T3	1.36	A
2	T4	0.92	A
3	T2	0.5	A
4	T1	0.35	A

Fuente: Elaboración propia

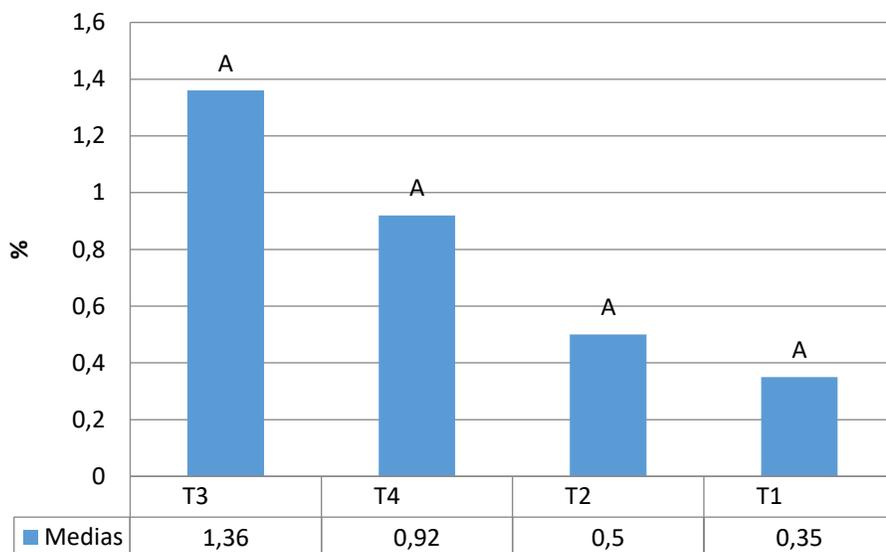


Figura 289: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el Fósforo

Fuente: Elaboración propia

e) Potasio

Tabla 41: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el Potasio

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T1	0.82	A
2	T4	0.74	A
3	T2	0.67	A
4	T3	0.43	A

Fuente: Elaboración propia

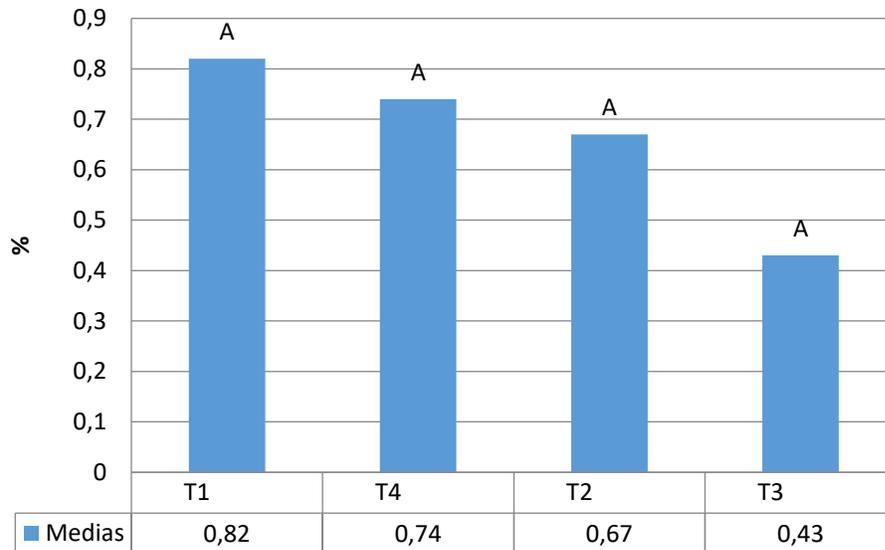


Figura 40: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el Potasio

Fuente: Elaboración propia

f) Calcio

Tabla 42: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el Calcio

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T1	8.62	A
2	T2	6.29	B
3	T3	5.38	B
4	T4	5.37	B

Fuente: Elaboración propia

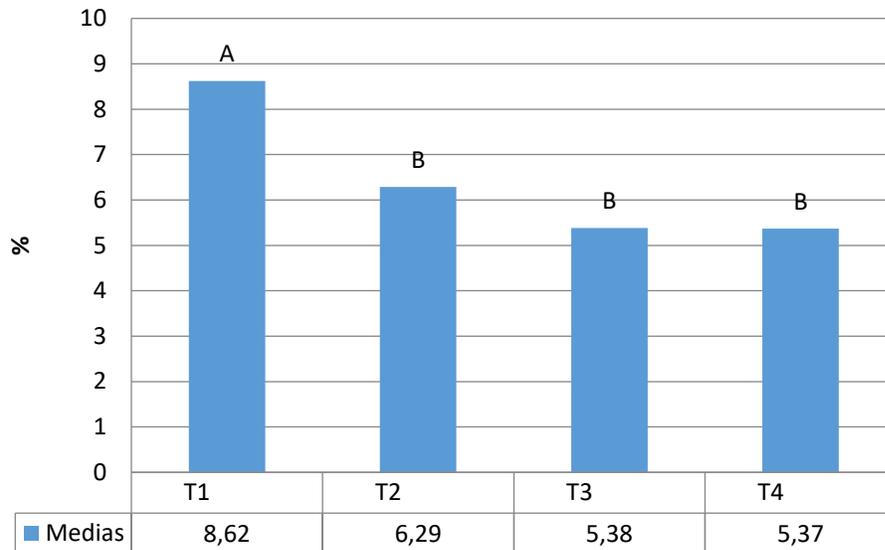


Figura 291: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el Calcio

Fuente: Elaboración propia

g) Magnesio

Tabla 43: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el Magnesio

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	1.54	A
2	T1	1.31	B
3	T2	0.9	C
4	T3	0.79	C

Fuente: Elaboración propia

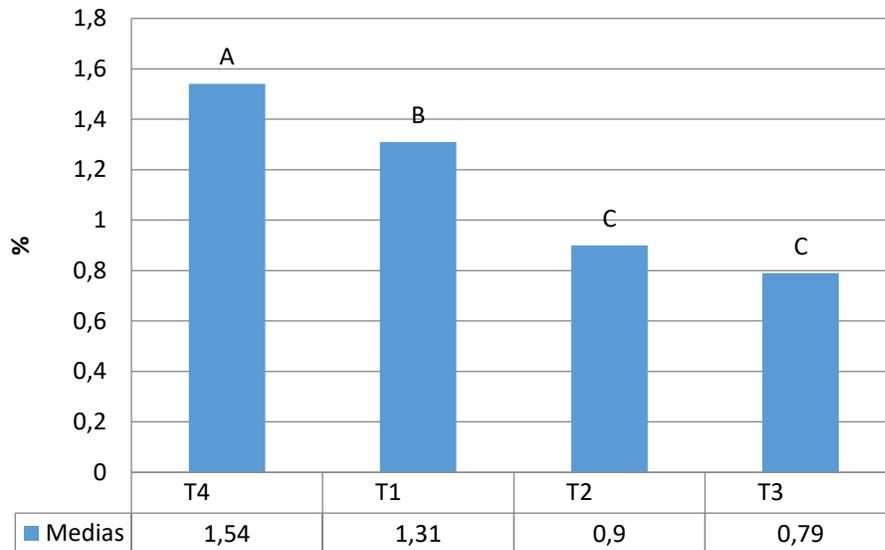


Figura 302: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el Magnesio

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Resultados de la cantidad de compost obtenido

Tabla 44: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para el compost obtenido

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T4	993.67	A
2	T3	851.67	B
3	T2	573.33	C
4	T1	161	D

Fuente: Elaboración propia

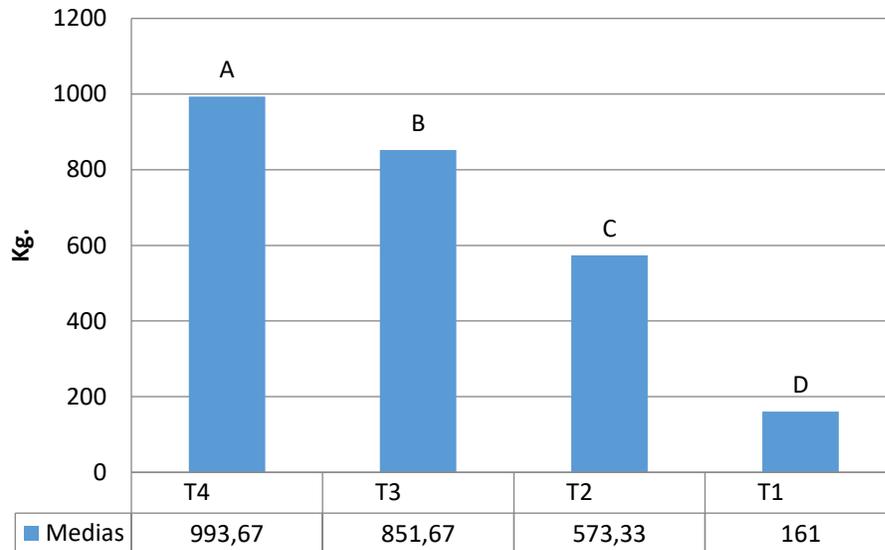


Figura 313: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para el compost obtenido

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos en el análisis se hizo una comparación con la tabla rangos de la Norma de Calidad del Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcazar, 2004) y se pudo observar que el abono obtenido del proceso de compostaje con microorganismos eficientes es de clase A.

4.1.5. Resultados de la cantidad de residuos por descomponer

Tabla 45: Orden de mérito y prueba de significación de Duncan para la cantidad de residuos por descomponer

O.M.	Tratamientos	Medias	Significación 0.05
1	T1	984.67	A
2	T2	569.33	B
3	T3	292.67	C
4	T4	133.33	D

Fuente: Elaboración propia

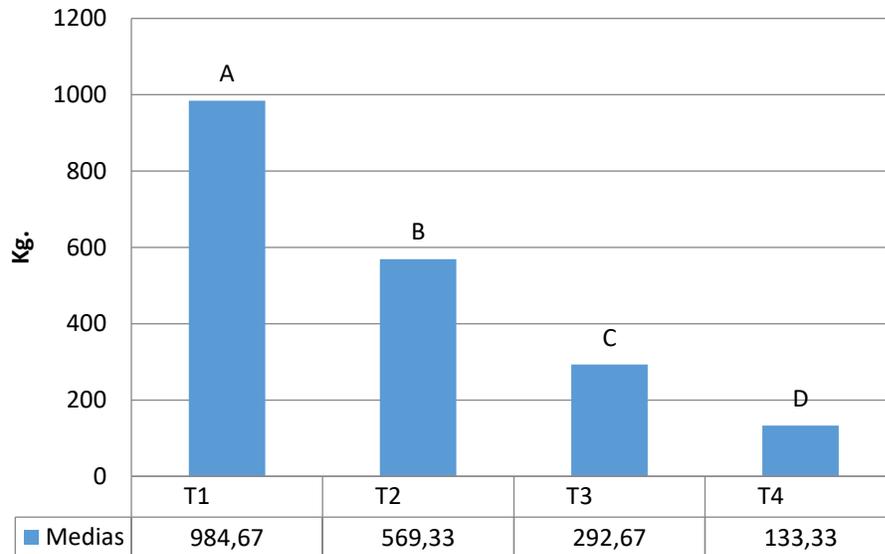


Figura 324: Gráfico de barras y prueba de significación de Duncan para la cantidad de residuos por descomponer

Fuente: Elaboración propia

De los 2120 Kg de materia que ingresó para el primer tratamiento el 14 % resultó compost y el 39% afrecho; entonces el 47% del material de ingreso fue humedad.

De los 2120 Kg de materia que ingresó para el segundo tratamiento el 27 % resultó compost y el 27% afrecho; entonces el 46% del material de ingreso fue humedad.

De los 2120 Kg de materia que ingresó para el tercer tratamiento el 41 % resultó compost y el 10% afrecho; entonces el 49% del material de ingreso fue humedad.

De los 2120 Kg de materia que ingresó para el cuarto tratamiento el 46 % resultó compost y el 8% afrecho; entonces el 46% del material de ingreso fue humedad.

4.2. Comparación de Costos

A continuación realizamos la comparación de costos que representa hacer compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla con el diseño aplicado en la tesis y el servicio de una EPS – RS.

La evaluación económica se basa en el análisis de relación costo – beneficio y en el periodo de retorno de la inversión para el proyecto.

El primer indicador será el análisis costo – beneficio (B/C) que será evaluado de manera mensual. Este indicador sirve para definir cuanto es el beneficio (ahorro mensual) por cada unidad monetaria utilizada por en los costos operativos mensuales.

Los resultados de ahorro en transporte y disposición final de la **tabla 48** y los datos de costo variable operativo en la **tabla 46** se dividen y el cociente es el resultado coste beneficio que para dar viabilidad al proyecto debe ser mayor a 1.

El segundo indicador será el periodo de retorno de inversión (PRI) que menciona la cantidad de tiempo en que se recuperará la inversión realizada o costo de infraestructura del proyecto de **S/.27 678.52** sumados a los costos fijos de operación de la **tabla 47** y los resultados de ahorro mensual en la **tabla 48**.

4.2.1. Análisis Costo – Beneficio (B/C)

El análisis del primer indicador se muestra a continuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{7150.00}{3103.65} = 2.30$$

El análisis muestra que la relación mensual es positiva y viabiliza el proyecto mediante un valor de **2.30**, el cual infiere que la capitalización mensual del proyecto sería muy buena.

4.2.2. Periodo de Retorno de la Inversión (PRI)

El análisis del segundo indicador se muestra a continuación:

Datos:

- Inversión Realizada (Infraestructura + Costos Fijos): S/. 29,718.52
- Ahorro Mensual (Transporte y Disposición Final): S/. 7,150.00

$$PRI = \frac{29718.52}{7150} = 4.16$$

El análisis nos muestra que en un tiempo un poco mayor a 4 meses (valor = 4.16) ya se estará recuperando la inversión realizada para la construcción de la infraestructura y los costos fijos realizados mediante el ahorro en transporte y disposición de tales residuos.

Por otro lado existe un componente importante que estará dado por el ahorro en la compra de abono, ya que el incremento en la producción de compost servirá para atender los volúmenes exigidos por el programa de revegetación y reforestación de áreas degradadas en la obra.

Ante lo expuesto, en la tabla 46 se puede ver los costos de producción del compost al mes.

Tabla 46: Costo variables de operación

Objeto	Medida	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Peones	peón	2	1485.00	2970.00
Proteína de arroz	Kg	3	2.70	8.10
Melaza de caña	Kg	15	2.97	44.55
Insecticida	L	2	40.50	81.00
TOTAL				3103.65

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47: Costos fijos de operación

Objeto	Medida	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Fumigadora	und	1	280.00	280.00
pH-metro digital	und	1	550.00	550.00
Termómetro tipo espiga	und	1	430.00	430.00
Balanza mecánica	und	1	500.00	500.00
Termo-Higrómetro	und	1	280.00	280.00
TOTAL				2040.00

Fuente: Elaboración Propia

Los **costos operativos** por mes ascienden a **S/. 3103.6**, pero dado que nuestro análisis será anual, los costos operativos anuales del proyecto ascienden a **S/. 37 243.80**.

En la Tabla 48 y 49 se pueden ver los costos tanto del transporte y disposición de los residuos, como del valor del abono en el mercado local.

Tabla 48: Ahorro de un camión de transporte y disposición final de 9 toneladas de residuos comunes

ÍTEM	TIPO DE RESIDUOS	UNIDAD	TOTAL (S/.)
I	Transporte de Residuos Comunes	Servicio Tráiler 9 TM (8.5 TM)	6,880.00
II	Disposición Final RELIMA S.A	Por 9 TM (8.5 TM)	270.00
TOTAL			7,150.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49: Ahorro en la compra de abono

Compost	Total Peso (Kg)	Total Unitario (S/.)
Costo en mercado local	50	25
Factor de Equivalencia		0.5

Fuente: Dato referencial de un saco de abono orgánico o gallinaza - Tingo María.

De acuerdo a las tablas mostradas, obtendremos los resultados económicos desde el inicio de operaciones del proyecto (octubre 2015) hasta la fecha y proyectados a un año.

Resultados económicos a la fecha (octubre - noviembre 2015)

Toneladas de residuo orgánico procesado : 58.3 Toneladas.

Ahorro en transporte y disposición de residuos: S/. 49 040.59

Ahorro en compra de fertilizante : S/. 29 150.00.

Resultados económicos proyectados a un año

Toneladas de residuo orgánico procesado : 530 Toneladas.

Ahorro en transporte y disposición de residuos: S/. 445 823.53

Ahorro en compra de fertilizante : S/. 166 950.00

El transporte y disposición final de los residuos orgánicos de la obra costaría **S/.445 823.53**, más la compra de abono orgánico para el programa de revegetación y reforestación al año costaría **S/.166 950.00**; en cambio al procesar los residuos orgánicos utilizando microorganismos eficientes (***Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus sp.*, *Lactobacillus sp***) se gastaría **S/.37 243.80** al año.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Conclusiones

a)

- El diseño empleado en el proceso del compostaje fue estratégico para la obtención de compost en menos días a comparación del sistema anterior que se empleaba en el Centro de Gestión de Residuos, esto basado en el uso de microorganismos eficientes y la forma de conformación en lotes, ayudó a captar el calor necesario para la descomposición de los residuos orgánicos.
- El Tratamiento 4 (T4), fue el más eficiente, logrando descomponer la mayor cantidad de residuos orgánicos en 32 días; esto se debe a la dosis de EM utilizada y su distribución en las 4 capas.
- Cuando un lote de residuos orgánicos en proceso compostaje no tiene suficiente oxígeno, el proceso se transforma en anaerobio y se producen olores ofensivos. La muerte por asfixia de los microorganismos detiene el proceso e inicia la putrefacción de los residuos.
- El compost obtenido en la investigación ayudó en el impacto social y ambiental e imagen a favor de la empresa, debido que las comunidades imitaban el procedimiento en sus caseríos y ello hace que la comunicación a con el ejemplo de responsabilidad ambiental y social ayudara a la interrelación entre empresa y Comunidad.
- La técnica de compostaje con microorganismos eficientes es una forma sencilla y barata de resolver el problema del 100% de los residuos orgánicos en los diferentes proyectos que incluyen campamentos o de las municipalidades, y además se puede obtener un producto que pueda dar beneficio a los que necesitan un suelo sano y fértil como se ha demostrado con la calidad de compost obtenido en

la investigación; además valor económico significativo si se aplican desde las fases iniciales de cualquier obra donde haya un campamento para el personal.

b)

- Se observó que el aserrín es un material ideal para controlar la humedad que trae los residuos orgánicos a compostar.
- Se encontraron numerosas poblaciones de esporas de hongos blancos en todos los lotes que tenían la dosis de la cepa de inoculación
- No se percibieron olores desagradables durante el proceso.
- En el proceso de compostaje se pudo observar que las partículas demasiado grandes no son atacadas por los microorganismos en el mismo tiempo que los demás residuos orgánicos, entonces el tamaño de los residuos orgánicos juega un papel muy importante y esto hace que el tiempo de procesamiento se alargue.
- La temperatura más alta para el T1 fue el día 32 con 27.8°C, para el T2 fue el día 23 con 38.64°C, para el T3 fue el día 20 con 58.84°C y para el T4 fue el día 24 con 69.5°C; esto se debe a la actividad enzimática de los microorganismos sobre los residuos orgánicos.

c)

- Se proyecta generar 333.9 Tn de abono al año, que será utilizado para las actividades de revegetación en la obra.
- Se proyecta revegetar 100 hectáreas al año y se donará a las comunidades el abono restante que se obtendrá del proceso de compostaje con microorganismos eficientes.

d)

- Los resultados obtenidos con los lotes (T2, T3 y T4) experimentales muestran que el proceso de compostaje fue satisfactorio para el

manejo residuos orgánicos. Siendo el lote del Tratamiento 4, Ensayo 1 cuya composición fue la de mayor proporción con 84% de MO.

- Las características del compost obtenido con el método realizado y la infraestructura de tablas armadas con revestimiento de malla Raschel dieron buenos resultados.
- El abono obtenido se está usando en el programa revegetación, ya que el compost final es rico en micro y macro nutrientes, con concentraciones similares entre los tratamientos T2, T3 y T4.

e)

- Proyectado en un año se evitará gastar **S/.445 823.53**, en el transporte y disposición final de los residuos orgánicos (restos de comida).
- El análisis costo/beneficio muestra que la relación mensual es positiva y viabiliza el proyecto mediante un valor de **2.30**, el cual infiere que la capitalización mensual del proyecto sería muy buena.
- El análisis para el periodo de retorno de la inversión nos muestra que en un tiempo un poco mayor a 4 meses (**valor = 4.16**) ya se estará recuperando la inversión realizada para la construcción de la infraestructura y los costos fijos realizados mediante el ahorro en transporte y disposición de tales residuos.

5.2. Recomendaciones

a)

- Se podría utilizar una picadora para manejar el tamaño de las partículas y así obtener mayor cantidad de compost y menor cantidad de afrecho.
- Para que salga un buen compost se recomienda la utilizar insumos diversificados, tanto de origen vegetal (restos de cocina tanto crudos como restos de comidas cocina), como animal (estiércol), porque los

de origen vegetal tienen más carbono y el estiércol contiene más nitrógeno.

b)

- Se recomienda evaluar la cantidad necesaria de abono para cada plantón, ya que una cantidad excesiva puede matarlo.

c)

- Durante el proceso de degradación de los residuos orgánicos, se debe monitorear la presencia de moscas y larvas en los lotes, si se da el caso se recomienda realizar la homogenización cada 2 días para evitar su incremento.
- Fumigar cada semana para eliminar los insectos (moscas) restantes.

d)

- Se recomienda, enviar una muestra de compost al laboratorio al finalizar el proceso de compostaje en caso exista algún cambio.

e)

- Es importante tener en cuenta para la calidad de compost maduro puede también ser determinado en el campo mediante el «test de la mano», se frota un poco del compost entre las palmas de las manos: el compost de buena calidad debe desprenderse fácilmente.

CAPÍTULO V

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcázar, F. (2004). *Norma de calidad del compost*. Santiago, Chile. Normativa chilena Oficial - Instituto nacional de normalización.
2. Arrigoni, J. P. 2011. *Evaluación del desempeño de diferentes prototipos de compostadores en el tratamiento de residuos orgánicos*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Comahue, Neuquén, Argentina.
3. Boulter, J.; Trevors, J.; Boland, G. (1999). *Study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease*. Holanda, Ontario. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*.
4. Brinton, W. (2000). *Estándares de Calidad y guía de compost*. Nueva York, USA. *Artículo de la Asociación de recicladores del Estado de Nueva York*.
5. CEGARRA, Juan. *Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost*. En: *Memorias VII congreso Colombiano de la ciencia del suelo*, Bucaramanga, Octubre 1994. p. 21-31.
6. Castrillón, O.; Bedoya, O.; Montoya, V. (2006). *Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost*. Colombia, Antioquia. Editorial – Corporación Universitaria Lasallista.
7. Cariello, M.; Castañeda, L.; Riobo, I.; González, J. (2007). *Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos*. Argentina, Entre Ríos. *Revista Ceres*.
8. Chaney, D. (1992). *Organic Soil Amendments and Fertilizers*. California, United States.
9. Collazoz, 2005. *Compostaje como tratamiento de residuos sólidos orgánicos*. Colombia
10. Davis & Masten, 2005; Pineda, 1998; Tchobanoglous et al., 1994.
11. De Carlo, E.; Rosa, A.; Benitende, S.; Cariello, M.; Castañeda, L.; Figoni, E.; Grasso, N.; Ruiz, A.; Mascheroni, F. (2001). *Estudio de la población*

microbiana en las etapas iniciales del compostaje. Argentina, Entre Ríos. Revista Ceres.

12. Iannotti, D.; Grebus, M.; Toth, B.; Maddeb, L.; Hoitink, H. (1994). *Oxígeno para evaluar la estabilidad y madurez de los residuos sólidos urbanos en compost*. Estados Unidos, Ohio. Environmental Quality Journal.
13. Jaramillo, C.; Cristina, D.; Eckehard, S. (2012). *Optimization of the decomposition processes for organic solid waste*. Colombia, Antioquia. Journal of Engineering and Technology.
14. Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994.
15. Li'ao et al., 2009; Gamze et al., 2009; Osman et al., 2009; Cherunini et al., 2008; AMVA, 2006; PGIRS Subregional, 2002.
16. Madigan, M.; Martinko, J.; Parker, J. (2004). Brock - Biología de los microorganismos. España, Madrid. Pearson, Prentice Hall.
17. MUNÉVAR M, Fernando. *Concepto Sobre la Materia Orgánica y el Nitrógeno del Suelo Relacionados con la interpretación de análisis Químicos. En: Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas para Riego*. 3ra Ed., Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1990. p. 227-239
18. Orozco, 2005; Decreto 1713 de 2002; Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994.
19. Posso, J. (2010). *Evaluación de diferentes dosis de compost y lombricompost aplicado al suelo de vivero*. Valledupar, Colombia. Universidad de Colombia.
20. Strom, P. (1985). *Efecto de la temperatura sobre la diversidad de especies de bacterias termófilas en el compostaje de los desechos sólidos*. Estados Unidos, New Jersey. Applied Environmental Microbiology.
21. Sztern, D.; Pravia, M. (1996). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay, Maldonado. Organización Panamericana de Salud, Organización Mundial de salud.

22. Soliva, M. (2004). *Calidad de compost. Influencia del tipo de materiales tratados y las condiciones del proceso*. Barcelona, España. Escuela Superior de Agricultura - Universidad de Barcelona.
23. Soto M, Gabriela. (2003) *Abonos orgánicos: El proceso de compostaje*. En: *memorias taller de abonos orgánicos*, Sabanilla, Costa Rica, Marzo de 2003; p. 29-66.)
24. Vázquez, 1996; Tchobanoglous et al., 1994
25. Wu, L.; Ma, L.; Martinez, G. (2000). *Comparación de los métodos para evaluar la estabilidad y madurez del compost de biosólidos*. Estados Unidos, Florida. Environmental Quality Journal.

ANEXOS

ANEXO 1. Gráfico de cada tratamiento

a) Tratamiento 1



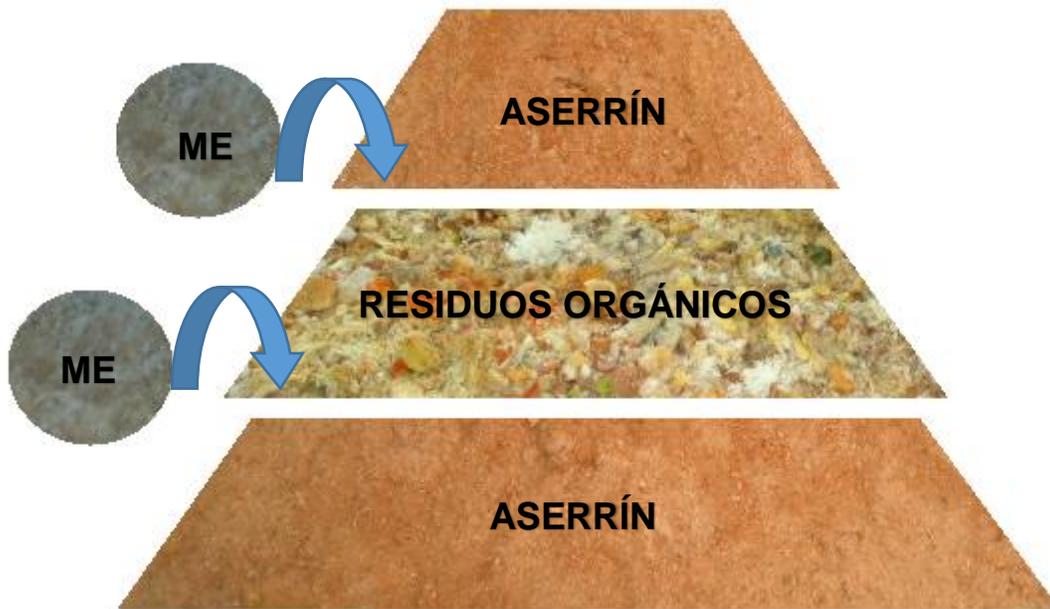
Fuente: Elaboración propia

b) Tratamiento 2



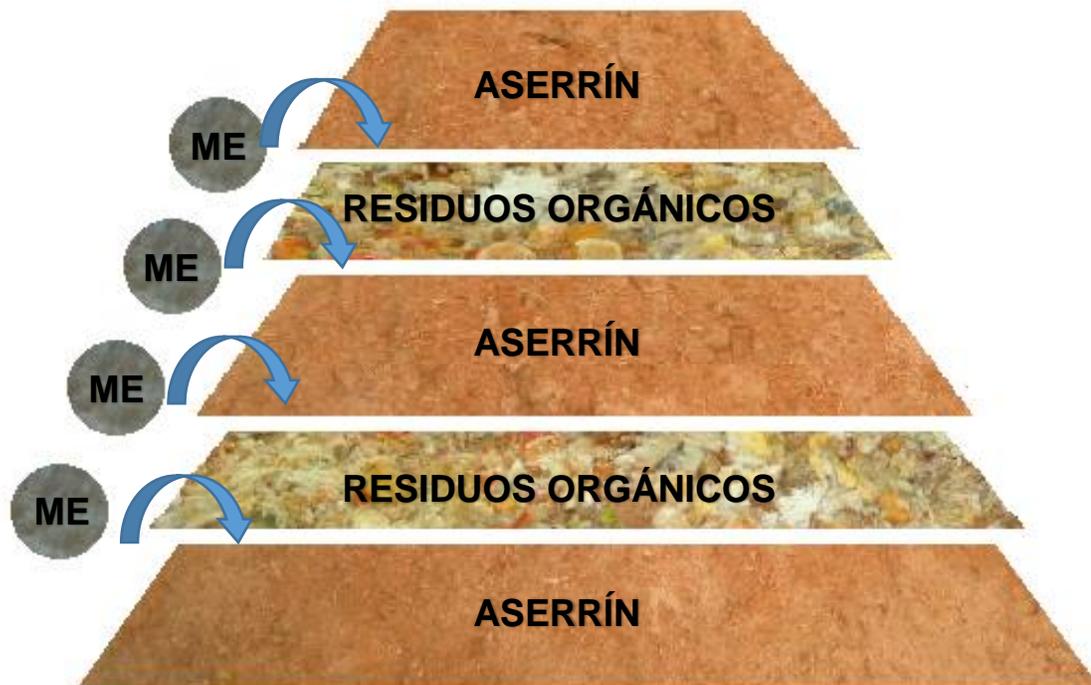
Fuente: Elaboración propia

c) Tratamiento 3



Fuente: Elaboración propia

d) Tratamiento 4



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. Datos de campo

Tabla 50: Temperatura Ambiente °C durante el proceso de compostaje

Día	Temperatura Ambiente °C
1er Día	28.1
2do Día	23.2
3er Día	31.7
4to Día	21.9
1er volteo (4to Día)	28.6
5to Día	20.8
6to Día	20.5
7mo Día	20.3
8vo Día	25.7
2do volteo (8vo Día)	21.9
9no Día	21.6
10mo Día	23.2
11mo Día	22.9
12mo Día	23.9
3er volteo (12mo Día)	22.9
13ro Día	22.7
14to Día	22.5
15to Día	29.4
16to Día	24.2
4to volteo (16To Día)	22.1
17mo Día	22.0
18vo Día	22.8
19no Día	23.6
20mo Día	26.4
5to volteo (20mo Día)	25.1

21ro Día	22.7
22do Día	24.3
23ro Día	21.8
24to Día	24.4
6to volteo (24to Día)	22.6
25to Día	22.4
26to Día	25.8
27mo Día	25.1
28vo Día	22.8
7mo volteo (28vo Día)	20.2
29no Día	20.5
30mo Día	20.3
31ro Día	28.4
32do Día	21.9

Tabla 51: Humedad Relativa % durante el proceso de compostaje

Día	Temperatura Ambiente °C
1er Día	65
2do Día	84
3er Día	85
4to Día	88
1er volteo (4to Día)	74
5to Día	89
6to Día	90
7mo Día	83
8vo Día	64
2do volteo (8vo Día)	81
9no Día	81

10mo Día	80
11mo Día	89
12mo Día	90
3er volteo (12mo Día)	82
13ro Día	82
14to Día	83
15to Día	64
16to Día	78
4to volteo (16To Día)	82
17mo Día	84
18vo Día	78
19no Día	80
20mo Día	72
5to volteo (20mo Día)	78
21ro Día	82
22do Día	58
23ro Día	81
24to Día	83
6to volteo (24to Día)	81
25to Día	72
26to Día	89
27mo Día	80
28vo Día	82
7mo volteo (28vo Día)	84
29no Día	58
30mo Día	78
31ro Día	80
32do Día	79

Tabla 52: Informe de Análisis de Compost – Ensayo “I”

Muestra			Ensayo I			
Análisis paramétrico	Valor	Unidad	T1	T2	T3	T4
Relación Carbono - Nitrógeno	23.97	No	30.96	26.46	24.71	23.97
Materia Orgánica	84.32	%	40.23	64.29	79.09	84.32
Macroelementos Esenciales						
Nitrógeno (como N)	1.89	%	0.8	1.72	2.39	3.4
Fósforo (como P ₂ O ₅)	0.63	%	0.38	0.4	0.5	0.63
Potasio (como K ₂ O)	0.45	%	0.34	0.21	0.41	0.45
Calcio (como CaO)	5.44	%	10.28	7.28	5.84	5.44
Magnesio (como MgO)	1.42	%	1.48	0.96	0.76	1.42

Fuente: Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional Agraria la Molina – Jefe de Laboratorio Dr: Sady García Bendezú

Tabla 53: Informe de Análisis de Compost – Ensayo “II”

Muestra			Ensayo II			
Análisis paramétrico	Valor	Unidad	T1	T2	T3	T4
Relación Carbono - Nitrógeno	23.97	No	31.05	26.89	23.85	23.42
Materia Orgánica	84.32	%	43.5	62.68	80.74	80.19
Macroelementos Esenciales						
Nitrógeno (como N)	1.89	%	0.85	1.6	2.24	1.89
Fósforo (como P ₂ O ₅)	0.63	%	0.27	0.43	2.5	0.75
Potasio (como K ₂ O)	0.45	%	0.9	1.2	0.35	0.56
Calcio (como CaO)	5.44	%	8.33	5.6	4.8	5.82

Magnesio (como MgO)	1.42	%	1.3	0.85	0.89	1.51
----------------------------	------	---	-----	------	------	------

Fuente: Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional Agraria la Molina – Jefe de Laboratorio Dr: Sady García Bendezú

Tabla 54: Informe de Análisis de Compost – Ensayo “III”

Muestra			Ensayo III			
Análisis paramétrico	Valor	Unidad	T1	T2	T3	T4
Relación Carbono - Nitrógeno	23.97	No	31.78	25.72	24.28	22.56
Materia Orgánica	84.32	%	44.35	60.2	77.84	83.25
Macroelementos Esenciales						
Nitrógeno (como N)	1.89	%	1.11	1.55	1.85	2.4
Fósforo (como P₂O₅)	0.63	%	0.4	0.68	1.08	1.39
Potasio (como K₂O)	0.45	%	1.22	0.6	0.54	1.2
Calcio (como CaO)	5.44	%	7.25	6	5.5	4.85
Magnesio (como MgO)	1.42	%	1.15	0.9	0.72	1.68

Fuente: Laboratorio de Suelos – Universidad Nacional Agraria la Molina – Jefe de Laboratorio Dr: Sady García Bendezú

Tabla 55: Datos de comparación para el análisis de compost de la Norma de Calidad del Compost del Instituto Nacional de Normalización de Chile (Alcazar, 2004)

Muestra	Rango
---------	-------

Análisis paramétrico	Valor	Unidad	Clase A	Clase B	Inmaduro
Relación Carbono - Nitrógeno	23.97	No	10 - 25	10 - 40	< 50
Materia Orgánica	84.32	%	> 80	60 - 80	< 60
Macroelementos Esenciales					
Nitrógeno (como N)	1.89	%	1 - 3	0.5 - 1	> 0.5
Fósforo (como P₂O₅)	0.63	%	0.8 - 2.5	0.6 - 0.8	< 0.6
Potasio (como K₂O)	0.45	%	0.5 - 2.0	0.35 - 0.5	< 0.35
Calcio (como CaO)	5.44	%	1.0 - 2.5	2.5 - 6	> 6
Magnesio (como MgO)	1.42	%	0.5 - 1.0	1.0 - 3.0	> 3.0

Fuente: Informe de análisis de materia orgánica, referencia 44635, entregado el día 15 de Abril del 2014.

Referencia: Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de La Molina.

Leyenda:

Clase A : Producto de alta calidad.

Clase B : Producto que cumple con las exigencias mínimas.

Inmaduro : No alcanzó la maduración.

Tabla 56: Datos de campo para temperatura antes de la primera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	20.50	21.46	30.24	33.75
II	22.05	23.04	33.10	35.88
III	21.90	24.04	27.58	32.48
Media	21.49	22.84	30.30	34.03

Tabla 57: Análisis de Varianza para temperatura antes de la primera homogenización.

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	324.06	3	108.02	33.25	0.0001
Error	25.99	8	3.25		
Total	350.05	11			
				CV =	6.63

Tabla 58: Datos de campo para temperatura después de la primera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	19.90	20.25	30.05	36.60
II	20.40	22.30	30.30	39.60
III	21.30	22.10	28.30	39.10
Media	20.53	21.55	29.55	38.43

Tabla 59: Análisis de Varianza para temperatura después de la primera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	623.03	3	207.68	149.63	<0.0001
Error	11.1	8	1.39		
Total	634.13	11			

CV = 4.28

Tabla 60: Datos de campo para temperatura antes de la segunda homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	21.85	23.51	50.71	49.83
II	21.82	24.61	45.10	46.83
III	23.60	24.92	54.68	52.13
Media	22.42	24.35	50.16	49.59

Tabla 61: Análisis de Varianza para temperatura antes de la segunda homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2111.99	3	704	88.5	<0.0001
Error	63.64	8	7.95		
Total	2175.62	11			

CV = 7.7

Tabla 62: Datos de campo para temperatura después de la segunda homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	20.67	21.80	50.90	48.68
II	21.70	22.63	50.20	49.50
III	22.30	23.30	50.10	48.40
Media	21.56	22.58	50.40	48.86

Tabla 63: Análisis de Varianza para temperatura después de la segunda homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2284.33	3	761.44	1729.5	<0.0001
Error	3.52	8	0.44		
Total	2287.85	11			

CV =1.85

Tabla 64: Datos de campo para temperatura antes de la tercera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	22.08	23.94	52.40	56.24
II	23.67	25.05	47.43	53.75
III	23.74	25.32	58.80	57.58
Media	23.16	24.77	52.88	55.86

Tabla 65: Análisis de Varianza para temperatura antes de la tercera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2789.67	3	929.89	98.71	<0.0001
Error	75.37	8	9.42		
Total	2865.04	11			

CV = 7.84

Tabla 66: Datos de campo para temperatura después de la tercera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	20.20	21.24	45.33	30.67
II	21.30	23.60	46.80	59.60
III	22.10	23.80	40.60	59.80
Media	21.20	22.88	44.24	50.02

Tabla 67: Análisis de Varianza para temperatura después de la tercera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1943.37	3	647.79	8.8	0.0065
Error	588.71	8	73.59		
Total	2532.09	11			

CV = 24.8

Tabla 68: Datos de campo para temperatura antes de la cuarta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	23.33	24.73	54.47	59.48
II	23.73	26.83	52.80	53.38
III	23.78	27.24	53.23	61.88
Media	23.61	26.26	53.50	58.24

Tabla 69: Análisis de Varianza para temperatura antes de la cuarta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2914.97	3	971.66	178.05	<0.0001
Error	43.66	8	5.46		
Total	2958.63	11			

CV = 5.78

Tabla 70: Datos de campo para temperatura después de la cuarta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	21.86	22.91	53.70	51.23
II	20.30	24.60	46.50	48.40
III	21.10	25.30	46.30	50.30
Media	21.09	24.27	48.83	49.98

Tabla 71: Análisis de Varianza para temperatura después de la cuarta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2160.11	3	720.04	131.08	<0.0001
Error	43.94	8	5.49		
Total	2204.05	11			

CV =6.5

Tabla 72: Datos de campo para temperatura antes de la quinta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	23.26	26.97	57.02	64.97
II	23.85	27.38	48.25	57.95
III	23.98	27.94	49.18	60.95
Media	23.70	27.43	51.48	61.29

Tabla 73: Análisis de Varianza para temperatura antes de la quinta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3015.4	3	1005.13	111.69	<0.0001
Error	72	8	9		
Total	3087.39	11			

CV =7.32

Tabla 74: Datos de campo para temperatura después de la quinta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	21.40	30.40	52.60	58.30
II	22.30	25.10	50.60	57.90
III	22.60	26.12	43.40	54.80
Media	22.10	27.21	48.87	57.00

Tabla 75: Análisis de Varianza para temperatura después de la quinta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2537.62	3	845.87	95.63	<0.0001
Error	70.76	8	8.85		
Total	2608.38	11			

CV =7.67

Tabla 76: Datos de campo para temperatura antes de la sexta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	24.03	36.31	59.81	67.28
II	25.03	33.37	56.55	67.20
III	25.58	33.93	56.10	66.70
Media	24.88	34.53	57.49	67.06

Tabla 77: Análisis de Varianza para temperatura antes de la sexta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3458.79	3	1152.93	635.9	<0.0001
Error	14.5	8	1.81		
Total	3473.29	11			

CV = 2.93

Tabla 78: Datos de campo para temperatura después de la sexta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	22.30	33.80	54.90	54.30
II	23.40	32.10	54.20	52.90
III	24.80	34.20	54.20	56.60
Media	23.50	33.37	54.43	54.60

Tabla 79: Análisis de Varianza para temperatura después de la sexta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2187.09	3	729.03	450.95	<0.0001
Error	12.93	8	1.62		
Total	2200.02	11			

CV = 3.07

Tabla 80: Datos de campo para temperatura antes de la séptima homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	24.42	35.98	56.98	64.53
II	26.66	38.42	46.43	61.88
III	26.91	38.92	49.03	64.75
Media	26.00	37.77	50.81	63.72

Tabla 81: Análisis de Varianza para temperatura antes de séptima homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2390.59	3	796.86	85.88	<0.0001
Error	74.23	8	9.28		
Total	2464.83	11			

CV = 6.83

Tabla 82: Datos de campo para temperatura después de la séptima homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	22.70	32.38	54.50	55.07
II	24.50	35.42	47.10	54.20
III	25.40	36.40	45.80	55.90
Media	24.20	34.73	49.13	55.06

Tabla 83: Análisis de Varianza para temperatura después de la séptima homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1755.18	3	585.06	80.62	<0.0001
Error	58.06	8	7.26		
Total	1813.24	11			

CV = 6.61

Tabla 84: Datos de campo para temperatura al momento de cosecha

	T1	T2	T3	T4
I	26.95	35.02	56.53	66.34
II	28.00	38.58	51.20	64.40
III	28.51	37.70	57.20	64.00
Media	27.82	37.10	54.98	64.91

Tabla 85: Análisis de Varianza para temperatura al momento de cosecha

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2543.56	3	847.85	206.2	<0.0001
Error	32.89	8	4.11		
Total	2576.45	11			

CV = 4.39

Tabla 86: Datos de campo para pH antes de la primera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	4.63	4.60	5.10	4.88
II	4.31	4.08	5.13	5.01
III	4.15	4.84	3.99	4.45
Media	4.36	4.51	4.74	4.78

Tabla 87: Análisis de Varianza para pH antes de la primera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	0.35	3	0.12	0.65	0.6051
Error	1.44	8	0.18		
Total	1.79	11			

CV = 9.22

Tabla 88: Datos de campo para pH después de la primera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	3.86	3.70	3.67	4.32
II	4.07	3.99	4.55	3.94
III	3.87	3.67	3.16	4.01
Media	3.93	3.79	3.79	4.09

Tabla 89: Análisis de Varianza para pH después de la primera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	0.18	3	0.06	0.42	0.7416
Error	1.16	8	0.15		
Total	1.35	11			

CV = 9.77

Tabla 90: Datos de campo para pH antes de la segunda homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	4.20	4.62	6.42	5.54
II	4.52	4.83	5.51	5.93
III	4.25	3.91	4.50	5.30
Media	4.32	4.45	5.48	5.59

Tabla 91: Análisis de Varianza para pH antes de la segunda homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3.98	3	1.33	4.13	0.0484
Error	2.57	8	0.32		
Total	6.55	11			

CV = 11.43

Tabla 92: Datos de campo para pH después de la segunda homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	3.41	3.95	5.76	3.75
II	3.50	3.90	4.06	4.92
III	3.68	4.28	3.83	4.57
Media	3.53	4.04	4.55	4.41

Tabla 93: Análisis de Varianza para pH después de la segunda homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1.87	3	0.62	1.63	0.2583
Error	3.07	8	0.38		
Total	4.94	11			

CV = 14.98

Tabla 94: Datos de campo para pH antes de la tercera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	3.02	4.51	5.95	6.34
II	4.30	4.55	5.70	5.84
III	3.90	4.43	4.88	5.08
Media	3.74	4.50	5.51	5.75

Tabla 95: Análisis de Varianza para pH antes de la tercera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	7.82	3	2.61	9.08	0.0059
Error	2.3	8	0.29		
Total	10.11	11			

CV = 10.99

Tabla 96: Datos de campo para pH después de la tercera homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	4.96	5.30	5.81	4.65
II	3.15	4.17	4.39	4.97
III	3.61	4.05	4.23	4.41
Media	3.91	4.51	4.81	4.68

Tabla 97: Análisis de Varianza para pH después de la tercera homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1.43	3	0.48	0.87	0.4961
Error	4.39	8	0.55		
Total	5.82	11			

CV = 16.56

Tabla 98: Datos de campo para pH antes de la cuarta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.60	5.67	6.34	6.11
II	4.48	5.13	5.87	6.05
III	3.93	4.68	5.79	6.51
Media	4.67	5.16	6.00	6.22

Tabla 99: Análisis de Varianza para pH antes de la cuarta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	4.73	3	1.58	5.63	0.0226
Error	2.24	8	0.28		
Total	6.97	11			

CV = 9.6

Tabla 100: Datos de campo para pH después de la cuarta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	4.34	5.10	5.85	5.50
II	4.08	4.50	5.03	5.58
III	3.50	4.01	5.36	5.85
Media	3.97	4.54	5.41	5.64

Tabla 101: Análisis de Varianza para pH después de la cuarta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	5.42	3	1.81	10.52	0.0038
Error	1.37	8	0.17		
Total	6.79	11			

CV = 8.47

Tabla 102: Datos de campo para pH antes de la quinta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.69	6.58	6.69	6.01
II	5.10	5.47	5.68	7.01
III	4.94	5.60	6.84	6.72
Media	5.24	5.88	6.40	6.58

Tabla 103: Análisis de Varianza para pH antes de la quinta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3.25	3	1.08	3.65	0.0636
Error	2.37	8	0.3		
Total	5.62	11			

CV = 9.04

Tabla 104: Datos de campo para pH después de la quinta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.04	6.46	5.64	4.60
II	4.90	5.19	5.28	5.83
III	3.78	4.69	5.04	5.43
Media	4.57	5.45	5.32	5.29

Tabla 105: Análisis de Varianza para pH después de la quinta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1.4	3	0.47	1.04	0.4245
Error	3.59	8	0.45		
Total	4.99	11			

CV = 12.99

Tabla 106: Datos de campo para pH antes de la sexta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.87	6.77	5.93	6.14
II	5.23	5.72	6.40	6.86
III	4.99	5.40	6.21	6.85
Media	5.36	5.96	6.18	6.62

Tabla 107: Análisis de Varianza para pH antes de la sexta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	2.45	3	0.82	3.45	0.0719
Error	1.89	8	0.24		
Total	4.34	11			

CV = 8.07

Tabla 108: Datos de campo para pH después de la sexta homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.12	5.09	6.10	5.20
II	4.67	5.24	5.80	6.18
III	3.65	4.81	5.87	6.24
Media	4.48	5.05	5.92	5.87

Tabla 109: Análisis de Varianza para pH después de la sexta homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	4.35	3	1.45	5.92	0.0199
Error	1.96	8	0.25		
Total	6.31	11			

CV = 9.29

Tabla 110: Datos de campo para pH antes de la séptima homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	5.40	5.49	6.88	7.25
II	4.90	5.60	6.65	6.25
III	5.29	5.61	6.58	7.04
Media	5.20	5.57	6.70	6.85

Tabla 111: Análisis de Varianza para pH antes de la séptima homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	6.06	3	2.02	21.48	0.0003
Error	0.75	8	0.09		
Total	6.81	11			

CV = 5.04

Tabla 112: Datos de campo para pH después de la séptima homogenización

	T1	T2	T3	T4
I	4.93	5.06	6.50	6.30
II	4.30	5.21	6.07	6.07
III	4.63	4.90	5.93	6.57
Media	4.62	5.06	6.17	6.31

Tabla 113: Análisis de Varianza para pH después de la séptima homogenización

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	6.21	3	2.07	30.21	0.0001
Error	0.55	8	0.07		
Total	6.76	11			

CV = 4.73

Tabla 114: Datos de campo para pH al momento de cosecha

	T1	T2	T3	T4
I	5.91	6.49	7.32	7.02
II	5.45	6.45	6.29	6.82
III	5.80	5.66	6.53	7.40
Media	5.72	6.20	6.71	7.08

Tabla 115: Análisis de Varianza para pH al momento de cosecha

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3.18	3	1.06	6.48	0.0156
Error	1.31	8	0.16		
Total	4.49	11			

CV = 6.29

Tabla 116: Datos de laboratorio para relación C - N

	T1	T2	T3	T4
I	30.96	26.46	24.71	23.97
II	31.05	26.89	23.85	23.42
III	31.78	25.72	24.28	22.56
Media	31.26	26.36	24.28	23.32

Tabla 117: Análisis de Varianza para relación C – N

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	112.86	3	37.62	121.12	<0.0001
Error	2.48	8	0.31		
Total	115.34	11			

CV = 2.12

Tabla 118: Datos de laboratorio para Materia Orgánica

	T1	T2	T3	T4
I	40.23	64.29	79.09	84.32
II	43.5	62.68	80.74	80.19
III	44.35	60.2	77.84	83.25
Media	42.69	62.39	79.22	82.59

Tabla 119: Análisis de Varianza para Materia Orgánica

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	3012.34	3	1004.11	256.04	<0.0001
Error	31.37	8	3.92		
Total	3043.72	11			

CV = 2.97

Tabla 120: Datos de laboratorio para Nitrógeno

	T1	T2	T3	T4
I	0.8	1.72	2.39	3.4
II	0.85	1.6	2.24	1.89
III	1.11	1.55	1.85	2.4
Media	0.92	1.62	2.16	2.56

Tabla 121: Análisis de Varianza para Nitrógeno

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	4.55	3	1.52	8.63	0.0069
Error	1.41	8	0.18		
Total	5.96	11			

CV = 23.08

Tabla 122: Datos de laboratorio para fósforo

	T1	T2	T3	T4
I	0.38	0.4	0.5	0.63
II	0.27	0.43	2.5	0.75
III	0.4	0.68	1.08	1.39
Media	0.35	0.50	1.36	0.92

Tabla 123: Análisis de Varianza para fósforo

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1.85	3	0.62	1.97	0.1969
Error	2.51	8	0.31		
Total	4.36	11			

CV = 71.41

Tabla 124: Datos de laboratorio para potasio

	T1	T2	T3	T4
I	0.34	0.21	0.41	0.45
II	0.9	1.2	0.35	0.56
III	1.22	0.6	0.54	1.2
Media	0.82	0.67	0.43	0.74

Tabla 125: Análisis de Varianza para potasio

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	0.25	3	0.08	0.53	0.6717
Error	1.24	8	0.16		
Total	1.49	11			

CV = 59.23

Tabla 126: Datos de laboratorio para calcio

	T1	T2	T3	T4
I	10.28	7.28	5.84	5.44
II	8.33	5.6	4.8	5.82
III	7.25	6	5.5	4.85
Media	8.62	6.29	5.38	5.37

Tabla 127: Análisis de Varianza para calcio

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	21.12	3	7.04	7.72	0.0095
Error	7.3	8	0.91		
Total	28.42	11			

CV = 14.89

Tabla 128: Datos de laboratorio para Magnesio

	T1	T2	T3	T4
I	1.48	0.96	0.76	1.42
II	1.3	0.85	0.89	1.51
III	1.15	0.9	0.72	1.68
Media	1.31	0.90	0.79	1.54

Tabla 129: Análisis de Varianza para Magnesio

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1.09	3	0.36	26.2	0.0002
Error	0.11	8	0.01		
Total	1.21	11			

Tabla 130: Datos de campo para compost obtenido

	T1	T2	T3	T4
I	157	523	863	980
II	165	648	842	996
III	161	549	850	1005
Media	161.00	573.33	851.67	993.67

Tabla 131: Análisis de Varianza para compost obtenido

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1211014.92	3	403671.64	348.07	<0.0001
Error	9278	8	1159.75		
Total	1220292.92	11			

CV = 5.28

Tabla 132: Datos de campo para residuos por descomponer

	T1	T2	T3	T4
I	978.00	602.00	299.00	133.00
II	984.00	506.00	292.00	145.00
III	992.00	600.00	287.00	122.00
Media	984.67	569.33	292.67	133.33

Tabla 133: Análisis de Varianza para residuos por descomponer

Análisis de la Varianza					
Fuente de Varianza	SC	GL	CM	F	p-valor
Tratamientos	1251121.33	3	417040.44	516.89	<0.0001
Error	6454.67	8	806.83		
Total	1257576	11			

CV = 5.74

ANEXO 3. Ilustraciones



Ilustración 1: Pesado de los residuos orgánicos



Ilustración 2: Reproducción de la Cepa Madre



Ilustración 3: Inoculación de microorganismos eficientes en capa de residuos orgánicos.



Ilustración 4: Forma final tipo montículo de los lotes de compostaje.



Ilustración 5: Corte transversal Lote - Tratamiento 4



Ilustración 6: Monitoreo de la temperatura



Ilustración 7: Homogenización de los lotes de compostaje



Ilustración 8: Esporas de hongos en el T4



Ilustración 9: Monitoreo del pH



Ilustración 10: Medición de la Humedad Relativa y la Temperatura Ambiente



Ilustración 11: Medición del pH



Ilustración 82: Medición de la temperatura del lote



Ilustración 93: Lotes de Compostaje (T1, T2, T3, T4)



Ilustración 104: Cosecha del compost

ANEXO 4. Presupuesto

a) Recursos humanos

Tabla 134: Costo del personal obrero como apoyo para el acompañamiento en el proceso de compostaje

	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Peón	Peón	2	1,485.00	2970.00
TOTAL				2970.00

Tabla 135: Costo del personal obrero para la construcción del Hangar

Objeto	Unidad	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Personal de Obras Civiles (oficiales)	Jornada	2	62.50	1625.00
Personal de Obras Civiles (peones)	Jornada	4	45.90	2386.80
TOTAL				4011.00

b) Recursos materiales

Tabla 136: Costo de los materiales para la infraestructura

Objeto	Unidad	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Concreto TCF 200	m ³	1	225.46	225.46
Listones de madera 4"x 4"x 3 m	Und	110	55.32	6085.42

Listones de madera 1"x 3"x 3 m	Und	20	9.25	185.00
Listones de madera 1"x 4"x 3 m	Und	140	15.58	2181.20
Listones de madera 2"x 4"x 3 m	Und	270	32.86	8872.20
Listones de madera 3"x 2"x 3 m	Und	110	25.94	2853.40
Calamina metálica 3.6 m	Und	220	23.57	5186.37
Plancha de Triplay Fenólico (1.2 x 2.4 m) de 6 mm	Und	25	32.25	806.25
Clavos para madera 3"	Kg	15	3.00	45.00
Clavos para calamina	Kg	4	3.50	14.00
Rollo de Malla Raschel 80%	Und	1.8	680.12	1224.22
TOTAL				27 678.52

c) Equipos

Tabla 137: Presupuesto de equipos para monitoreo

Objeto	Unidad	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Balanza mecánica a pesas 500 Kg Marca BES S.A.	Unidad	1	500.00	500.00
pH metro digital Marca Hanna Modelo 98130	Unidad	1	550.00	550.00
Termo higrómetro digital Marca AZ Modelo Inst. M87792	Unidad	1	280.00	280.00

Termómetro tipo espiga Hanna M98509	Unidad	1	430.00	430.00
Mochila fumigadora Marca Jacto Modelo PJH.	Unidad	1	280.00	280.00
TOTAL				2040.00

Tabla 138: Presupuesto de equipos pesados para la construcción del Hangar

Objeto	Unidad	Cantidad	C. unitario (S/.)	C. Total (S/.)
Retroexcavadora	h	3	216.44	649.32
Motoniveladora	h	2	268.87	537.74
Rodillo Compactador	h	2	204.64	409.28
TOTAL				5608.14

ANEXO 5. Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables e Indicadores	Diseño de Investigación	Métodos y técnicas de investigación	Población y muestra	
¿Cómo influye la aplicación de microorganismos eficientes en la optimización del manejo de residuos orgánicos durante el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla?	Optimizar el manejo de residuos orgánicos mediante la aplicación de microorganismos eficientes (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.) en el proceso de compostaje que se realiza en el centro de gestión de residuos de la Central Hidroeléctrica Chaglla.	Es posible la optimización del manejo de residuos orgánicos con la aplicación de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje en la Central Hidroeléctrica Chaglla.	<p>Variable Dependiente</p> Residuos orgánicos y Microorganismos (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.).	<p>Variable independiente</p> El compost.	DCA (Diseño completamente al azar) Tratamientos: A, B, C, Ensayo I: B A C Ensayo II: C B A Ensayo III: B A C Las fuentes de variación para el análisis estadístico son: Fuentes Grados de libertad Tratamiento (t-1) = 4 Bloques (r-1) = 3 Error (t-1)(r-1)=12	<u>Para la recolección de la información:</u> Técnica: Análisis documental Instrumento: Fichas textuales <u>Para la recolección de datos:</u> Técnica: Observación y fichas para recolectar los datos de los parámetros tomados diarios. Instrumento: Lista de cotejo Técnica: Test Instrumentos: Equipos de monitoreo	<p>Población:</p> 9 unidades experimentales denominados lotes, cada una con 2, 353 kg de materiales a compostar. <p>Muestra:</p> Se trabajará con 3 tratamientos y 3 repeticiones, se aplicará el análisis de varianza bajo el DCA para el análisis de los resultados. Se estudiará el efecto de los microorganismos eficientes en la degradación de MO.

Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas				
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influyen los parámetros (Temperatura, pH, humedad relativa) en el proceso de compostaje con la aplicación de microorganismos eficientes? • ¿Cómo influye la descomposición de microorganismos eficientes en la mejora de la calidad de compost para la utilización como fertilizante en las actividades de revegetación en la CH Chaglla? 	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar y monitorear el proceso que se lleva a cabo en el sistema de control, comparando sus ventajas o desventajas; con respecto al actual sistema que se ejecuta en el centro de gestión de residuos. • Evaluar el proceso de degradación de los residuos orgánicos, considerando parámetros como la temperatura, pH y humedad relativa. • Generar compost para utilizar en las actividades de 	<ul style="list-style-type: none"> • Los parámetros de temperatura, pH y humedad relativa si influyen en la descomposición de residuos orgánicos, • Los microorganismos eficientes si influyen para obtener un abono de calidad. • La aplicación de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje, reduce los costos de disposición final de los residuos 				

<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influye la aplicación de microorganismos en el proceso de compostaje para general más compost y utilizarlo en las actividades de revegetación de la obra? • ¿Cómo influye la aplicación de microorganismos en el proceso de compostaje para reducir los costos de disposición final de los residuos orgánicos? 	<p>revegetación en la obra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizar las características del producto final, determinando las propiedades físico - químicas para su uso como abono en las actividades de revegetación. • Reducir costos de transporte y disposición final de los residuos orgánicos (restos de comida), mediante el uso de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje. 	<p>orgánicos generados en obra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de microorganismos eficientes en el proceso de compostaje acelera el proceso, generando más abono en menos tiempo. • La aplicación de microorganismos eficientes si influye en la reducción de costos de transporte y disposición final de los residuos orgánicos (restos de comida), 				
---	---	--	--	--	--	--

ANEXO 7. Resolución de nombramiento de Asesor

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 323-2015-D-FI-UDH

Huánuco, 20 de julio de 2015

Visto, el Expediente N° 1079-15 presentado por el Presidente de la Comisión de Grados y Títulos, presentado por el alumno Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA, quién desarrollará el proyecto de Tesis, quién solicita Asesor de Tesis.

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Ley Universitaria 23733, Capítulo III, Art 22° inc. c), es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 1079-15, del alumno Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA, quién desarrollará el proyecto de Tesis, quién solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación, el mismo que propone al Ing. Johnny Jacha Rojas, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo VII, Art. 48° y 49° del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Único.- DESIGNAR, como Asesor de Tesis del alumno Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA, al Ing. Johnny Jacha Rojas, Docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

Regístrese, comuníquese, archívese



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CONSEJO DE FACULTAD
[Signature]
ING. GUSTAVO LEÓN TRUJILLO
SECRETARÍO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
[Signature]
Ing. Ricardo Saavedra García
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - EAPIA- Asesor - Exp. Graduando - Mat. y Reg. Acad. - File Personal - Interesado - Archivo.
RSG/GLT.

ANEXO 8. Resolución de aprobación del proyecto de trabajo de investigación

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 573-2015-CF-FI-UDH

Huánuco, 09 de diciembre de 2015

Visto, el Oficio N° 375-2015-P-CA-EAPIA-FI-UDH, del Coordinador de la EAP de Ingeniería Ambiental, referente al graduando **Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA**, de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, quien solicita Aprobación del Perfil de Tesis;

CONSIDERANDO:

Que, según Resolución N° 560-99-CO-UH, de fecha 06.09.99, se aprueba el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería, vigente;

Que, según el Oficio N° 375-2015-P-CA-EAPIA-FI-UDH, de la EAP de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, informa que el Perfil de tesis presentado por el graduando **Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA** ha sido aprobado; y

Que, según el Oficio N° 375-2015-P-CA-EAPIA-FI-UDH, del Presidente de la Comisión de Grados y Títulos de la EAP de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, informa que el recurrente ha cumplido con levantar las observaciones hechas por la Comisión de Grados y Títulos, respecto al Perfil de Tesis; y

Estando a lo acordado por el Consejo de Facultad de fecha 09 de diciembre de 2015 y normado en el Estatuto de la Universidad, Art. N° 44 inc. r).

SE RESUELVE:

Artículo Único.- APROBAR, el Perfil de Tesis intitulado: "OPTIMIZACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS ORGANICOS POR MEDIO DE LA UTILIZACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (Saccharomyces cerevisiae, Aspergillus sp., Lactobacillus sp.) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE EN LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CHAGLLA", presentado por el graduando **Sara Ana CAJAHUANCA FIGUEROA** de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CONSEJO DE FACULTAD
ING. GUSTAVO LEÓN TRUJILLO
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Ricardo Sachun García
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Distribución:
Fac. de Ingeniería - C EAPIA - CGT- Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
RSG/GLT