

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS  
DOMÉSTICOS EN COMPOSTERAS CIRCULARES PARA SU USO COMO  
ABONO ORGÁNICO**



**FREDY DANILO GONZÁLEZ MONTILLA  
JOSEPT FELIPE LÓPEZ MERA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
INGENIERÍA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2022**

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS  
DOMÉSTICOS EN COMPOSTERAS CIRCULARES PARA SU USO COMO  
ABONO ORGÁNICO**



**FREDY DANILO GONZÁLEZ MONTILLA  
JOSEPT FELIPE LÓPEZ MERA**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación como requisito para optar  
al título de Ingeniero Agropecuario.**

**Director:**

**I. Agrop. M.Sc Gustavo Adolfo Alegría Fernández  
I. A. M.Sc Consuelo Montes Rojas**

**Codirector:**

**I. Agrop. M.Sc. Marly Andreina Jiménez Chamorro**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA  
POPAYÁN  
2022**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han leído el presente trabajo, han escuchado la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

---

M. Sc Consuelo Montes Rojas

---

M. Sc. Gustavo Alegría Fernández

---

Presidente del jurado

---

Jurado

## DEDICATORIA

Primero que todo a Dios por permitirme alcanzar este tan anhelado triunfo en mi vida.

A mi madre Elsy Adelaida López, gracias por ser mi pilar, mi apoyo, contigo lo logré. Te dedico este trabajo de grado como honra por todo tu amor y paciencia y hacer de mí una persona de bien. A mi hermana María José que con su ternura y cariño me alentaban a continuar.

A mi tía Sandra Roció López y Mayeli López Por su compañía, consejos y palabras de apoyo constante que hicieron posible este objetivo.

A mi Abuelo Gonzalo López por su infinito amor y apoyo constante en este proceso, A mi abuela Dora quién me sigue con su bendición desde el cielo, mi gratitud siempre.

A mi novia Vivian Andrea Peñuela por ayudarme en momentos de desanimo, por su fe en mí, por su comprensión y su amor incondicional.

***Josept Felipe López Mera***

Esta tesis está dedicada a:

Primero a Dios, por darme el regalo de la vida y la fortaleza para cumplir este sueño, a mis padres Ovidio González y Rosa Elvira Montilla, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me ayudaron a finalizar una meta más en mi vida, a mis hermanos Marcela y Ancizar, a mi sobrina Sofia, por ser mi motivación y brindarme el apoyo en todo momento, finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis compañeros de carrera, por apoyarme cuando más las necesité, por extender su mano en momentos difíciles y por el afecto brindado cada día.

***Fredy Danilo González Montilla***

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios por brindarnos salud y vida, poniéndonos en esta profesión y culminándola con éxito.

A nuestras familias y seres amados quienes con su apoyo incondicional y amor representaron nuestra mayor fuente de inspiración.

Al alma mater de la Universidad del Cauca, docentes y administrativos por la enseñanza continua, por haber sido parte de nuestra formación académica y personal durante todo el recorrido de estos años y por hacer de nosotros personas integrales con valores y principios.

Al gran equipo que conforma el semillero y grupo de investigación para el desarrollo rural TULL, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, por el aval, acompañamiento durante todo el proyecto y su acompañamiento en esta etapa académica.

A nuestros directores: M. Sc. Consuelo Montes Rojas y M.Sc. Gustavo Adolfo Fernández por su disposición constante de orientar y motivar nuestra formación investigativa y por haber brindado su confianza en esta investigación.

A nuestra codirectora M.Sc Marly Andreina Jiménez Chamorro por su compromiso constante para transmitirnos su conocimiento y su apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A las familias participantes en esta investigación de los barrios Los Naranjos, Loma de la Virgen La paz y vereda El Hogar que hacen parte de la red de huertas urbanas y periurbanas agroecológicas por su compromiso, dedicación y responsabilidad ya que hicieron parte fundamental en este estudio.

A nuestros amigos y compañeros de estudio por todos y cada uno de los instantes compartidos, fueron y serán inolvidables.

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia de residuos sólidos orgánicos domésticos (RSOD) mediante composteras circulares a través del aprovechamiento de microorganismos eficientes para su utilización como abono orgánico, con el propósito de brindar una alternativa viable para el manejo y aprovechamiento de los RSOD producidos en los hogares de las familias pertenecientes a tres huertas urbanas y una periurbana del municipio de Popayán. El eje de acción de este trabajo se caracterizó por la implementación de herramientas de IAP (Investigación Acción Participativa) buscando optimizar los procesos de separación y disposición final de los RSOD en los hogares de las familias participantes. Se inició con una caracterización como línea base para conocer el tipo y la cantidad de residuos orgánicos que son generados, posteriormente se elaboró con las familias cuatro compostajes a partir de RSOD incorporando dos diferentes cantidades de aserrín de pino y microorganismos eficientes (EM), simultáneamente se realizó el seguimiento con la medición de variables tales como temperatura, pH, humedad, olor y color. Después se caracterizó el compost a través de un análisis físico químico para determinar su calidad según lo establecido por la norma técnica colombiana 5167 y su aporte nutricional para finalmente observar el efecto del abono orgánico en la producción de acelga.

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos y tres replicas donde el T0: 100% RSOD; T1: 50% RSOD + 50% aserrín de pino + EM; T2: 75% RSOD + 25% aserrín de pino + EM; T3: 100% RSOD + EM. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $P > 0,05$ ), algunos parámetros de los cuatro tratamientos que se elaboraron con residuos sólidos orgánicos domésticos en composteras circulares no están dentro del rango sugerido por la norma técnica colombiana sobre abonos orgánicos, entre ellos están los niveles de  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CICE y el pH del T3 no cumplen los requisitos mínimos exigidos por la NTC 5167 de 2004, sin embargo, los demás parámetros si se encuentran dentro de este rango. La utilización de un prototipo de compostera circular para realizar procesos de compostaje es una alternativa viable que mejora la disposición final de estos residuos, debido a que los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico en cada uno de los tratamientos fueron similares, lo que demuestra la eficiencia del prototipo utilizado en este ensayo.

Palabras clave: IAP, Residuos Sólidos Orgánicos Domésticos, Compostaje, Composteras circulares, microorganismos eficientes (EM), aserrín de pino.

## ABSTRACT

The general objective of this work was to evaluate the efficiency of domestic organic solid waste (RSOD) through circular compost bins through the use of efficient microorganisms for use as organic fertilizer, with the purpose of providing a viable alternative for the management and use of solid waste. RSOD produced in the homes of families belonging to three urban gardens and one peri-urban garden in the municipality of Popayán. The axis of action of this work was characterized by the implementation of IAP tools (Participatory Action Research) seeking to optimize the processes of separation and final disposal of RSOD in the homes of participating families. It began with a characterization as a baseline to know the type and amount of organic waste that is generated, later four composts were prepared with the families from RSOD incorporating two different amounts of pine sawdust and efficient microorganisms (EM), simultaneously the follow-up was carried out with the measurement of variables such as temperature, pH, humidity, odor and color. Then the compost was characterized through a physical chemical analysis to determine its quality as established by the Colombian technical standard 5167 and its nutritional contribution to finally observe the effect of organic fertilizer on chard production.

A completely randomized design with four treatments and three replicates was used where T0: 100% RSOD; T1: 50% RSOD + 50% pine sawdust + EM; T2: 75% RSOD + 25% pine sawdust + EM; T3: 100% RSOD + MS. The analysis of variance detected statistically significant differences between treatments ( $P > 0.05$ ), some parameters of the four treatments that were made with domestic organic solid waste in circular compost bins are not within the range suggested by the Colombian technical standard on organic fertilizers, among them are the levels of  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , CICE and the pH of T3 do not meet the minimum requirements demanded by NTC 5167 of 2004, however, the other parameters are within this range. The use of a circular composter prototype to carry out composting processes is a viable alternative that improves the final disposal of these residues, due to the fact that the results obtained from the physicochemical analysis in each of the treatments were similar, which demonstrates the efficiency of the prototype used in this test.

Keywords: IAP, Domestic Organic Solid Waste, Composting, Circular Composters, efficient microorganisms (EM), pine sawdust.

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE CUADROS	11
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO REFERENCIAL	14
1.1 LOCALIZACIÓN	14
1.2 MARCO TEÓRICO	14
1.2.2 Clasificación de los residuos sólidos.	15
1.2.3 Compostaje.	15
1.2.3.1 Fases del compostaje.	16
1.2.3.2 Parámetros para la elaboración del compostaje.	17
1.2.3.3 Sistemas de compostaje	19
1.2.4 Microorganismos eficientes.	21
1.2.4.1 Fundamentos históricos de microorganismos eficientes.	21
1.2.4.2 Importancia y beneficio de microorganismos eficientes.	21
1.2.4.3 Grupos de microorganismos eficientes.	22
1.2.4.4 Multiplicación de microorganismos benéficos presentes en el suelo.	22
1.2.5 Aserrín como sustrato para compostaje.	23
1.2.6 Agricultura urbana y periurbana.	23
1.2.7 Norma técnica colombiana 5167.	23
1.2.8. Descripción del cultivo de acelga ( <i>Beta vulgaris</i> L).	24
1.2.8.1. Taxonomía.	24
1.2.8.2. Descripción botánica.	24
1.2.8.3. Método de propagación.	24
1.2.8.4. Requerimientos Edafoclimáticos	24
1.2.8.5. Labores del cultivo.	25
1.2.8.6. Cosecha.	26
1.2.8.7. Plagas y enfermedades.	26
1.3 MARCO HISTÓRICO	27



1.3.1 Antecedentes.	27
2. METODOLOGÍA	29
2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.	29
2.1.1 Capacitación para la caracterización de RSOD.	29
2.1.2 Entrega de las composteras circulares y capacitación de manejo.	30
2.1.3 Capacitación en preparación de microorganismos eficientes	30
2.1.4 Capacitación en registro y toma de variables.	31
2.1.4.1 Temperatura:	32
2.1.4.2 Potencial de Hidrógeno (pH):	32
2.1.4.3 Humedad:	33
2.1.4.4 Olor:	33
2.1.4.5 Color	34
2.1.5. Toma de muestra y análisis de laboratorio.	34
2.1.6. Implementación de un cultivo de ciclo corto.	35
2.1.6.1. Prácticas culturales:	36
2.1.6.2. Variables evaluadas:	37
2.1.6.3. Cosecha:	37
2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	38
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3.1 RESULTADOS DE LAS CAPACITACIONES	39
3.1.1 Caracterización de RSOD.	39
3.1.2 Entrega de composteras.	39
3.1.3 Obtención de microorganismos eficientes	40
3.1.4 Toma y registro de variables	40
3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPOST PROVENIENTE DE RSOD.	44
3.3 PRODUCCIÓN DE ACELGA ( <i>Beta Vulgaris</i> var. Penca blanca).	51
4. CONCLUSIONES	55
5. RECOMENDACIONES	56
ANEXOS	70

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Ubicación de las huertas en la ciudad de Popayán.	14
<b>Figura 2.</b> Compostera horizontal o discontinua.	20
<b>Figura 3.</b> Capacitación para la caracterización de RSOD.	29
<b>Figura 4.</b> Entrega de las composteras circulares y capacitación de manejo.	30
<b>Figura 5.</b> Capacitación en preparación de microorganismos eficientes..	31
<b>Figura 6.</b> A) y B) Toma y registro de temperatura.	32
<b>Figura 7.</b> A) y B) Toma y registro de pH.	32
<b>Figura 8.</b> A) y B) Toma y registro de humedad.	33
<b>Figura 9.</b> A) y B) Toma y registro de olor.	34
<b>Figura 10.</b> Toma y registro de color. A) color original. B) color marrón.	34
<b>Figura 11.</b> Toma de muestras para análisis de laboratorio.	35
<b>Figura 12.</b> A) construcción de las unidades experimentales. B) aplicación de cal dolomita	35
<b>Figura 13.</b> A) incorporación del compost. B) siembra de las pantas de acelga.	36
<b>Figura 14.</b> A) deshierba y aporque. B) aplicación de biopreparados.	37
<b>Figura 15.</b> Composteras circulares.	40
<b>Figura 16.</b> Tendencia de la temperatura en los cuatro tratamientos.	41
<b>Figura 17.</b> Tendencia del pH en los cuatro tratamientos.	42
<b>Figura 18</b> Tendencia de la valoración de humedad en los cuatro tratamientos.	43
<b>Figura 19.</b> Tendencia en la calificación del olor en los cuatro tratamientos.	43
<b>Figura 20.</b> Tendencia de la valoración del color en los cuatro tratamientos.	44
<b>Figura 21.</b> Valores obtenidos de materia orgánica en los cuatro tratamientos.	47
<b>Figura 22.</b> Valores obtenidos de carbono orgánico en los tratamientos.	48
<b>Figura 23.</b> Valores obtenidos de nitrógeno en los cuatro tratamientos.	49
<b>Figura 24.</b> Valores obtenidos de fósforo en los cuatro tratamientos.	49
<b>Figura 25.</b> Valores obtenidos de potasio en los cuatro tratamientos.	50
<b>Figura 26.</b> Valores obtenidos de pH en los cuatro tratamientos.	50
<b>Figura 27.</b> Valores obtenidos de CICE en los cuatro tratamientos.	51
<b>Figura 28.</b> Promedios de las variables evaluadas al final del ciclo de producción.	51
<b>Figura 29.</b> Promedios de cada tratamiento para la variable peso de plantas.	52
<b>Figura 30.</b> Promedios de cada tratamiento para la variable número de hojas.	53
<b>Figura 31.</b> Promedios de cada tratamiento para la variable infestación de plagas.	53
<b>Figura 32.</b> Promedios de cada tratamiento para la variable incidencia de enfermedades.	53

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Clasificación de residuos sólidos.	15
<b>Cuadro 2.</b> Rangos de temperatura en las diferentes fases de compostaje.	17
<b>Cuadro 3.</b> Rangos de pH en las diferentes fases del compostaje.	18
<b>Cuadro 4.</b> Porcentaje de humedad en las diferentes fases del compostaje.	18
<b>Cuadro 5.</b> Tratamientos y variables de respuesta para la evaluación de la eficiencia de los RSOD en composteras circulares para su uso como abono orgánico.	38
<b>Cuadro 6.</b> Peso de RSOD durante 7 días en las familias participantes.	39
<b>Cuadro 7.</b> Parámetros químicos del compost.	45
<b>Cuadro 8.</b> Valores medios de los parámetros químicos obtenidos a partir de un compost de Residuos Sólidos Orgánicos Domésticos.	46

## ANEXOS

	Pág.
<b>Anexo A.</b> Encuesta de identificación sobre la generación de RSOD en las familias participantes.	70
<b>Anexo B.</b> Planilla de registro de variables en el proceso de compostaje.	71
<b>Anexo C.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para materia orgánica.	72
<b>Anexo D.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para carbono orgánico.	73
<b>Anexo E.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para nitrógeno.	74
<b>Anexo F.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para fósforo.	75
<b>Anexo G.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para potasio.	76
<b>Anexo H.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para pH.	77
<b>Anexo I.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para ClCe.	78
<b>ANEXO J.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para peso de las plantas.	79
<b>Anexo K.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para número de hojas.	80
<b>Anexo L.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para infestación de plagas.	81
<b>Anexo M.</b> Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para incidencia de enfermedades.	82
<b>Anexo N.</b> Registro en campo de peso de las plantas y número de hojas con sus tres repeticiones durante todo el ciclo de siembra de los tratamientos T0 al T3.	83
<b>Anexo O.</b> Registro en campo del número de plantas afectadas por plagas y enfermedades durante todo el ciclo de siembra en las tres repeticiones de los cuatro tratamientos.	84

## INTRODUCCIÓN

El notable crecimiento de la población mundial ha tenido como consecuencia el aumento desmesurado de residuos sólidos orgánicos originados en las ciudades, los cuales se deben básicamente a los hábitos de consumo de las personas, la disposición incorrecta de estos, la falta de concientización ambiental por parte de las comunidades y el alto índice de inseguridad alimentaria. Estas características se hacen presentes en América Latina y el Caribe (ALC), donde aproximadamente el 83% de la población es urbana (UNEP, 2016). En Colombia la generación per cápita de residuos sólidos orgánicos para el año 2019 fue de 536 kg/habitante, de los cuales más del 50% están constituidos por residuos sólidos orgánicos (DANE, 2021). En el caso específico del municipio de Popayán, la producción per cápita de residuos sólidos domiciliarios se estimó en 0,84 kg/habitante/día (Alcaldía de Popayán, 2016). Por tal motivo es fundamental buscar una alternativa que ayude a realizar un manejo adecuado de estos residuos, minimizando el impacto al ambiente y potencializando los productos finales de estos procesos que conlleven a la sostenibilidad de los recursos.

El aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos tiene actualmente varias alternativas, entre las que se destacan la alimentación animal, el lombricultivo y el compostaje, este último representa múltiples beneficios para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Puerta, 2014). Una de las estrategias es el compostaje urbano, utilizando composteras circulares que tiene como ventaja una buena distribución de la humedad debido a su facilidad para el volteo, generando un producto más uniforme (FAO, 2013). Actualmente existe un gran interés en la agricultura urbana de producir abonos a partir de residuos orgánicos domésticos (Tendero y Guyo, 2019).

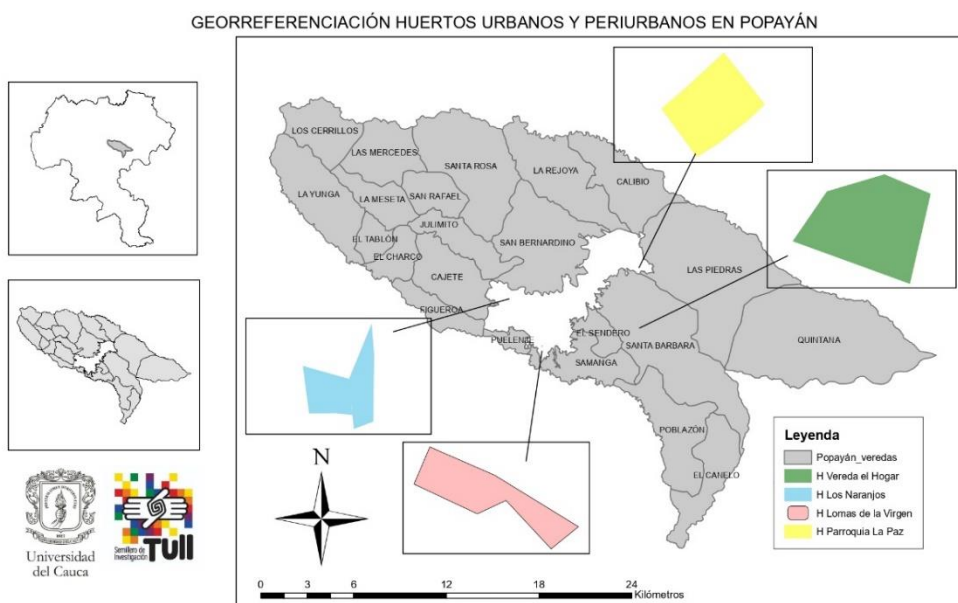
En esta investigación se propuso como objetivo general evaluar la eficiencia de residuos sólidos orgánicos domésticos en composteras circulares a través del aprovechamiento de microorganismos eficientes para su uso como abono orgánico, mediante la implementación de instrumentos de Investigación acción participativa (IAP) con el propósito de evaluar el compost obtenido en el prototipo de compostera circular como alternativa de compostaje de RSOD en las huertas urbanas y periurbanas del municipio de Popayán. Para el logro de este objetivo se propusieron los siguientes objetivos específicos: realizar seguimiento del proceso de compostaje mediante la medición de parámetros como pH, temperatura, humedad, olor y color; realizar la caracterización del compost con RSOD por medio de un análisis fisicoquímico para determinar la calidad del abono según lo sugerido por la NTC 5167 y observar la respuesta de la aplicación del compost utilizando como indicadores plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. Penca blanca).

# 1. MARCO REFERENCIAL

## 1.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se llevó a cabo en el municipio de Popayán-Cauca, Colombia, que se encuentra ubicada a una altitud de 1.738 m.s.n.m, con una temperatura media de 19°C, localizada a 2°27´ norte y 76°37´18" de longitud oeste, específicamente en las huertas urbanas de la ciudad, ubicadas en los barrios La Paz, Loma de la Virgen, los Naranjos y en la huerta periurbana ubicada en la vereda El Hogar (Figura 1).

**Figura 1.** Ubicación de las huertas en la ciudad de Popayán.



## 1.2 MARCO TEÓRICO

**1.2.1. Residuos sólidos.** Para González, (2016) los residuos sólidos son todos aquellos materiales que han culminado su vida útil tras haber realizado un proceso de fabricación, transformación y utilización. Los residuos sólidos son considerados sustancias, materiales u objetos en estado sólido derivados de una actividad productiva del intercambio de bienes y servicios de consumo, que su productor retira o entrega para ser separados de los desechos, por que posee un valor monetario o

de reutilización y por ende podrá ser incluido a un proceso de producción distinto a la actividad generadora (Montes, 2018).

**1.2.2 Clasificación de los residuos sólidos.** Existen diversas clasificaciones de residuos sólidos, en el cuadro 1, se describe la adaptada por Puerta, (2004).

**Cuadro 1.** Clasificación de residuos sólidos.

Clasificación	Tipo de residuo
Según su uso y disposición final	<p><b>Residuos reciclables:</b> son aquellos que son aptos de transformarse como insumo inicial para bienes nuevos como por ejemplo cartón, papel, vidrio, etc.</p> <p><b>Residuos orgánicos:</b> Estos residuos tienen la capacidad de biodegradarse transformándose en materia orgánica, la cual puede ser utilizada como abono orgánico por medio de un proceso de compostaje. Un ejemplo de ello lo constituyen las frutas, verduras, estiércol de animales y maderas.</p> <p><b>Desechos:</b> son aquellos que culminan su vida útil tras ser utilizados por lo cual deben ser desechados, por ejemplo, empaques de alimentos contaminados, pañales y papel higiénico entre otros.</p>
Según su grado de descomposición	<p><b>Biodegradables:</b> son aquellos que se descomponen fácilmente en el ambiente por acción de los microorganismos, un ejemplo de ello lo constituye el cartón.</p> <p><b>No biodegradables:</b> a este grupo pertenecen los que no se descomponen por la acción de los microorganismos porque están formados por recursos no renovables como por ejemplo el plástico que es un derivado del petróleo.</p>
Según su origen	De acuerdo con el origen de los residuos se clasifican en: domésticos, comercial, institucional, construcción y demolición, servicios municipales, zonas de planta de tratamiento, industriales y agrícolas.

Fuente: adaptado de Puerta, 2004.

**1.2.3 Compostaje.** El compostaje es un proceso biológico que ocurre en condiciones aeróbicas, es decir, en presencia de oxígeno, con una adecuada humedad y temperatura se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y biodisponible para las plantas. A lo largo de este proceso existe una serie de interacciones de poblaciones microbianas que tienen la capacidad de descomponer la materia orgánica a formas biológicamente estables como el humus. Para la elaboración del compostaje se deben tener en cuenta sus fases, los parámetros de medición y los sistemas para su transformación (FAO, 2013). En el compostaje existen distintos agentes microbianos que se

encargan de transformar la materia orgánica, por consiguiente, es fundamental referirse a los parámetros fisicoquímicos y biológicos que influyen sobre su metabolismo con el propósito de aumentar la biodegradación de residuos usados para la elaboración de un producto estable de excelente calidad química y biológica (Bohórquez, 2019).

**1.2.3.1 Fases del compostaje.** El compostaje comprende 4 fases las cuales se indican a continuación:

**Fase mesófila.** En cuanto a la fase mesófila, la temperatura se encuentra con valores medioambientales hasta aproximadamente 8 días, cuando los microorganismos comienzan a multiplicarse la temperatura aumenta rápidamente llegando a los pocos días de iniciar el proceso hasta los 45°C (Bohórquez, 2019). Tal y como afirma Docampo, (2013) esto se debe a la microbiota presente, la cual utiliza las fuentes de carbono y nitrógeno para liberar energía en forma de calor y se encarga de descomponer fácilmente materiales orgánicos como azúcares, almidones y proteínas.

**Fase Termófila o de Higienización.** Según Bohórquez, (2019) la temperatura puede llegar a alcanzar valores de 70 a 80°C, debido a que se presenta un incremento de la acción microbiana. Los microorganismos que se presentan son termófilos. Al llegar a los 60°C, los hongos termófilos interrumpen su acción y empiezan a desarrollarse reacciones de oxidación por acción de bacterias formadoras de esporas y por los actinomicetos. De igual manera la FAO, (2013) afirma que en esta fase se pueden alcanzar temperaturas superiores a los 45°C, por lo cual desaparece la microfauna que no tiene la capacidad de resistir altas temperaturas y son reemplazados por microorganismos que resisten mayores temperaturas como los hongos actinomicetos, que fácilmente pueden descomponer cadenas de carbono complejas como lignina, celulosa y hemicelulosa. El tiempo de duración de esta etapa puede ser de varias semanas e incluso hasta meses, esto va a depender de algunos factores claves como las condiciones ambientales, las propiedades del sustrato y el sistema de compostaje.

**Fase de Enfriamiento o Mesófila II.** Cuando las fuentes principales de energía como el nitrógeno y el carbono se empiezan a agotar, la temperatura comienza a bajar hasta los 40°C. En esta fase se produce la colonización de microorganismos mesófilos al disminuir la temperatura y el pH del sustrato se conserva en valores alcalinos (Quevedo, 2019).



**Fase de Maduración.** Esta es la fase final del proceso de compostaje, en la cual se presenta un proceso de fermentación lenta que puede llegar a durar hasta dos meses, en el que la parte menos biodegradable de la materia orgánica se va descomponiendo. El reconocimiento se realiza teniendo en cuenta el color, que debe ser oscuro, el olor no desagradable y la textura suave (Inga, 2018).

**1.2.3.2 Parámetros para la elaboración del compostaje.** Para un adecuado compostaje, existen algunos parámetros que intervienen en el proceso biológico, a los cuales se les debe realizar un seguimiento y medición ya que es una actividad de diversas etapas. Entre los factores más importantes están:

**Temperatura.** La fase inicial del compostaje comienza con una temperatura ambiente y a medida que las poblaciones mesofílicas se reproducen, esta crece rápidamente. Los ácidos orgánicos de cadenas cortas son los primeros productos que se forman y que son las principales causales de la disminución del pH (Campitelli *et al.*, 2016). A temperaturas superiores a 40°C la actividad de microorganismos mesofílicos se interrumpe y empieza la etapa termofílica, la cual puede subir hasta valores cercanos a los 70°C como resultado de la actividad metabólica de los microorganismos aeróbicos que liberan CO<sub>2</sub>, agua en forma de vapor y energía en forma de calor. La temperatura máxima ideal es de 65°C porque a esta temperatura los microorganismos patógenos y semillas de plantas espontáneas mueren, para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente (cuadro 2). Es conveniente que la temperatura no disminuya rápido, ya que, a menor temperatura y tiempo, menor será la velocidad de descomposición y habrá menor higienización (FAO, 2013).

**Cuadro 2.** Rangos de temperatura en las diferentes fases de compostaje.

<b>Fases de Compostaje</b>	<b>Rangos de Temperatura (°C)</b>
Mesófila	Temperatura ambiente – 45°C
Termófila	45°C - 70°C
Mesófila II	70°C - 40°C
Estabilización	40°C - Temperatura ambiente

Fuente: FAO, (2013).

**Potencial de hidrogeno (pH).** El pH es la medida de la concentración de iones hidronio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>) presentes en una disolución (también se suele hablar de protones, H<sup>+</sup>). El material de procedencia inicial tiene influencia sobre la variación del pH en cada etapa del proceso oscilando en rangos desde 4,5 a 8,5 (cuadro 3). Este es uno de los parámetros químicos más importantes para medir la evolución de un

compostaje, el cual comprende 3 fases. Durante la fase mesófila el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos producto de la acción de los microorganismos sobre el material orgánico, en la segunda fase hay una conversión de amonio a amoniaco producida por la descomposición de proteínas y en la última fase el pH tiende a la neutralidad por la formación de compuestos húmicos. La mayor actividad bacteriana se produce a pH entre 6,0 y 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH entre 5,5 y 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2 (FAO, 2013).

**Cuadro 3.** Rangos de pH en las diferentes fases del compostaje.

Fases de compostaje	Rangos de pH
Mesófila	4.5 – 7.0
Termófila	4.5 – 8.5
Mesófila II	8.5 – 6.5
Estabilización	6.5 – 8.5

Fuente: FAO, (2013).

**Humedad.** La humedad en el compost va a depender del sistema utilizado de compostaje, del estado físico y del tamaño de partícula, teniendo un valor óptimo alrededor del 55% (cuadro 4). La cantidad de agua presente en el compostaje está estrechamente relacionada con la actividad metabólica de los microorganismos ya que estos solo pueden utilizar las moléculas orgánicas que se encuentran disueltas en el medio, por lo tanto, la eficiencia biológica decrece cuando la humedad está por debajo de 45%, por el contrario, con valores de humedad mayores al 60% se afecta la oxigenación del material ya que se saturan los poros y se inhibe el desarrollo de microorganismos aeróbicos lo cual causa putrefacción en el material (FAO, 2013).

**Cuadro 4.** Porcentaje de humedad en las diferentes fases del compostaje.

Fases de compostaje	Porcentaje de humedad
Mesófila	50% - 60%
Termófila	45% - 55%
Mesófila II	30% - 40%
Estabilización	30% - 40%

Fuente: FAO, (2013).

**Intercambio de gases.** Los microorganismos que hacen parte del proceso de descomposición de la materia orgánica y su posterior transformación en humus en su mayoría son aerobios, es por este motivo que es necesario la incorporación de oxígeno con la ayuda de volteos manuales o mecánicos, o a través de la adición de aire forzado al interior de las pilas. Al disminuir la disponibilidad de oxígeno, se disminuye el desarrollo de los microorganismos aerobios, se reduce la velocidad de transformación de los residuos y aumenta la generación de malos olores debido a que una aireación insuficiente genera exceso de humedad provocando la sustitución de microorganismos aerobios por anaerobios. Estos después de un proceso metabólico producen compuestos orgánicos volátiles amoniacales (Bohórquez 2019).

**Relación Carbono-Nitrógeno (C/N).** La relación C/N está determinada por el estado químico del material y por consiguiente la velocidad de su descomposición. Se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de carbono sobre el contenido de nitrógeno total de los materiales a compostar. Esta relación se modifica a lo largo del proceso, sosteniendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1 (FAO, 2013). La relación ideal entre el C y N para cualquier material orgánico se encuentra entre 25–35; índices de esta naturaleza son indicadores de una eficiente descomposición. Cuando el valor es menor a este rango se pierde N por volatilización (en forma de  $\text{NH}_3$ ) y cuando el valor es más alto la velocidad de descomposición es más lenta ya que existe mayor disposición de carbono y deficiente cantidad de nitrógeno que permita la actividad proteica de los microorganismos (Maqqe, 2018).

**Tamaño de partículas.** El tamaño de las partículas del material orgánico está directamente relacionado con la actividad de los microorganismos, ya que, puede facilitar o dificultar el acceso de estos al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 2 a 5 cm, si las partículas son demasiado pequeñas el transporte de aire se dificulta, inhibiendo la presencia de oxígeno disponible para los microorganismos y en consecuencia la reducción de la actividad metabólica (López & López, 2018). Tal y como lo afirma Campitelli *et al.*, (2016) se debe mantener un óptimo balance en el mantenimiento de una adecuada porosidad indispensable para una buena aireación y una superficie específica para el ataque de microorganismos.

**1.2.3.3 Sistemas de compostaje.** A continuación, se describen algunos sistemas de compostaje:

**Sistema cerrado.** En este sistema el proceso de compostaje se ejecuta en un recipiente cerrado, asegurando un mayor seguimiento sobre la temperatura, la tasa

de aireación y la emisión de gases (Ruiz, 2019). El sistema cerrado comprende dos tipos:

- **Compostera vertical o continua:** la compostera reposa sobre su base y se denomina continua porque el material se puede ir introduciendo por la parte superior de la misma, permitiendo un proceso continuo. Esto solo podrá producirse así, si el sistema cuenta con una técnica de aireación artificial, ya que si se ha de voltear será imposible la producción continua de compost (Ruiz, 2019).
- **Compostera horizontal o discontinua:** la disposición horizontal es aquella en la que el recipiente descansa sobre su eje longitudinal (en una caneca plástica de 55 galones, la longitud es de 90 cm). Se le llama compostera horizontal o discontinuo porque es un proceso que se realiza por cargas, una vez que se carga la compostera, se debe permitir que el proceso de compostaje finalice para extraer el material antes de introducir una nueva carga. Una de las ventajas de este sistema es que tiene una alta distribución de la humedad y de la compactación debido a su facilidad para el volteo, generando un producto más uniforme (FAO, 2013) (Figura 2).

**Figura 2.** Compostera horizontal o discontinua.



**Sistema abierto.** En los sistemas abiertos los residuos se colocan en forma de pilas o parvas de tamaño considerable (Campitelli *et al.*, 2016). Para Ruiz, (2019) este tipo de sistema esta derivado del proceso original del compostaje al aire libre, bajo

este modelo hay dos tipos de compostaje, el sistema en pila que se basa en disponer los residuos en forma de montón, este puede cubrirse con compost maduro para facilitar su elaboración, minimizando así la emisión de malos olores y la pérdida de temperatura de la pila, por otro lado está el sistema de compostaje en hilera que es una variante del compostaje en pila en el cual el material compostado se coloca en forma rectangular o triangular.

**1.2.4 Microorganismos eficientes.** Los microorganismos eficientes o EM son microorganismos benéficos que se desarrollan en un entorno natural y que fisiológicamente pueden interactuar entre si generando antagonismo frente agentes patógenos (Morocho & Leiva, 2019). Los grupos representativos de EM son: bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas, actinomicetos, levaduras y hongos fermentadores. La actividad microbiana va a determinar la calidad y duración del proceso de compostaje, en cuanto a la cantidad de unidades formadoras de colonia (UFC) va a depender del efecto significativo del pH y de la temperatura, a esta última se le ha atribuido las fases del compost, demostrando también que entre cada fase la variación del microbiota presente es muy grande (Bedoya *et al.*, 2012).

**1.2.4.1 Fundamentos históricos de microorganismos eficientes.** Los primeros estudios sobre microorganismos eficientes comenzaron en la década de los 60, sin embargo, la tecnología EM fue desarrollada por el doctor Teruo Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa Japón en los años 70. El profesor decidió iniciar la búsqueda de modelos alternativos en los sistemas agrícolas que reemplazaran los fertilizantes y pesticidas de síntesis química por los cuales había sufrido efectos nocivos cuando inicio su carrera de docencia (Quispe y Chávez, 2017). En sus pruebas experimentales juntó alrededor de unas 2000 especies de microorganismos, 80 de las cuales tuvieron efectos eficaces. Por accidente el doctor colocó una mezcla de los EM en arbustos pequeños y al cabo del tiempo observó un estímulo importante en el crecimiento de estos. En el año 1982, el profesor presentó una formula comercial la cual ha sido investigada, desarrollada y aplicada como una estrategia multidimensional a sistemas agropecuarios y ambientales conocida como EM (Camones y Noemi, 2015).

**1.2.4.2 Importancia y beneficio de microorganismos eficientes.** En Distintas investigaciones se ha confirmado que gracias a la descarga de microorganismos eficientes activos se ha podido aumentar el contenido nutricional del material orgánico, fortalecer la resistencia de las plantas al ataque de enfermedades y mejorar la calidad del recurso hídrico (Campo *et al.*, 2014). Los EM han demostrado que tienen efectos positivos para el manejo de aguas negras, disminuyendo la presencia de malos olores, en el tratamiento de desechos sólidos y líquidos producidos por las actividades productivas, en la industria alimentaria y en las plantas de beneficio municipales (Luna y Mesa, 2016).

**1.2.4.3 Grupos de microorganismos eficientes.** Los EM se pueden agrupar de la siguiente manera:

**Bacterias ácido lácticas:** estas bacterias producen ácido láctico a partir de la fermentación de los carbohidratos producidos por las bacterias fototrópicas y levaduras, también ayudan a la descomposición de carbohidratos estructurales como la lignina y la celulosa (Inga, 2018). Las bacterias ácido lácticas muestran efecto antagónico frente a diferentes agentes fitopatógenos como el *Fusarium* spp y los nematodos causantes de enfermedades en los cultivos afectando directamente su desarrollo y crecimiento (Luna y Mesa, 2016).

**Levaduras:** son considerados hongos unicelulares de forma globular, de fácil manipulación y reproducción (Valdivieso, 2013). La levadura más representativa a nivel mundial es *Saccharomyces cerevisiae* debido a su versatilidad metabólica porque tienen la capacidad de producir hormonas y enzimas que generan activación celular, como parte de su metabolismo produce etanol el cual en elevadas concentraciones puede tener propiedades antifúngicas (Morocho y Leiva, 2019).

**Hongos fermentadores:** los grupos más representativos de estos hongos son: *Aspergillus oryzae*, *Penicillium* sp, *Trichoderma* sp y *Mucor hiemalis*. Los hongos de fermentación actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica produciendo alcohol y sustancias antimicrobianas. La reproducción de estos hongos puede darse tanto de manera sexual por medio de esporas en condiciones desfavorables, como asexualmente que les permite reproducirse de una manera más rápida bajo condiciones favorables como en presencia de materiales ácidos y ricos en carbono (Yang *et al.*, 2017).

**Actinomicetos o actinobacterias:** es un grupo variado de bacterias filamentosas con cierta similitud a los hongos y que funcionan como agentes inhibidores de hongos y bacterias fitopatógenas, las cuales tienen la capacidad de atravesar la pared celular de las plantas. La producción de compuestos antifúngicos por parte de los actinomicetos como mecanismo de control biológico para mitigar el crecimiento micelial de varios hongos y bacterias patógenas de las plantas, tiene una amplia importancia en los procesos de compostaje y formación de suelos (Vurukonda *et al.*, 2018).

**1.2.4.4 Multiplicación de microorganismos benéficos presentes en el suelo.** Para lograr condiciones favorables en un sistema de compostaje con microorganismos eficientes y alcanzar niveles óptimos nutricionales y microbiológicos, es necesario disminuir el tiempo de obtención del abono orgánico

(Bejarano y Delgadillo, 2007). Los microorganismos benéficos favorecen un ambiente aeróbico del material orgánico, previniendo la aparición de malos olores provocados por la presencia de gases sulfurosos o amoniacales (Soriano, 2016). Para optimizar la productividad del suelo y los procesos de compostaje se debe hacer un manejo controlado de las condiciones ambientales de las bacterias, hongos y actinomicetos para que estos puedan proporcionar materia orgánica rica en nutrientes (Cocachi, 2008).

**1.2.5 Aserrín como sustrato para compostaje.** El aserrín es considerado como un conjunto de partículas obtenido a partir del aserrado de madera, incluyendo partículas muy pequeñas (polvillo) y viruta que es un trozo de madera con forma de lámina curvada o en espiral. Se considera un material que tiene una alta relación C/N con aproximadamente un 56,6% de carbono, teniendo en cuenta el peso total libre de humedad y ceniza (Serret *et al.*, 2016). El aserrín de pino (*Pinus* sp) resulta del proceso de aserrado en las industrias madereras y es considerado con buenas condiciones para ser utilizado como sustrato. El tamaño de partículas define las propiedades físicas del aserrín y es recomendable que entre el 20-40% sean menores a 0,8 mm. Es un sustrato liviano con una densidad aparente de 0,1 a 0,45 g/cm<sup>3</sup>, cuenta con una porosidad superior al 80%, la retención de agua es de baja a media y cuenta con una adecuada aireación (Pineda *et al.*, 2012).

**1.2.6 Agricultura urbana y periurbana.** Desde la posición de la FAO, (2019) se expresa que la agricultura urbana se divide en 2 dimensiones, en agricultura intraurbana desarrollada en espacios urbanos y en agricultura periurbana desarrollada en espacios delimitados alrededor de la ciudad. Por lo anterior, la FAO describe la agricultura urbana y periurbana como prácticas que tienen una connotación de múltiples dimensiones. En un primer momento posee una dimensión agronómica por la producción de alimentos agrícolas y de origen animal, además de tener una fuerte incidencia sobre las políticas públicas y la planificación urbana, el fortalecimiento de la seguridad alimentaria de las personas y, por último, puede representar una forma de emprendimiento y de fomento a la economía circular y educación ambiental hacia la sociedad urbana. De acuerdo con Hernández, (2011) la agricultura urbana y agricultura periurbana (APU) está representada por un nivel alto de interdisciplinariedad, tanto de conocimiento tradicional como la articulación de nuevos productores, por este motivo, es fundamental introducir herramientas de participación que permitan amplificar y fortalecer a los sistemas de producción y a los propios productores, contribuyendo a mejorar su calidad de vida y el aumento de la producción de sus espacios productivos.

**1.2.7 Norma técnica colombiana 5167.** Con el fin de comprender la calidad y las características de los productos orgánicos agrícolas utilizados como fertilizantes, Icontec e ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) han diseñado un método de

prueba para la determinación cuantitativa de macronutrientes y micronutrientes. El propósito de la norma NTC 5167 es establecer los requisitos que deben cumplirse y las pruebas por las que deben pasar los productos orgánicos utilizados como fertilizantes y enmiendas de suelo. Según esta norma, los parámetros a caracterizar son una humedad máxima del 35%, para materiales vegetales; al menos 15% de carbono orgánico oxidable, N total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O declararlos si cada uno es mayor de 1%. Los parámetros basados en la garantía de humedad son: humedad máxima (%), nitrógeno total (%) y otros como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, carbono orgánico oxidable y K<sub>2</sub>O, además de parámetros como pH, CICE, relación C/N (ICONTEC, 2004).

**1.2.8. Descripción del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L).** Según Redín, (2009) citado por Soria, (2015) la acelga proviene de la región del Mediterráneo oriental, conocida desde hace aproximadamente 2500 años, esta fue introducida por los españoles a América Latina en el año de 1806. Es conocida principalmente como un alimento altamente digestible.

**1.2.8.1. Taxonomía.** La acelga es perteneciente a la familia Quenopodiaceae; especie, *Beta vulgaris* L, en algunas zonas es conocida con los nombres de remolacha forrajera, espinaca perpetua y/o remolacha marina (Soria, 2015).

**1.2.8.2. Descripción botánica.** Según Costa, (2015) la acelga posee un sistema radicular bastante profundo y fibroso; sus hojas son grandes de forma ovalada y suavemente acorazonadas, con peciolo y nervadura central ampliamente desarrollados que se extienden en el limbo, un color uniforme que abarca una gran gama de verdes dependiendo de la variedad; en algunas zonas cuando la planta está en su etapa de floración, el tallo puede llegar a alcanzar una altura de 1,5 m; tras un periodo de temperaturas bajas florecen solas o en grupo de dos o tres, con cáliz de color verde conformados por 5 pétalos y 5 sépalos y su fruto contiene en su interior 3 o 4 semillas.

**1.2.8.3. Método de propagación.** Según Vallejo, (2013) los semilleros en invernaderos son comunes para germinar las semillas, para trasplantarlas cuando desarrollan de cuatro a cinco hojas. De esta manera es viable trasponer las plantas al sitio definitivo de cultivo con treinta días de adelanto en relación con las plantas de siembra directa.

**1.2.8.4. Requerimientos Edafoclimáticos.** La acelga es una planta que se caracteriza por su rusticidad. Tolerancia temperaturas bajas conservando su calidad foliar y temperaturas altas de hasta 35°C. Es un cultivo que se adapta a diferentes tipos de suelos, aunque tiene preferencia por los suelos sueltos y con altos



contenidos de materia orgánica, por tal motivo es necesario utilizar compost maduro previo a la siembra. Soporta poco la acidez, pero bastante la salinidad del suelo (Goites, 2008).

**1.2.8.5. Labores del cultivo.** Según lo propuesto por Vallejo, (2013) las labores más importantes para realizar en el cultivo de acelga son:

**Preparación del terreno:** para la preparación del terreno es necesario hacer un arado profundo en el cual se puede incorporar material orgánico. Posteriormente se debe realizar de una a dos pasadas de rastra con el propósito de distribuir uniformemente el abono y dejar el suelo suelto. La preparación del suelo será diferente teniendo en cuenta la forma de recolección de la acelga, se cultiva en surcos o en camas cuando la cosecha se hace por cortes de hojas y cuando se cosecha por plantas enteras preferiblemente se debe cultivar en camas.

**Siembra:** para realizar la siembra es preferible hacerlo en semillero, cama o en bandejas (pilón), debido a que se puede asegurar hasta el 98% del prendimiento en el momento del trasplante, se puede realizar la siembra durante todo el año, con una distancia entre surcos de 0,5 a 0,6 m y entre plantas de 0,25 m, con un tiempo de madurez de 55-65 días.

**Escardas y aporque:** la escarda se realiza con el propósito de hacer un adecuado control de malezas y descompactar el suelo, en seguida se realiza el aporque con el objetivo de dar soporte a las plantas.

**Fertilización:** para disminuir los costos de producción y mejorar los rendimientos del cultivo de acelga, se recomienda utilizar abonos orgánicos como compost, bocashi y estiércol de animales preparados en la misma finca. En el caso de la fertilización química se debe hacer teniendo en cuenta el análisis de suelo en el que se supla los requerimientos del cultivo. El rápido crecimiento del cultivo de acelga exige niveles altos de nitrógeno y potasio en el suelo y por este motivo es necesario contar con un producto rico en estos elementos.

**Riego:** debido a su gran masa foliar la acelga es un cultivo que requiere constante humedad en el suelo, para que la planta no presente deshidratación y los tejidos pierdan turgencia, desarrollándose así una planta de buena calidad. Es importante destacar que un exceso de humedad puede llegar a generar la presencia de diversas enfermedades ocasionadas por hongos.

**1.2.8.6. Cosecha.** La cosecha se puede hacer a partir de los 75 días tras la siembra dependiendo de la variedad utilizada, sin embargo, las máximas producciones se pueden lograr a los 90 días después de la siembra. La recolección se hace de forma manual y escalonada cortándose las hojas que estén bien abiertas evitando causar daño a la zona de crecimiento para que así la planta continúe la producción de hojas Flores, (2007) citado por Carrera, (2015). El peso comercial de la planta entera está entre 0,75 y 1 Kg, la extensión de las hojas es una guía del momento óptimo de la cosecha, este debe estar alrededor de los 25 cm (Morales, 2012).

**1.2.8.7. Plagas y enfermedades.** Para Redin, (2009) las plagas y enfermedades más comunes que atacan el cultivo de la acelga son:

**Mosca blanca (orden homóptera):** es un insecto chupador que se encarga de extraer la savia de la planta causando lesiones por las cuales ingresan agentes fitopatógenos que pueden ocasionar la muerte de la planta. La mosca blanca se puede encontrar en grandes colonias sobre las hojas y son importantes en la transmisión de enfermedades causadas por virus.

**Minador de la hoja:** este insecto forma túneles ondulados al interior de las hojas de la planta, causando debilitamiento y disminuyendo el área fotosintética. Se puede implementar un control biológico a base de *Metharrizium anisopliae* para inhibir la incidencia de esta plaga.

**Gusano biringo (*Agrotis ípsilon hufnagel*):** afectan principalmente hojas raíces y tallos en general a los tejidos nuevos. Para hacer un control preventivo se recomienda hacer una adecuada preparación del terreno y también la utilización de cebos para evitar la proliferación de la plaga en el lote.

**Perforadores de follaje (*Diabrotica sp*):** cuando se encuentra en su estado adulto afecta considerablemente el follaje disminuyendo el área fotosintética y dándole un mal aspecto a la hoja.

**Enfermedad bacteriana de la raíz:** causada por *Bacterium tabicans*, esta ataca principalmente raíces y hojas, afectando la clorofila y causando la pudrición de la planta. En lugares donde se presenta esta bacteria, se deben eliminar las plantas infectadas y como alternativa cultural la implementación de rotación de cultivos.

**Hongos más frecuentes (*Peronosporaschachtii*):** Corresponde a los Eumicetos, afecta a la planta deformando sus hojas y presentando manchas de color blanco violáceo que se hacen más evidentes con el mayor desarrollo del hongo, lo que ocasiona una muerte acelerada de la planta. Esta enfermedad se puede tratar con aspersiones de caldo bordelés.

**Viruela Producida:** causada por *Cercospora beticola*, los síntomas más comunes son manchas con bordes rojizos en ambas caras de la hoja. Para el tratamiento de esta enfermedad se puede utilizar preventivos para desinfectar las semillas como es el caso del formol al 1% y realizar rotaciones de cultivo.

### 1.3 MARCO HISTÓRICO

**1.3.1 Antecedentes.** A continuación, se presentan algunos estudios realizados a nivel internacional, nacional y regional sobre la realización de procesos de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos.

En el distrito peruano de Cacatachi se evaluó el compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes (EM), para ello se realizó un diseño completamente al azar en el que se usaron distintas cantidades de microorganismos eficientes. Los tratamientos fueron implementados de la siguiente manera: (T0= 0, T1= 250, T2= 500, T3= 1000 ml de EM; en 10 litros de solución acuosa). El monitoreo de los parámetros en el proceso de compostaje se conservó en un rango adecuado, en el análisis del compost obtenido se encontró que los parámetros nitrógeno, fósforo, potasio, cadmio, humedad, materia orgánica y carbono orgánico, no cumplieron con la norma chilena sobre productos orgánicos, en los cuatro tratamientos el único parámetro que cumple con esta norma es la relación C/N. En este ensayo los investigadores determinaron que los mejores tratamientos fueron el T2 y T3, no obstante, el tratamiento T2 es el que se debe utilizar como abono orgánico debido que se utilizó una menor concentración de EM (Melendrez & Sánchez, 2019).

En Bolivia, con el objeto de mejorar el proceso de compostaje con una adecuada relación C/N inicial y la adición de biodinámicos, se evaluaron diferentes tipos de mezclas de acuerdo a la relación C/N: T1 Estiércol, C/N = 15; T2 Estiércol + preparados biodinámicos, C/N = 15; T3 Estiércol + chala de maíz picada, C/N = 25; T4 Estiércol + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25; T5 Estiércol + gallinaza, C/N = 14; T6 Estiércol + gallinaza + preparados biodinámicos, C/N = 14; T7 Estiércol + gallinaza + chala de maíz picada, C/N = 25; T8 Estiércol +

gallinaza + chala de maíz picada + preparados biodinámicos, C/N = 25. En esta investigación se determinó que las mejores características fisicoquímicas y microbiológicas para un compost maduro se estuvieron en los tratamientos cuya relación C/N era igual a 25 (Escobar *et al.*, 2012).

En Popayán Cauca, se tuvo como objeto la evaluación de abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado utilizando hortalizas como indicadores, se utilizó un diseño completamente al azar con tres tratamientos y tres replicas, T0 sin abono; T1 compost elaborado con pulpa de café, troncho de plátano y gallinaza y T2 compost elaborado con residuos de plazas de mercado. En los resultados los investigadores encontraron al realizar el análisis fisicoquímico a los compost que el T1 tenía mayor contenido de fósforo y potasio y T2 de nitrógeno. Se concluyó que el T1 y T2 cumplen con el 85% de los parámetros exigidos por la NTC y que al aplicar el compost se mejoró considerablemente las propiedades fisicoquímicas del suelo lo que permitió optimizar la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Muñoz *et al.*, 2015).

En el municipio de Totoró se realizó un sistema de compostaje y lombricompostaje utilizando residuos orgánicos de una galería municipal. Se implementó 4 cajones para el compostaje y 2 cajones para el sistema de lombricompostaje (L1 y L2), los tratamientos para compostaje fueron: (T1= 61,55 kg de fruta, 179 kg de leguminosa, 132 kg de verduras, para T2= 20 kg de fruta, 190 Kg de leguminosas y 112 kg de verduras, para T3= 42 kg de fruta, 174 kg de leguminosa y 213 kg de verduras y para T4= 41,3 kg de fruta, 120 kg de leguminosas y 258,8 kg de verdura). Los resultados determinaron que los tratamientos T3 y T4 cumplen con los estándares sugeridos por la NTC 5167 y que el lombricompost obtenido también cumple con estos parámetros, además, los investigadores identificaron que la presencia de aire influyó de una manera positiva en las características del producto final y se encontró que las mejores propiedades fisicoquímicas estuvieron en el T4, por el contrario, el T1 presentó insuficiencia en dichas propiedades, el T2 y T3 tuvieron un rango intermedio (Muñoz *et al.*, 2015).

En el municipio de Popayán se realizó la implementación, apropiación y validación de técnicas de agroecología en huertas urbanas donde se hicieron técnicas de agroecología aplicadas a la agricultura urbana, para el fortalecimiento de la soberanía alimentaria. Una de las actividades consistió en diseñar, construir y validar prototipos de composteras circulares obteniendo como resultado que el mejor prototipo fue el elaborado en hierro (ECOPAZ, 2019).

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.

**2.1.1 Capacitación para la caracterización de RSOD.** La selección de las familias se hizo con base a las actividades que ha venido desarrollando el semillero de investigación TULL en las huertas urbanas y periurbanas de la ciudad de Popayán, en las cuales inicialmente se hizo un acercamiento para socializar la propuesta y se escogió las familias más interesadas en participar en las actividades del proyecto. La primera actividad se realizó mediante un estudio de campo cuyo objetivo fue determinar el tipo y la cantidad de residuos orgánicos domésticos que son generados en la actualidad en los hogares (Figura 3). La capacitación para la caracterización de los residuos consistió en seleccionar un grupo de cinco familias por huerta obteniendo un total de 20 hogares, en los cuales se determinó el manejo que se le daba a los residuos, para esta actividad a cada una de las familias se les suministro una balanza digital y una ficha de registro para consignar los datos obtenidos durante 7 días (anexo A).

**Figura 3.** Capacitación para la caracterización de RSOD; A) huerta de la vereda el hogar. B) huerta del barrio La Paz. C) huerta del barrio los Naranjos. D) barrio Loma de la Virgen.



**2.1.2 Entrega de las composteras circulares y capacitación de manejo.** En esta actividad se distribuyeron un total de 12 composteras circulares, dejando 3 composteras por huerta (Figura 4), donde se socializó la forma correcta de incorporar los residuos a las composteras, indicando que se debía reducir el tamaño de partícula a una longitud aproximada de 2 a 5 cm, seguidamente realizar el respectivo pesaje en la balanza y hacer el registro en la planilla de control describiendo la cantidad y el tipo de residuo orgánico generado (anexo B).

**Figura 4.** Entrega de las composteras circulares y capacitación de manejo. A) barrio Loma de la Virgen. B) Vereda el Hogar. C) Barrio los Naranjo. D) barrio La Paz.



**2.1.3 Capacitación en preparación de microorganismos eficientes.** La obtención de los microorganismos eficientes específicamente bacterias ácido lácticas (BAL) se realizó con la comunidad participante teniendo en cuenta la metodología de INTA, ACICAFOC y FUNDECOOPERACION, (2013) la cual comprendió cinco etapas que se describen a continuación:

En la figura 5, se muestra la capacitación en preparación de microorganismos eficientes. La primera etapa consistió en adicionar una libra de arroz enriquecido con vitaminas en dos litros de agua destilada en un recipiente de vidrio con capacidad de 5 litros, se retiró la tapa del frasco y se reemplazó por una tela para

cubrir la superficie durante un tiempo de una semana. En esta etapa el olor fue determinante para identificar el proceso de fermentación del arroz lo que indicaba que ya estaba listo para ser filtrado. Culminada la primera etapa, se revolvió el agua con el arroz y se procedió a realizar el filtrado para retirar la porción de arroz, se incorporó nuevamente el agua filtrada al frasco de vidrio y se añadió a la mezcla inicial 40 gramos de salvado de trigo por cada litro de agua con el propósito de suministrarle una fuente de carbohidratos solubles a los microorganismos presentes y se realizó nuevamente la mezcla y el tapado del frasco para dejarlo reposar durante 12 horas. En la tercera etapa se filtró el agua con el salvado dejando el líquido obtenido en el recipiente de vidrio, luego de esto se procedió a agregar un litro de leche cruda por cada litro de líquido obtenido, se tapó nuevamente el frasco esta vez con su tapa original dejándolo por un periodo de una semana hasta que se separó el cuajo del suero. Una vez transcurrida la tercera etapa y se separó el cuajo del suero se procedió a retirarlo de la solución con la cual se continuó el proceso ya que en el suero obtenido tenemos las bacterias acidolácticas, el pH disminuye realizando un proceso de higienización donde se eliminan otras bacterias y concentrando solo las bacterias acidolácticas. En la última etapa se le adicionó a cada litro de suero obtenido un litro de agua destilada con 300 g de melaza y se procedió a almacenarlos en refrigeración para posteriormente ser utilizados en una relación de 50 cm<sup>3</sup> por un litro de agua lluvia. González *et al.*, (2021) identificaron al hacer un aislamiento in vitro a partir de leche cruda de vaca una mayor diversidad de BAL entre las que se encontraron *Lactobacillus rhamnosus* (38,71%), *Lactobacillus fermentum* (29,03%) y *Lactobacillus plantarum* (6,45%).

**Figura 5.** Capacitación en preparación de microorganismos eficientes. A) preparación de microorganismos. B) disposición de desechos.

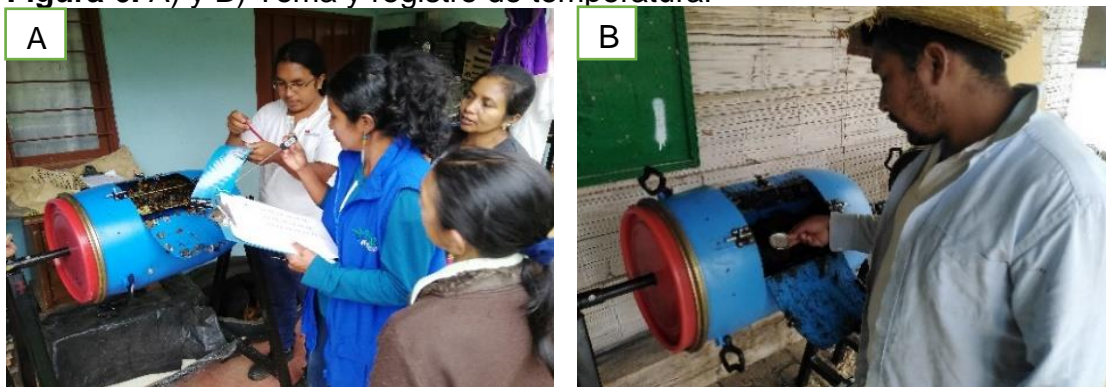


**2.1.4 Capacitación en registro y toma de variables.** Para realizar el registro se elaboraron fichas como instrumento para la recolección de datos de las variables a evaluar, temperatura, el pH, humedad, olor y color, una vez realizado el montaje de los ensayos en las composteras circulares en cada una de las huertas urbanas y periurbanas se procedió a hacer el seguimiento correspondiente a cada variable por

la persona encargada de cada una de las composteras con una frecuencia de 3 días a partir del llenado hasta la obtención del compost. Las variables fueron medidas de la siguiente manera:

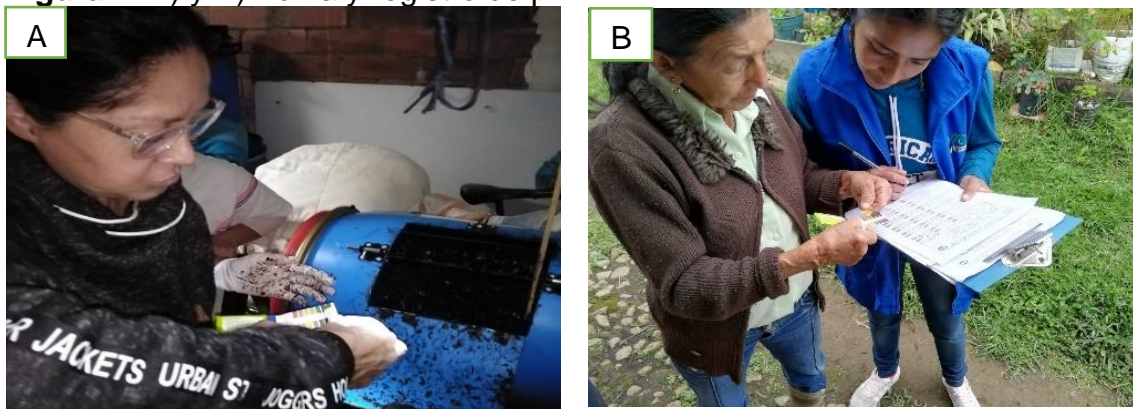
**2.1.4.1 Temperatura:** las lecturas de temperatura se realizaron con un geotermómetro introduciéndolo dentro del material en cada una de las composteras (Figura 6), se realizaron 3 lecturas de temperatura por cada compostera con el propósito de promediar los resultados de la muestra (Escobar *et al.*, 2012).

**Figura 6.** A) y B) Toma y registro de temperatura.



**2.1.4.2 Potencial de Hidrógeno (pH):** la medición de este parámetro se hizo utilizando cintas de papel tornasol o cintas para medir pH, se colocó la cinta sobre el material humedecido en proceso de degradación y se analizó el resultado según la tabla de gama de colores de pH (Figura 7) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014).

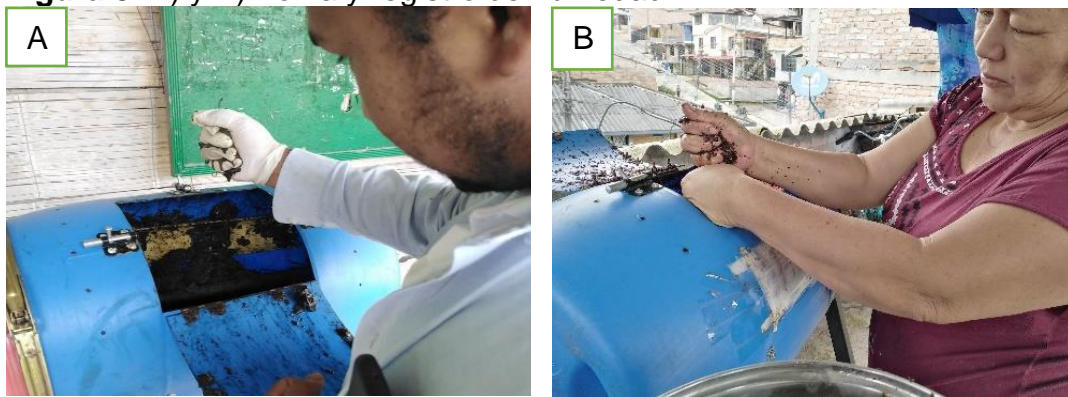
**Figura 7.** A) y B) Toma y registro de pH.





**2.1.4.3 Humedad:** la humedad fue medida a través de la prueba de puño, se tomó material de la mezcla en la mano y se oprimió (Figura 8), para determinar la humedad se hizo según el número de gotas generadas al oprimir la muestra, si se generaban más de 3 gotas se clasificó como muy húmeda (3); entre una y dos gotas, húmeda (2) y si no se generaba ningún agregado se registró como seco (1) (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2014), para determinar el porcentaje de humedad se tuvo en cuenta el criterio de Melendrez & Sánchez, (2019). 1: La humedad tenía un porcentaje menor a 45%; 2: La humedad tenía un rango optimo entre 45 y 60 %; 3: La humedad estaba por encima del 60%.

**Figura 8.** A) y B) Toma y registro de humedad.



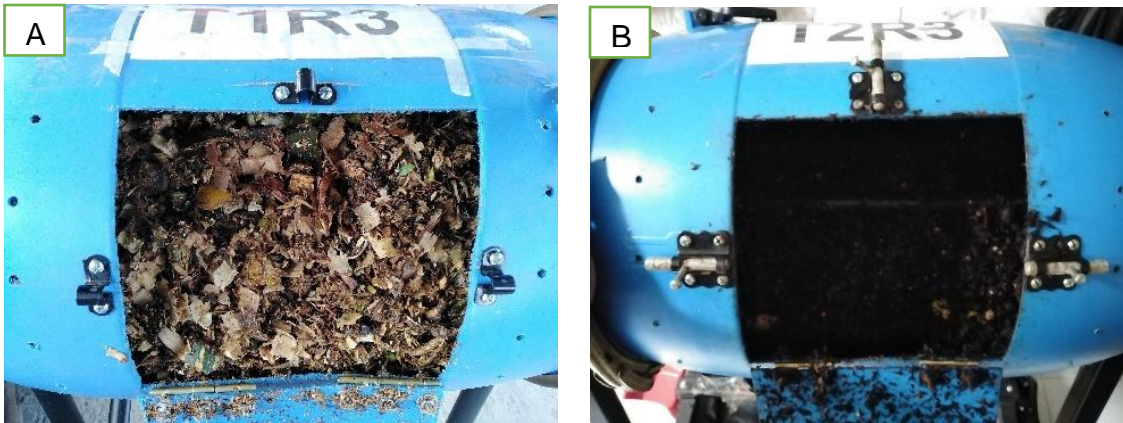
**2.1.4.4 Olor:** para la medición de este parámetro se introdujo un palo de madera limpio en forma perpendicular dentro de la compostera, se dejó dentro de esta durante un tiempo aproximado de tres minutos, luego se retiró y se sintió su olor (Figura 9), se realizó el registro correspondiente, clasificándolo como lo plantea Escobar *et al*, (2012): (1) muy desagradable, cuando el olor no es soportable (2) desagradable, cuando el olor es fuerte pero tolerable (3) neutro, cuando no se presentan malos olores y (4) olor a tierra, según la perspectiva de la persona que realizó la medición de este parámetro en cada compostera y siempre realizado por ella misma para evitar ambigüedad.

**Figura 9.** A) y B) Toma y registro de olor.



**2.1.4.5 Color:** para describir el color, la persona encargada de cada compostera tomó muestras de distintas profundidades en toda la superficie de la mezcla, con el fin de promediar los resultados de la muestra y se le registro según los siguientes valores: original cuando los materiales incorporados conservaban su color natural, marrón claro y marrón oscuro según la fase de descomposición y humedad que tuviera el material (Figura 10) (Escobar *et al.*, 2012).

**Figura 10.** Toma y registro de color. A) color original. B) color marrón.



**2.1.5. Toma de muestra y análisis de laboratorio.** Una vez terminado el proceso de compostaje que tuvo una duración de tres meses, se procedió a tomar una muestra de un kilogramo de cada tratamiento del compost obtenido con las familias que hicieron parte del proceso, se empaco en bolsas de ziploc selladas herméticamente como se muestra en la figura 11, para posteriormente ser enviado al laboratorio de suelos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural del municipio de Popayán donde se le hizo el respectivo análisis fisicoquímico para determinar su contenido nutricional.

**Figura 11.** Toma de muestras para análisis de laboratorio. A) compost recolectado de los diferentes tratamientos. B) toma de muestras y rotulado para enviar al laboratorio.



**2.1.6. Implementación de un cultivo de ciclo corto.** Se preparó el terreno donde se construyeron 12 unidades experimentales de 1m de largo x 1m de ancho y 20 cm de profundidad. Se aplicaron 150 g de cal dolomita como enmienda agrícola en cada parcela experimental (Figura 12), teniendo en cuenta que el mejor resultado obtenido por Carvajal *et al*, (2016) en cuanto a la aplicación de cal dolomita fue de 1,5 toneladas por hectárea, lo que para un área de 12 m<sup>2</sup> correspondería a 1,8 Kg.

**Figura 12.** A) construcción de las unidades experimentales. B) aplicación de cal dolomita



Se sembraron 16 plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. Penca blanca) por cada unidad experimental, la distancia entre plantas fue de 25 cm de las cuales se evaluaron 6 seleccionadas al azar. La aplicación del abono orgánico se realizó 15 días antes del momento del trasplante al sitio definitivo cuando las plantas tuvieron el primer par de hojas verdaderas (30 días), se incorporaron 2 kg de compost por cada unidad experimental y se mezcló con el suelo con el fin de distribuirlo

uniformemente tal como lo reporta Muñoz *et al*, (2014) donde se obtuvieron los mejores resultados cuando se aplicaron entre 10 y 20 toneladas por hectárea de compost (Figura 13).

**Figura 13.** A) incorporación del compost. B) siembra de las pantas de acelga.



**2.1.6.1. Prácticas culturales:** durante el desarrollo del cultivo se realizaron actividades culturales como deshierbas, escarificación (remover la tierra), aporques y aplicación de biopreparados (Figura 14) los cuales se describen a continuación:

**Extracto alcohólico de ajo y ají:** se utilizó para el control de áfidos "pulgones" (*Myzus persicae*), ácaros "arañita roja" (*Tetranychus urticae*), mosca blanca (*Bermiscia tabaco/Trialeurodes vaporarorium*), minador (*Lyriomiza* sp) y trips (*Frankliniella* sp), para la preparación se utilizaron 50 g de ajo, 50 g de ají y un litro de alcohol al 90% y se aplicó 7 ml/L de agua con una frecuencia de 5 días.

**Caldo bordelés:** se utilizó para el control preventivo de enfermedades transmitidas por hongos como *Mildius*, *Phytophthora infestans*, *Bremia lactucae*, *Septoria*, *Septoria apii* y *Cercospora beticola*. Para la preparación se utilizaron 10 litros de agua, 100 gramos de cal viva y 100 gramos de sulfato de cobre. Se aplicó con una frecuencia de 15 días.

**Figura 14.** A) deshierba y aporque. B) aplicación de biopreparados.



**2.1.6.2. Variables evaluadas:** se utilizaron las plantas de acelga como indicadores para observar la calidad del compost considerando las siguientes variables:

**Peso de plantas:** al final del ciclo (90 días) se pesaron las seis plantas seleccionadas completas con la raíz de cada una de las parcelas y se realizó el promedio por cada uno de los tratamientos.

**Número de hojas:** para la medición de esta variable se tuvo como criterio que las hojas tuvieran similitud en su altura para efectuar el conteo al momento de la recolección.

**Calidad sanitaria:** para la medición de este parámetro se observó la incidencia de las plagas y enfermedades que se lograron detectar en el cultivo, utilizando la escala propuesta por Ganuza, (2014) donde: 1. Daño bajo (menos del 5%); 2. Daño moderado (del 5-10 %); 3. Daño medio (del 10-20%); 4. Daño severo (20-30%) y 5. Daño muy severo (más del 30%). Se observó en cada unidad experimental el daño causado y se registró el número de plantas afectadas por cada tratamiento.

$$\%INFESTACION\ POR\ TRATAMIENTO = \frac{Número\ de\ plantas\ afectadas}{Número\ total\ de\ plantas} \times 100$$

**2.1.6.3. Cosecha:** La cosecha se realizó de manera manual cuando las plantas cumplieron el tiempo estipulado para la recolección (90 días), se observaron 6 plantas por parcela y 18 por tratamiento las cuales se promediaron para su posterior evaluación.

## 2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para la evaluación de la eficiencia de los RSOD en composteras circulares para su uso agronómico se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), evaluando cuatro tratamientos con tres replicas (cuadro 5).

**Cuadro 5.** Tratamientos y variables de respuesta para la evaluación de la eficiencia de los RSOD en composteras circulares para su uso como abono orgánico.

Tratamientos	Variables de respuesta
<p><b>T0=</b> 100% RSOD<sup>1</sup> <b>T1=</b> 50% RSOD + 50% aserrín de pino + EM<sup>2</sup> <b>T2=</b> 75% RSOD + 25% aserrín de pino + EM <b>T3=</b> 100% RSOD + EM</p>	<p>Materia orgánica Carbono orgánico Nitrógeno P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> K<sub>2</sub>O pH CICe</p>

Nota:<sup>1</sup> Residuos Sólidos Orgánicos Domésticos, <sup>2</sup> Microorganismos Eficientes.

El contenido nutricional del compost obtenido fue analizado mediante la aplicación de un análisis de varianza con medidas repetidas, se utilizó la prueba de Duncan (Duncan, 1965) para la comparación de la media, un valor de (P<0,05) se tomó como diferencia significativa para destacar cual o cuales de los tratamientos presenta un mejor comportamiento, para ello se empleó el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 RESULTADOS DE LAS CAPACITACIONES

**3.1.1 Caracterización de RSOD.** En esta actividad participaron 20 familias pertenecientes a la red de huertas urbanas y periurbanas de la ciudad de Popayán, las cuales realizaron la separación de los RSOD identificando el tipo y la cantidad durante un periodo de siete días. Según las respuestas de las personas encuestadas los residuos sólidos orgánicos que más se generan dentro de las viviendas son, residuos de verduras, cáscaras de frutas, cáscara de plátano y cáscara de papa. Se identificó que la producción de residuos sólidos orgánicos domésticos durante un periodo de una semana en las familias participantes en promedio fue de 7,74 kg/hogar (cuadro 6). En una familia promedio de 4 personas se generaron 0,30 kg/habitante/día de RSOD, estos resultados están por debajo de la producción per cápita de estos residuos en la ciudad de Popayán estimados en 0,84 kg/habitante/día.

**Cuadro 6.** Peso de RSOD durante 7 días en las familias participantes.

Huertas Agroecológicas	Número de familias					Promedio/ kg/huerta	Promedio/ kg/hogar
	1	2	3	4	5		
	Peso de RSOD en 7 días (g)						
Barrio La Paz	6883	4376	3487	6304	5416	5,29	7,74
Barrio Loma de virgen	13730	8068	2873	34000	5745	12,88	
Barrio los Naranjos	2942	2534	15037	6269	6601	6,68	
Vereda El Hogar	9854	3384	4697	4996	7590	6,10	

**3.1.2 Entrega de composteras.** En la figura 15, se muestra el prototipo de compostera circular utilizado para llevar a cabo esta investigación, la cual cuenta con una base metálica en la que se soporta una caneca plástica que gira sobre su propio eje y tiene una capacidad promedio de 20 kg. Algunas de las ventajas que se identificaron al usar este prototipo es la compatibilidad con espacios interiores y la facilidad para revolver y oxigenar la mezcla. En total se recolectaron 216,9 kg de residuos sólidos orgánicos al iniciar el proceso de compostaje en las doce composteras, el cual tuvo una duración de tres meses donde al final del proceso se obtuvieron 120 kg de compost con una pérdida del 44,7% en el peso final.

**Figura 15.** Composteras circulares.



**3.1.3 Obtención de microorganismos eficientes.** Esta actividad se realizó con las familias participantes del barrio Los Naranjos, la cual tuvo una duración de tres semanas dividida en cinco secciones, al final se obtuvo una cantidad de 20 litros de bacterias acidolácticas que se distribuyeron a las demás familias para ser incorporadas al compost de acuerdo con el manejo y control de la humedad. La aplicación de los microorganismos se realizó al inicio y cada vez que se monitorearon las composteras. Se utilizaron 50 ml de esta solución por cada litro de agua lluvia para ser aplicados a la mezcla con el propósito de asegurar una mayor proporción de bacterias acidolácticas en el compostaje.

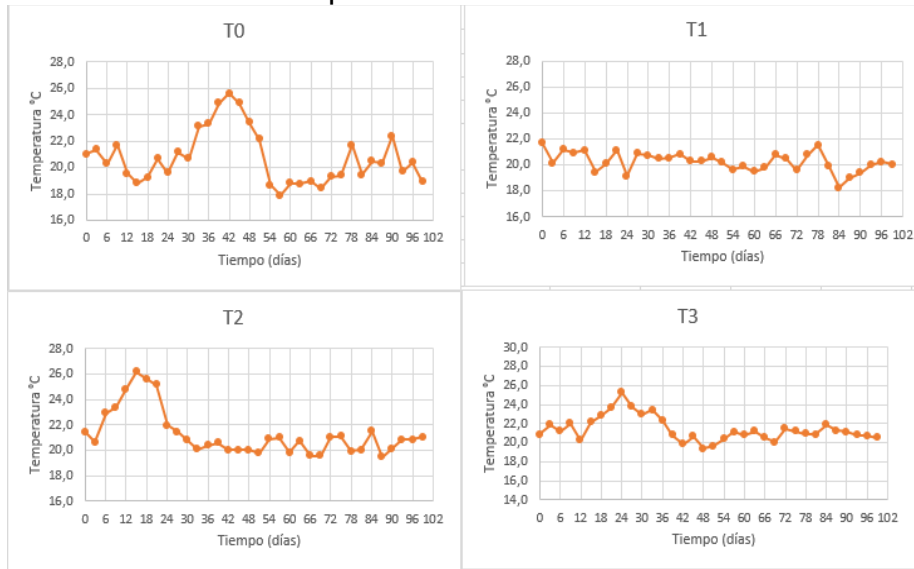
**3.1.4 Toma y registro de variables.** El monitoreo se realizó durante un periodo de 99 días, tiempo en el cual la comunidad participante se capacitó en la elaboración del compost utilizando el prototipo propuesto de composteras circulares. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del seguimiento realizado de temperatura, pH, humedad, color y olor.

La temperatura es un indicador determinante en la elaboración del compost (Muñoz, 2015). En la figura 16, se observa la evolución de la curva de temperatura de los tratamientos. Los tratamientos T0, T2 y T3 lograron subir hasta 26°C a los 42, 15 y 24 días respectivamente después de iniciado el proceso, una vez alcanzado el nivel de temperatura máxima, esta empieza a disminuir tomando valores que oscilaron entre los 18°C y 22°C manteniéndose hasta el final del proceso a los 99 días, esto se debe posiblemente a que las principales causas asociadas a una temperatura menor a 35°C es la insuficiencia de material acumulado para que se logre una temperatura óptima (FAO, 2013). El T1 no presentó aumento en su temperatura y se mantuvo durante todo el ciclo en valores que variaron entre los 18°C y los 22°C, esto posiblemente se debe a que este tratamiento contenía el 50% de aserrín de



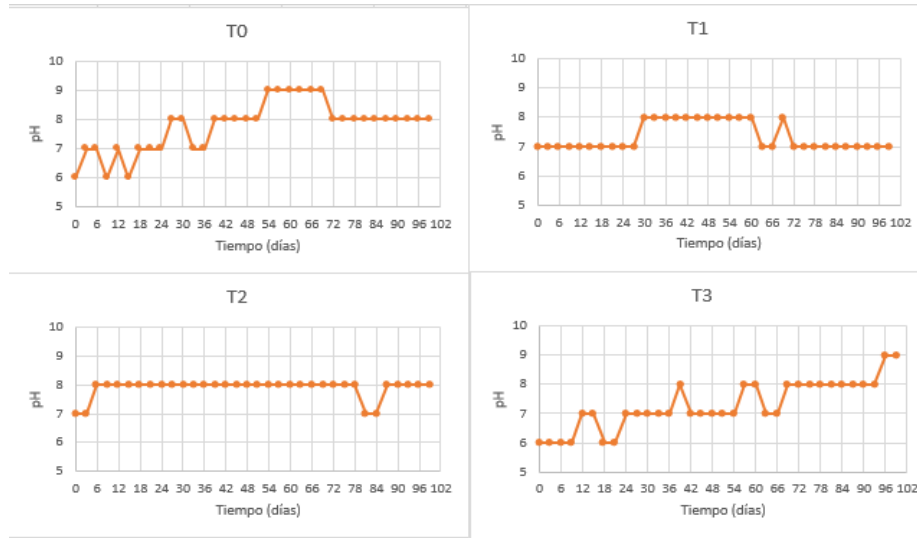
pino lo cual hace que existan mayor cantidad de espacios porosos entre los materiales ocasionando un descenso de la temperatura (Bardgett, 2005). Méndez, (2014) reportó valores similares de temperatura (< a 35°C) en un compost a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos. Cuando se presentan bajas temperaturas se debe incorporar más RSO y/o tierra negra en las composteras circulares (Román et al., 2013).

**Figura 16.** Tendencia de la temperatura en los cuatro tratamientos.



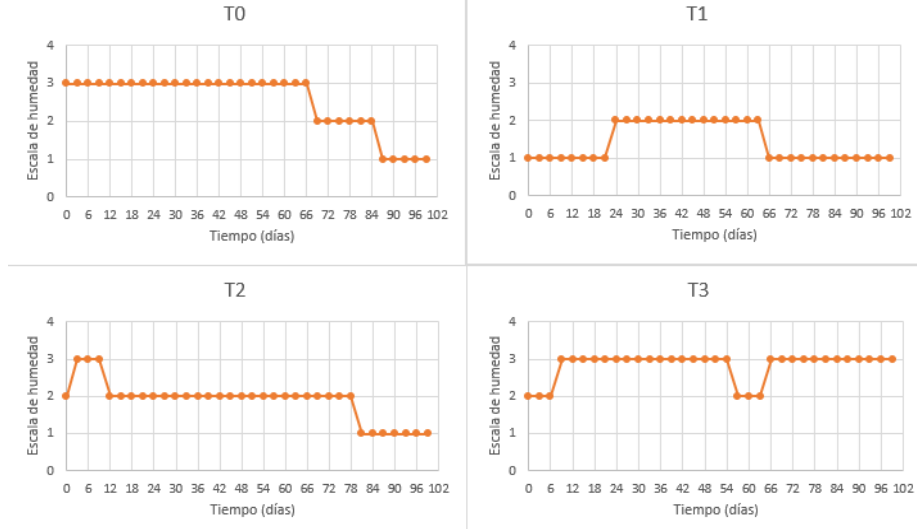
Como se observa en la figura 17, el nivel de pH en los tratamientos osciló entre 6 y 9, lo que concuerda con Rafael, (2015) quien afirma que este es el rango de pH óptimo para lograr un adecuado proceso de compostaje. Los tratamientos T0, T1 y T2 tuvieron un valor final de pH de 8.05, 7.67, 8.57 respectivamente, encontrándose dentro del rango definido por la FAO, (2013) que considera que un pH óptimo en un compost maduro debe estar entre 6.5 y 8.5, a diferencia del T3 que tuvo un pH de 9.40 según Sánchez *et al.*, 2005 mencionan que la alcalinización del medio se debe a la pérdida de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas.

**Figura 17.** Tendencia del pH en los cuatro tratamientos.



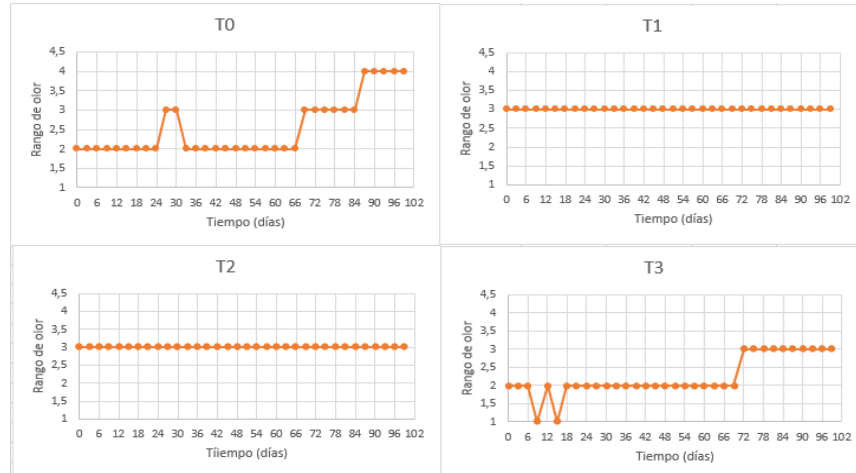
El T0 y T3 se mantuvieron con una escala de humedad superior al 60% durante 66 y 84 días respectivamente (Figura 18), esto posiblemente se debe a la ausencia de un sustrato seco (aserrín de pino) que facilita la absorción del exceso de humedad como lo afirma Mejía, (2007), quien asegura que la estructura física de un sustrato está formada por un soporte sólido que posee espacios porosos que tiene la capacidad de absorber agua. El T1 y T2 conservaron la humedad la cual estuvo entre el 45 y 60% durante un periodo de 42 y 69 días respectivamente, en este caso la mezcla estuvo compuesta de 50 y 25% de sustrato seco respectivamente lo que pudo facilitar la absorción de agua. Al final del proceso el T0, T1 y T2 finalizaron con una humedad inferior al 45% lo cual es ideal según Román *et al.*, (2013) quienes afirman que la humedad óptima al final del proceso de compostaje debe ser inferior al 40% a diferencia del T3 que terminó por encima del 60%, esto se puede atribuir a que la humedad de los residuos sólidos orgánicos ocasionó la saturación de la materia orgánica donde todos los espacios vacíos fueron ocupados por el agua prevaleciendo condiciones de anaerobiosis (Silva *et al.*, 2009), para corregir el exceso de humedad se debe realizar más volteos de la mezcla y/o la incorporación de materiales secos (FAO, 2013).

**Figura 18** Tendencia de la valoración de humedad en los cuatro tratamientos.



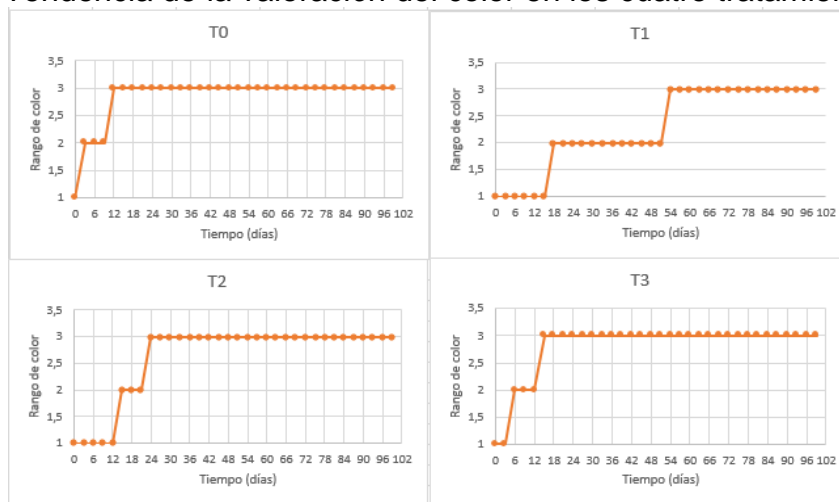
Se encontró que el T1 y T2 tuvieron semejanza durante todo el proceso caracterizándose por un olor neutro. Los tratamientos T0 y T3 se mantuvieron en un rango de olor de 2 durante 57 y 51 días respectivamente, es decir con olor desagradable (Figura 19), lo cual se puede atribuir según la FAO, (2013) al exceso de humedad que provoca la sustitución de microorganismos aerobios por anaerobios y como consecuencia la producción de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) o metano (CH<sub>4</sub>) y la aparición de malos olores. Al final los tratamientos T1, T2 y T3 se mantuvieron en un nivel de olor neutro mientras que el T0 finalizó con un olor a tierra, esto es una característica común de un compost maduro porque el olor debe ser agradable (como a tierra de bosque) y no se debe distinguir ningún olor de los residuos orgánicos iniciales (ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 2014).

**Figura 19.** Tendencia en la calificación del olor en los cuatro tratamientos.



En cuanto al color se encontraron semejanzas entre los tratamientos T0, T2 y T3 los cuales en menos de 24 días alcanzaron el rango de color 3, es decir, un color marrón oscuro, mientras que el T1 llegó a este color en el día 57 (Figura 20), esto posiblemente se atribuye a que este tratamiento contenía un 50% de aserrín de pino lo cual mantuvo la humedad por debajo del 45% en la mayor parte del tiempo, por lo tanto, minimizó la degradación de la materia orgánica y por ende su cambio de color (FAO, 2013). Según la ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, (2014) el compost debe oscurecer con la madurez llegando a un color marrón oscuro o negro.

**Figura 20.** Tendencia de la valoración del color en los cuatro tratamientos.



### 3.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPOST PROVENIENTE DE RSOD.

En el cuadro 7, se presentan los resultados obtenidos de las pruebas químicas de cada uno de los tratamientos y los parámetros que contempla la norma NTC 5167, la cual dispone las condiciones que debe cumplir los productos orgánicos usados como abonos, fertilizantes o como enmiendas del suelo.

**Cuadro 7.** Parámetros químicos del compost.

Parámetro	Unidad	T0	T1	T2	T3	NTC 5167
Materia orgánica	%	32,71	29,32	29,54	25,17	Mínimo 25%
Carbono orgánico	%	18,97	17,01	17,13	15,02	Mínimo 15%
N	%	1,63	1,49	1,48	1,21	> 1%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,05	0,01	0,04	0,03	> 1%
K <sub>2</sub> O	%	0,34	0,33	0,33	0,35	> 1%
pH	Unidad	8,05	7,67	8,57	9,40	>4 y <9
ClCe	Meq/100 g	21,47	18,37	16,42	21,73	Mínimo 30
Relación C/N	Unidad	11,62	11,44	11,60	11,59	NA
Ca	%	0,171	0,113	0,091	0,173	NA
Mg	%	0,055	0,063	0,043	0,052	NA
Na	%	0,026	0,045	0,030	0,031	NA
Fe	Ppm	2,20	2,24	1,40	0,69	NA
Mn	Ppm	3,20	7,99	5,38	0,29	NA
Cu	Ppm	0,12	0,12	0,16	0,16	NA
Zn	Ppm	5,28	9,52	6,88	0,30	NA
B	Ppm	0,69	0,54	0,65	0,68	NA

Como se observa en el cuadro 7, los cuatro tratamientos cumplen con la NTC 5167 en contenido de materia orgánica, carbono orgánico, contenido de nitrógeno y pH, sin embargo, no cumplen con los parámetros de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y ClCe. Según Muñoz *et al.*, (2015) los compost elaborados a partir de residuos domésticos como restos de frutas y verduras son principalmente fuente de nitrógeno a diferencia del compost de unidades agropecuarias que son principalmente fuente de potasio y fósforo. Para mejorar los contenidos de potasio se debe considerar la utilización de residuos de banano tal y como lo afirma Duran y Henríquez, (2006) quienes encontraron mayor contenido de potasio en un compost realizado a partir de estos residuos y para mejorar el contenido de fósforo existen residuos orgánicos en los que es viable recuperar y reutilizar el fósforo como son las cenizas de incineración procedentes de residuos vegetales que permitirán recuperar cantidades importantes de P junto a otros nutrientes (García, 2014).

Dorado (2018), encontró que la mayor relación C/N fue de 1.44, lo cual indica que es baja, según Zhang *et al.*, (2016), los abonos con relación C/N menores a 10 tienen una liberación continua de nutrientes, en especial de nitrógeno, comparado

con aquellos con relaciones superiores a 20. Por otro lado, Cieza, (2017) obtuvo valores entre 17.15 y 17.56% con residuos sólidos orgánicos domiciliarios utilizando bacterias ácido lácticas. De acuerdo con la FAO, (2013) el rango ideal de C/N de un compost maduro a los 3 meses de su elaboración es de 10:1 a 15:1, por lo anterior, se puede afirmar que los cuatro tratamientos de esta investigación están en un estado de madurez estable.

Los tratamientos T0 y T3 presentaron mayor contenido de Ca, esto posiblemente se debe a que tuvieron mayor cantidad de residuos que aportaron Ca como cáscara de huevo, de acuerdo con Pérez *et al.*, (2015) al incluir cáscara de huevo en el compost se obtienen altos contenidos de calcio. Los tratamientos T0 y T1 presentaron los mejores contenidos de Mg, esto probablemente a que existió una menor lixiviación de este elemento en dichos tratamientos (Hernández, 2002). Los valores obtenidos fueron inferiores a los reportados por Cieza, (2017) quien reporta concentraciones de Ca entre 1.98 y 2.25% y de Mg entre 0.45 y 0.51% en compostaje obtenido con residuos sólidos orgánicos domiciliarios. Para mejorar los contenidos de magnesio se le puede agregar a la mezcla mayor cantidad de cáscara de aguacate, Aymacaña, (2018) afirma que esta fruta tiene altos contenidos de minerales como el magnesio.

El análisis de varianza (ANOVA) permitió detectar diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos para las variables materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, fósforo, potasio, pH y CICE, como se observa en el cuadro 8.

**Cuadro 8.** Valores medios de los parámetros químicos obtenidos a partir de un compost de Residuos Sólidos Orgánicos Domésticos.

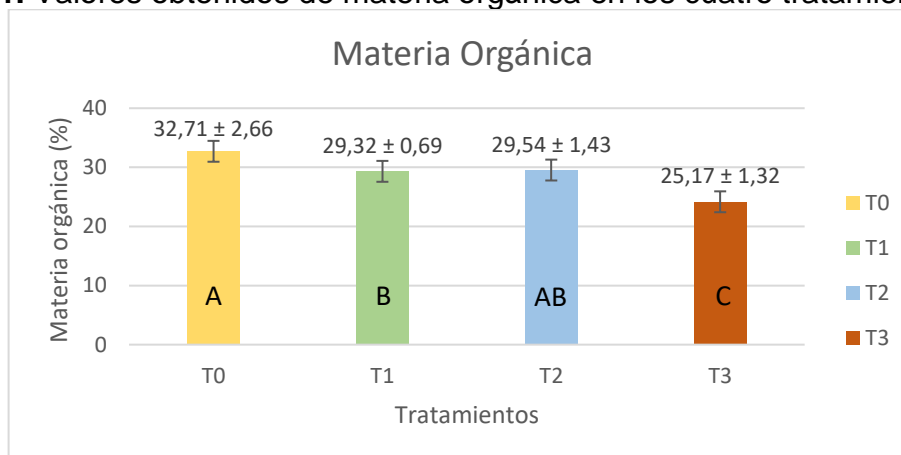
VARIABLES	T0	T1	T2	T3
Materia Orgánica	32,71 ± 2,66 a	29,32 ± 0,69 b	29,54 ± 1,43 ab	25,17 ± 1,32 c
Carbono Orgánico	18,97 ± 1,54 a	17 ± 0,40 b	17,13 ± 0,82 ab	15,02 ± 0,76 c
Nitrógeno	1,63 ± 0,13 a	1,48 ± 0,006 a	1,47 ± 0,071 a	1,21 ± 0,069 b
Fósforo	0,052 ± 0,003 a	0,013 ± 0,001 c	0,04 ± 0,007 ab	0,034 ± 0,015 b
Potasio	0,34 ± 0,011 ab	0,32 ± 0,005 b	0,33 ± 0,011 ab	0,35 ± 0,012 a
pH	8,05 ± 0,21 bc	7,63 ± 0,09 c	8,57 ± 0,40 b	9,4 ± 0,45 a
CICE	21,46 ± 0,12 a	18,37 ± 0,32 b	16,41 ± 0,96 c	21,73 ± 0,61 a

Letras diferentes en la misma fila, difieren estadísticamente ( $P < 0,05$ ).

Para saber cuáles tratamientos se diferenciaban se realizó la prueba de promedios de Duncan ( $P < 0,05$ ) que muestra que, para materia orgánica y carbono orgánico hay diferencias significativas en el T3 en comparación al tratamiento 0,1 y 2. Por otro lado no se encontró diferencias significativas en el T2 en relación al tratamiento 0 y 1. en cuanto a nitrógeno los tratamientos 0, 1 y 2 forman un grupo y solo difiere el tratamiento 3. Para el fósforo los tratamientos 0,1 y 3 son diferentes y el T2 es estadísticamente similar al T0 y T3. En la variable potasio el T1 y T3 son estadísticamente diferentes y los tratamientos T0 y T2 son estadísticamente similares al T1 y T3. Respecto a pH los tratamientos 1,2 y 3 son diferentes, mientras que el T0 es similar al T1 y T2, Por último, en cuanto a CICE los tratamientos T0 y T3 forman un grupo mientras que T1 y T2 son diferentes estadísticamente (Anexos C al I).

Los valores obtenidos de materia orgánica en este ensayo (Figura 21) fueron similares a los hallados por Muñoz *et al.*, (2015) quienes obtuvieron valores promedios de 27,22% a partir de residuos sólidos orgánicos domiciliarios e inferiores a los obtenidos por Dorado, (2018) con valores entre 15,87 y 19,19% en compostaje a partir de residuos orgánicos urbanos. En este ensayo el prototipo de compostera utilizado al momento de realizar los volteos facilitó la oxigenación de la mezcla y a su vez liberación de gases lo que se vio reflejado en el contenido de materia orgánica presente en los cuatro tratamientos, como lo indican Ninco y Sánchez, 2017 el contenido de materia orgánica se reduce debido a la mineralización y la pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono.

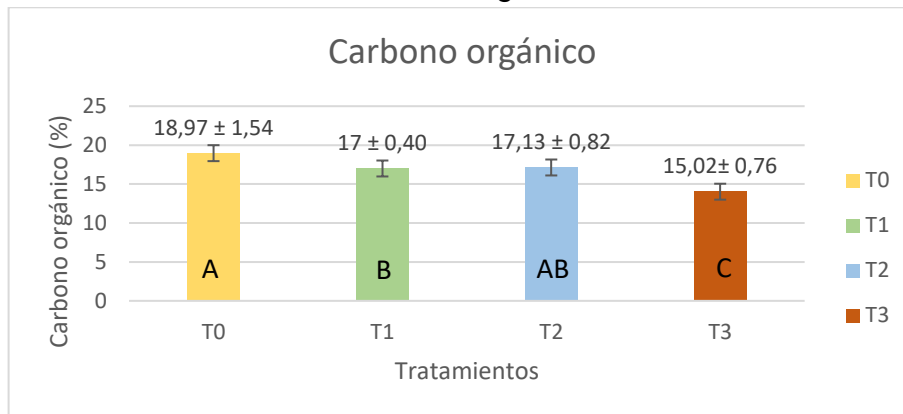
**Figura 21.** Valores obtenidos de materia orgánica en los cuatro tratamientos.



De acuerdo con Kalil, (2007) el consumo de materia orgánica se ve reflejada en el rendimiento de carbono orgánico, por tanto, el tratamiento T0 pudo tener una mayor actividad microbiana que los demás tratamientos (Figura 22). Tortosa, (2013) afirma

que el porcentaje de carbono orgánico va a estar en función del material orgánico de partida, y cuanto mayor sea la actividad biológica, mayor será el porcentaje de carbono orgánico obtenido en el compost. Dorado, (2018) obtuvo valores para carbono orgánico de 6,94 y 8,39% en un compost elaborado a partir de residuos orgánicos urbanos, estos resultados están por debajo de los obtenidos en esta investigación y coinciden con Ninco y Sánchez, (2017) quienes obtuvieron valores de 10% de CO a partir de residuos sólidos orgánicos residenciales.

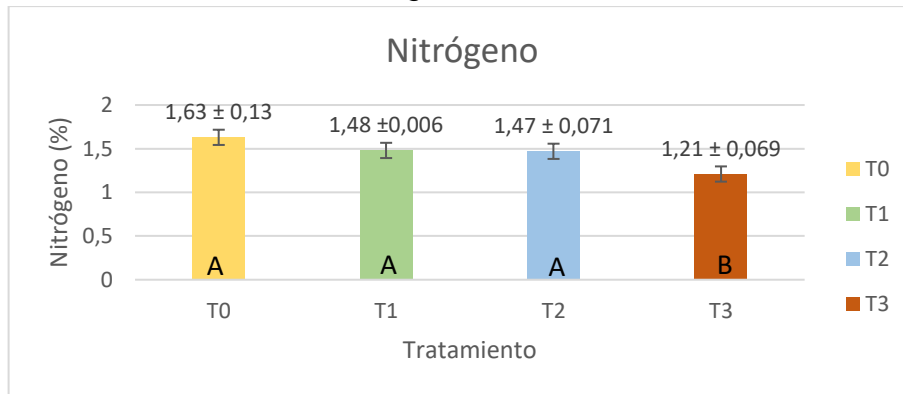
**Figura 22.** Valores obtenidos de carbono orgánico en los tratamientos.



Los residuos sólidos orgánicos domésticos resultan ser una fuente de N, lo cual concuerda con Contreras *et al.*, (2014) quienes identificaron que los compost elaborados a partir de residuos domésticos muestran valores superiores de nitrógeno respecto a otras fuentes orgánicas que alcanzan máximo valores de 0,8 a 1%. Los valores de nitrógeno hallados en esta investigación (Figura 23) fueron similares a los del trabajo realizado por Avellaneda, (2019) quien encontró valores entre 1.28 y 1.56% a partir de residuos sólidos orgánicos urbanos y superiores a los resultados encontrados por Meléndrez y Sánchez, (2019) con un rango de nitrógeno entre 0,37 a 0,52% en el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes.

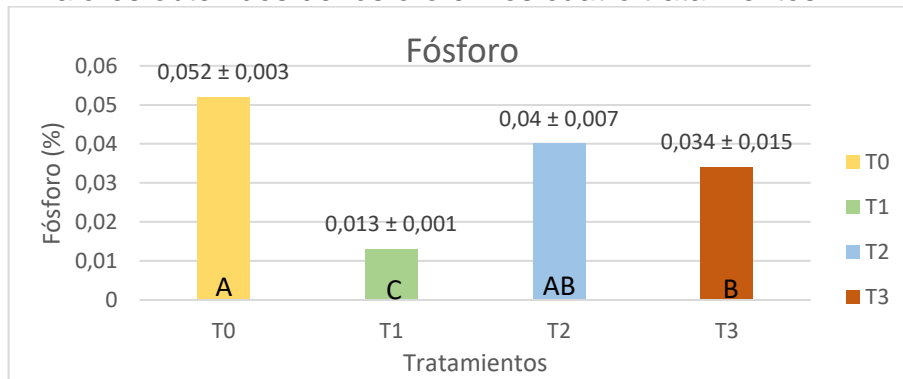


**Figura 23.** Valores obtenidos de nitrógeno en los cuatro tratamientos.



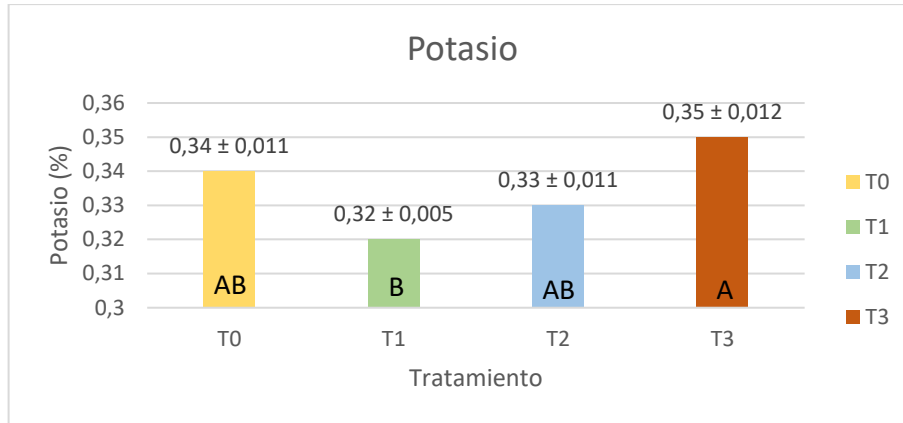
Los valores encontrados de fósforo en esta investigación (Figura 24) se encuentran dentro de un rango inferior a lo establecido por la FAO, (2013) quien considera un contenido ideal de fósforo entre 0,1 a 1% y son similares a los obtenidos por Muñoz., *et al* (2015) quienes realizaron un proceso de compostaje a partir de residuos orgánicos urbanos y reportaron valores entre 0.03 y 0.08. Esto se atribuye a que los compost obtenidos a partir de este tipo de residuos son fuente de nitrógeno a diferencia del compost obtenido en unidades agrícolas que son principalmente fuentes de K y P (Muñoz y Muñoz, 2012).

**Figura 24.** Valores obtenidos de fósforo en los cuatro tratamientos.



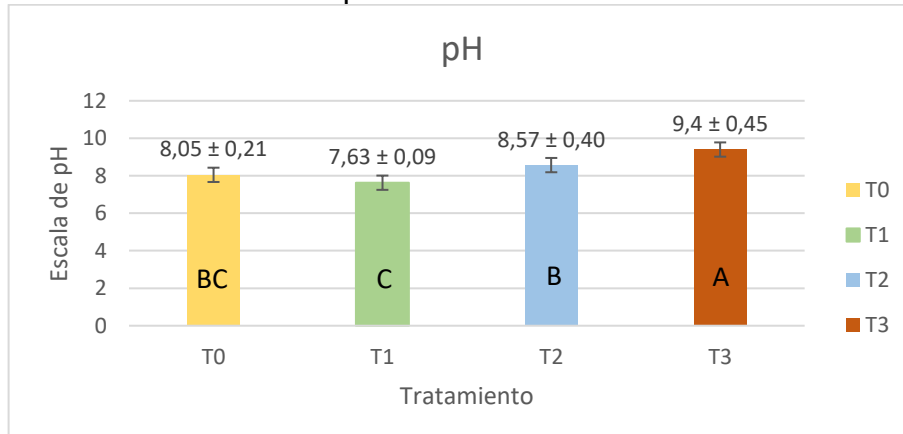
Los resultados muestran que los niveles de potasio se encuentran por debajo del 1% exigido por la norma (Figura 25), lo que posiblemente se debe a las pérdidas de potasio por lixiviación y volatilización durante el proceso de biodegradación (Gálvez *et al.*, 2010), los resultados concuerdan con lo obtenido por Castillo *et al.*, (2000) quienes reportan valores de potasio por debajo del 1% a partir de materias primas procedentes de residuos domésticos.

**Figura 25.** Valores obtenidos de potasio en los cuatro tratamientos.



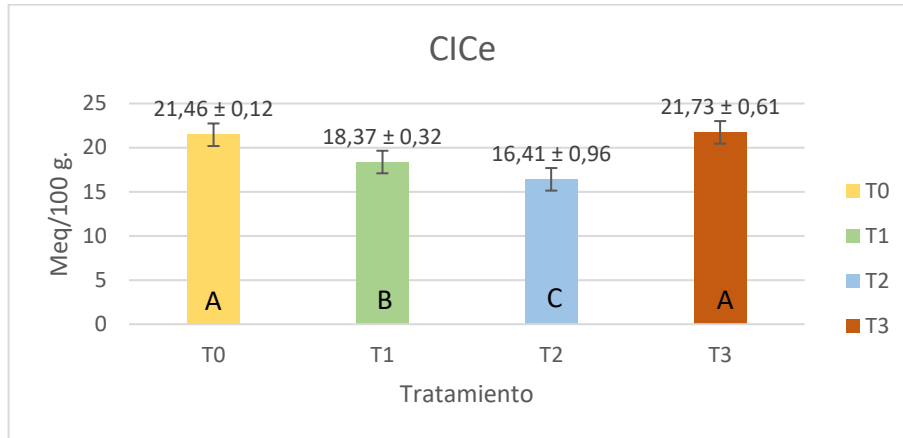
Los valores de pH se observan en la figura 26, los cuales están por encima a los obtenidos por Muñoz *et al.*, (2015) cuyos rangos estuvieron entre 7,12 y 7,47. En esta investigación se evidencia el aumento de pH, lo cual coincide con lo afirmado por Albuquerque *et al.*, (2006); 2009; Días *et al.*, (2010) y Moreno y Mormoneo, (2008), quienes mencionan que la degradación de los ácidos orgánicos genera un aumento en el valor de pH y que durante la mineralización de las proteínas se producen compuestos amoniacales que contribuyen aún más en el aumento de pH.

**Figura 26.** Valores obtenidos de pH en los cuatro tratamientos.



La CICE está estrechamente relacionado con el pH, lo que significa que al aumentar el pH existe un aumento significativo del CICE (Figura 27) (Méndez, 2012). En estudios realizados con compost de residuos orgánicos se ha identificado que la CICE incrementa en la medida que también crece el grado de estabilidad de la materia orgánica (Negro *et al.*, 2001).

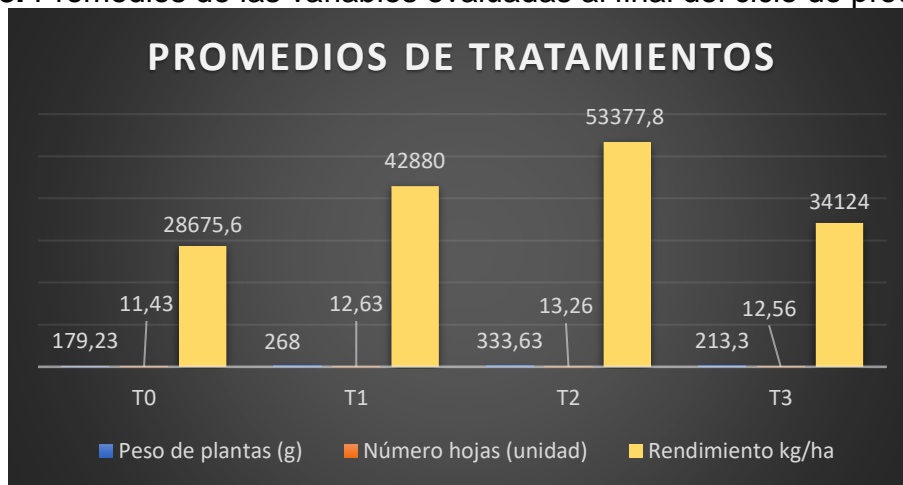
**Figura 27.** Valores obtenidos de ClCe en los cuatro tratamientos.



### 3.3 PRODUCCIÓN DE ACELGA (*Beta Vulgaris* var. Penca blanca).

Inicialmente se calcularon los promedios para las variables evaluadas como: peso de las plantas, número de hojas y rendimiento; donde se observó que los mayores valores se obtuvieron en el tratamiento T2 (Figura 28).

**Figura 28.** Promedios de las variables evaluadas al final del ciclo de producción.



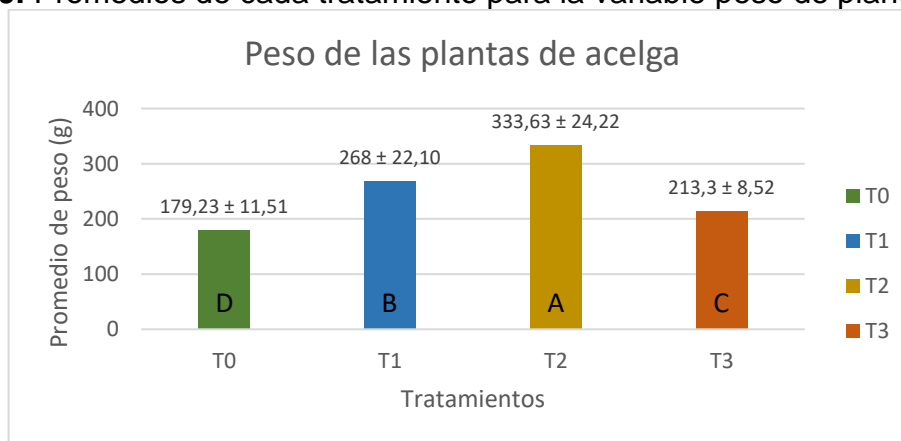
Los resultados obtenidos al evaluar el rendimiento y producción del cultivo de acelga para los cuatro tratamientos determinaron que el mayor rendimiento se obtuvo en el T2 con una producción de 16 kg en 3 m<sup>2</sup>. El rendimiento más bajo se encontró en el T0 con una producción de 8,6 kg en 3 m<sup>2</sup>.

Al observar el análisis químico de los compost obtenidos, se determinó que los mejores tratamientos estadísticamente fueron el T0 y T2, sin embargo, en el rendimiento y producción de acelga el mejor tratamiento fue el T2, esto se puede explicar debido a que la mayor infestación de plagas e incidencia de enfermedades se presentó en el T0 lo que afectó y disminuyó el área foliar, en consecuencia, los resultados obtenidos para rendimiento, peso de las plantas y número de hojas fueron menores. Según la teoría de la trofobiosis el incremento de nitrógeno amoniacal (aminoácidos libres) y azúcares simples en la savia de la planta está relacionado con el incremento poblacional de insectos fitófagos (Cano y Muñoz, 2015) por esta razón el T0 pudo tener una mayor infestación de plagas debido a su mayor contenido de N.

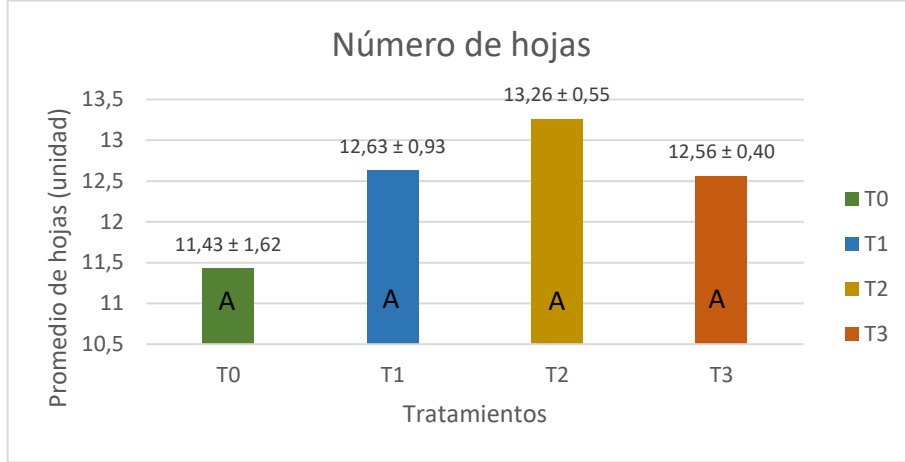
El análisis de varianza (ANOVA) (Anexo J al M) detectó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los tratamientos para las variables peso de las plantas, infestación de plagas e incidencia de enfermedades.

Con el fin de determinar cuáles tratamientos se diferenciaban se realizó la prueba de promedios de Duncan (Figura 29), la cual permitió detectar que para la variable peso de las plantas todos los tratamientos son diferentes, mientras que para número de hojas todos los tratamientos son iguales (Figura 30). Para infestación de plagas se encontraron diferencias entre el T0 con los tratamientos 1 y 2, por otro lado, para el T1 y T3 no hay diferencias significativas, así mismo no se encontraron diferencias entre T1 y T2 (Figura 31), por último, en cuanto a incidencia de enfermedades se formaron dos grupos: el primero conformado por T0 y T3 y el segundo T1 y T2 (Figura 32).

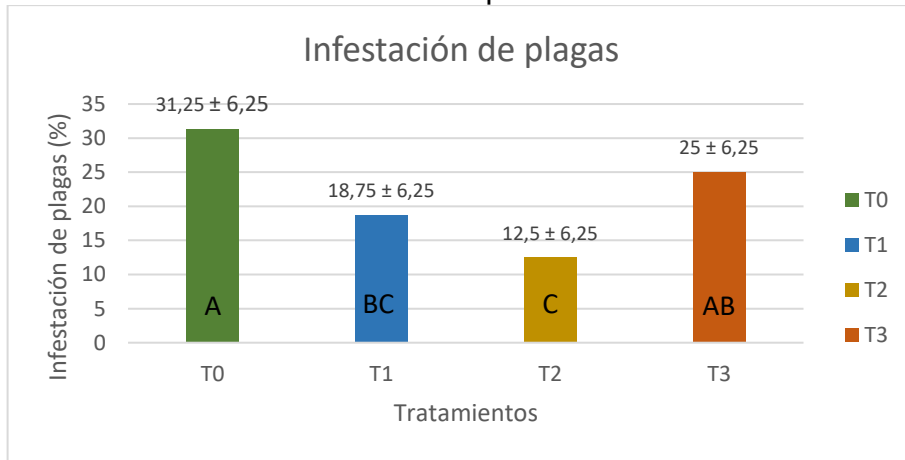
**Figura 29.** Promedios de cada tratamiento para la variable peso de plantas.



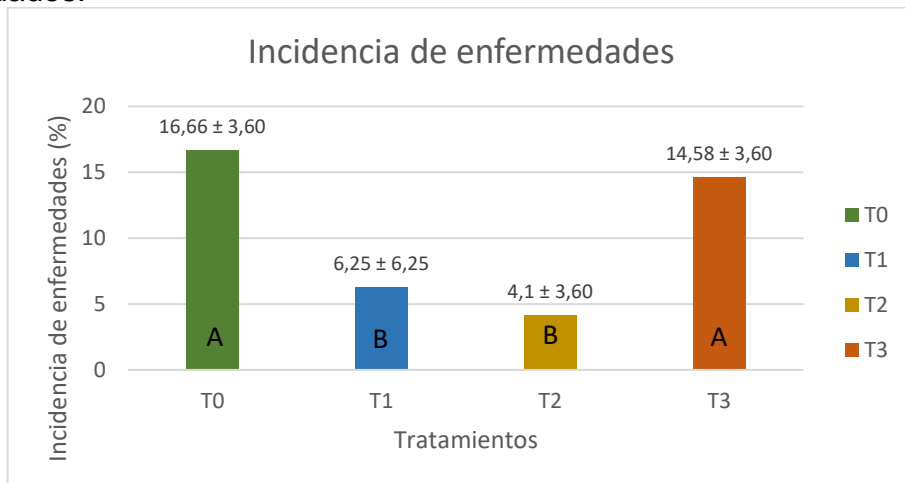
**Figura 30.** Promedios de cada tratamiento para la variable número de hojas.



**Figura 31.** Promedios de cada tratamiento para la variable infestación de plagas.



**Figura 32.** Promedios de cada tratamiento para la variable incidencia de enfermedades.



El efecto de la aplicación de los tratamientos T2 y T1 sobre la producción de acelga, se ve reflejado en la ganancia promedio de peso que en el T2 fue de 186% y en T1 de 149% comparado con el T0; en cuanto al número de hojas la diferencia fue de 116% y 110% respectivamente en comparación con el tratamiento T0 (Anexo N). Los abonos orgánicos como el compost suministran nutrientes a las plantas de manera lenta lo cual ayuda a mejorar la estructura del suelo y la disponibilidad de carbono y nitrógeno que son nutrientes fundamentales para el crecimiento vegetal, esto se ve reflejado en las variables peso de las plantas y número de hojas (Ronquillo, 2017).

El cultivo de acelga fue afectado por la plaga *Agrotis ipsilon*, un gusano trozador que causó principalmente daños en la lámina foliar generando perforaciones circulares (Anexo O). *Agrotis ipsilon* tuvo una afectación media en T1 y T2, seguido del T3 que tuvo una afectación severa y el T0 con una afectación muy severa. El hongo *Cercospora beticola* ocasionó en las hojas afectadas pequeñas manchas casi circulares de un color gris-parduzco que representan la zona de hoja muerta a causa de la actividad del hongo, este ataque se clasificó como daño bajo para el T2, daño moderado en el T1 seguido de T3 y T0 con un daño medio.

#### 4. CONCLUSIONES

La utilización de un prototipo de compostera circular para realizar procesos de compostaje a partir de residuos sólidos orgánicos domésticos aprovechando microorganismos eficientes, es una alternativa viable que mejora la disposición final de estos residuos generados en los sectores urbanos y periurbanos.

El proceso de descomposición en la compostera circular se caracterizó porque las temperaturas fueron muy bajas comparadas con las condiciones normales de un compostaje, el uso de aserrín de pino como sustrato ayudó a facilitar el control de la humedad dentro de la compostera y la aplicación de microorganismos eficientes (EM) permitió disminuir los malos olores y por ende la presencia de vectores.

El compost elaborado a partir de RSOD en las composteras circulares cumple con la mayoría de los parámetros establecidos por la NTC 5167, en cuanto a  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  y CICE se presentaron valores por debajo de lo sugerido en la norma.

El T2 (75% RSOD + 25% aserrín + EM) presentó los mejores valores en ganancia de peso y número de hojas en acelga, disminuyendo la incidencia e infestación por enfermedades y plagas.

## 5. RECOMENDACIONES

Continuar con la evaluación de diferentes proporciones de RSOD y sustratos en composteras circulares con el propósito de fortalecer la investigación con base al uso adecuado de este prototipo de composteras.

Evaluar la compostera circular comparada con un proceso de compostaje en pila con el propósito de validar el prototipo.

Utilizar siempre un sustrato seco en diferentes proporciones lo que permitirá hacer control de la humedad en las composteras circulares que pueda disminuir los malos olores y presencia de vectores.

Para mejorar la calidad del compost obtenido a partir de RSOD en cuanto al contenido de  $P_2O_5$  se recomienda incorporar cenizas de incineración procedentes de residuos vegetales y para la deficiencia de  $K_2O$  la incorporación de residuos de banano.

Determinar contenido de materia seca en el compost y realizar el análisis microbiológico al compost obtenido de las composteras circulares para determinar la presencia de microorganismos benéficos y/o patógenos.

Sensibilizar a la comunidad con referencia a la producción de abonos orgánicos con la utilización de un prototipo de compostera circular debido a su fácil manejo y su adaptabilidad a espacios interiores, dándole un valor agregado a los residuos orgánicos contribuyendo en aspectos ambientales, culturales y sociales.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, José Antonio; GONZALEZ, José; CEGARRA, Juan. Measuring detoxification and maturity in compost made from alperujo the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system. *Chemosphere*. 2006. (64), 470-477 p.

ALBUQUERQUE, José Antonio; GONZALEZ, José; TORTOSA, German; AIT-BADDI, Ghita; CEGARRA, Juan. Evaluation of alperujo composting base on organic matter degradation. Humification and compost quality. *Biodegradation*. 2009. (20), 250-270 p.

ALCALDÍA DE POPAYÁN. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), según la metodología establecida en la Resolución 0754 del 2014. Popayán (Colombia): 2016, 358–388 p.

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA. Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Bogotá (Colombia): 2014, 37- 69 p.

AMADOR DIAZ, Veliz Lorenzo y BATALLER, Venta. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. En: *Cenic. Ciencias químicas*. V. 46. 2015. <https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>.

ANACONA PINO, Oscar Stiven y MOSQUERA GONZALEZ, ANA SULEY. Estandarización del compostaje de biomasa de morera *Morus sp.* Bajo condiciones ambientales del centro de estudios vegetales la Rejoya, Popayán. [tesis de ingeniería Agropecuaria]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de ciencias Agrarias, 2018, 55 p.

AVELLANEDA ENRÍQUEZ, Fred Xenia Estefanía. Protocolo para la producción de compost de residuos sólidos Orgánicos del mercado de la ciudad de Lambayeque. [Tesis de Ingeniería Ambiental]. Chiclayo (Perú): Universidad de Lambayeque, Facultad de Ciencias de Ingeniería, 2019, 27 p.

AYMACAÑA ALBÁN, Alexandra Elizabeth. Caracterización bromatológica de la cáscara de aguacate (*Persea americana*) y posterior extracción e identificación de

la fracción con mayor actividad antimicrobiana y antioxidante. 2018. Tesis de Licenciatura. Quito: UCE.

AZNAR, Rosa y ZÚÑIGA, Manuel. ¿Qué son las bacterias lácticas? Dpto. Biotecnología de Alimentos, Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC) y Dpto. Microbiología y Ecología. Universidad de Valencia, Valencia, 2006. 6p.

BARDGETT, R. D. La biología del suelo: un enfoque comunitario y ecosistémico, Oxford, Reino Unido. Oxford Universidad Press. 2005

BEDOYA MEJÍA, Oswaldo; MONTOYA MARTÍNEZ, Diana Victoria; CASTRILLÓN QUINTANA, Olivia. Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. 2012.

BEJARANO, Eugenia y DELGADILLO ACOSTA, Sandra. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá “La Modelo” por medio de la utilización de Microorganismos eficientes. [Tesis de Ingeniería Ambiental]. Bogotá (Colombia): Universidad de la Salle, facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2007. 30, p.

BOHÓRQUEZ SANTANA, Wilson. *El proceso de compostaje*. Universidad de la Salle, 2019. <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>

BOLAÑOS, E., VALLEJOS, M., & VELASCO, J. Informe del estado de los recursos naturales y del Medio Ambiente de Popayán vigencia 2013. Popayán (Colombia) 2014, 46 p.

BRITO, Hannibal; VITERI, Rafaela; GUEVARA, Luis; VILLACRES, Mario. Obtención de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado mayorista del Cantón Riobamba. *European Scientific Journal*, vol. 12, 2016, p. 76-94.

CANO ORTIZ, Magnolia del Pilar y MUÑOZ FLÓREZ, Jaime Eduardo. Efecto de fuente y grado de transformación de abonos orgánicos sobre parámetros biológicos y poblacionales de *Macrosiphum euphorbiae* en tomate. En V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata).2015.

CAMONES, C. & NOEMI, L. Efecto de la aplicación de tres dosis de humus y microorganismos eficaces en el cultivo del brocoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) en Marcará, Carhuaz. *UNASAM, Huaraz, Perú. En sitio web: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1062>*, 2015.

CAMPITELLI, Paola; CEPPI, Silvia; VELASCO, Manuel y RUBENACKER, Andrea. *Compostaje: Obtención de abonos de calidad para las plantas*. Edit. Brujas, 2016.

CAMPO MARTÍNEZ, Andrea del Pilar; ACOSTA SANCHEZ, Rosa Lina; MORALES VELASCO, Sandra y PRADO, Fabio Alonso. Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 2014, 79-87, p.

CARVAJAL, Katherine; GÓMEZ, Carlos; ARÉVALO, Gloria & SUAZO, Ángel. Efecto de la aplicación de cal dolomita sobre el pH del suelo y rendimiento de sorgo sureño en suelos de uso agrícola, Zamorano, Honduras. 2016.

CASTILLO, A.E; QUARÍN, S.H e IGLESIAS, M. Caracterización física y química de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura técnica, Corrientes*: 2000, 60 p.

CHAURASIA, A; MEENA, B; TRIPATHI, A; PANDEY, K; RAI, A. & SINGH, B. Actinomycetes: an unexplored microorganism for plant growth promotion and biocontrol in vegetable crops. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2018, v. 34, no. 9. <https://doi.org/10.1007/s11274-018-2517-5>.

CIEZA PEÑA, Jheyson Edgar. Aplicación de bacterias ácido-lácticas para acelerar la descomposición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el Centro de Compostaje. [Tesis de Ingeniería Ambiental]. Chiclayo (Perú). Universidad Cesar Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2017.

COCHACHI VELIZ, Edwin. Determinación del efecto de la relación C/N y la humedad en la calidad del compost obtenido a partir del tratamiento de residuos sólidos orgánicos del distrito de San Pedro de Saño mediante el proceso de degradación aerobia a nivel laboratorio [Tesis Ingeniería química]. San Pedro de Saño (Perú): Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de ingeniería química, 2008.

CONTRERAS, J. L; ROJAS, J; ACEVEDO, I & ADAMS, M. Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. *Rev. Fac. Agron.(LUZ)*, 2014, vol. 1, no Supl 1, p. 489-501.

COSTA COEDOBA, Tayana Catalina. Uso de estiércol caprino y bocashi en el cultivo de acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla Pers) en el colegio de bachillerato Puyango de la parroquia Alamor [Tesis de tecnología en producción y extensión agropecuaria]. Zapotepamba (Ecuador): Universidad Nacional de Loja, área agropecuaria y de recursos naturales renovables, 2015, 5-6 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL ADMINISTRATIVO DE ESTADISTICA (DANE). Economía circular cuarto reporte. Informe de la Cuenta Satelite de Economía Circular. 2021, 57 p.

DIAS, B; SILVA, C; HIGASHIKAWA, F. S; ROIG, A. Use of biochar as bulking agent for the composting of poultry manure: Effect on organic matter degradation and humification. *Bioresource Technology*. 2010. (101), 1239-1246, p.

DOCAMPO, Roberto. Compostaje y compost. *Revista INIA-Nº*, 2013, vol. 35, p. 64.

DORADO MACA; Luperli Yamileth. Evaluación de la infraestructura y plan de manejo para os residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje del municipio de Popayán [tesis de ingeniería agroindustrial]. Popayán (Colombia): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2018, 67-68 p.

DURÁN, Lolita; HENRÍQUEZ, Carlos. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 2007, vol. 31, no 1, p. 41-51.

ECOPAZ. Implementación, apropiación y validación de técnicas de agroecología en huertos urbanos de la periferia de Popayán. 2019.

EL GENDY, MERVAT Morsy Abbas Ahmed; AL ZAHRANI, Salha Hassan Mastour; EL-BONDKLY, Ahmed Mohamed Ahmed. Construction of potent recombinant strain through intergeneric protoplast fusion in endophytic fungi for anticancerous enzymes production using rice straw. *Applied biochemistry and biotechnology*, v. 183, n 1, 2017, p. 30-50.

ESCOBAR, Fabiola; SÁNCHEZ PONCE, José; AZERO, Mauricio. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N

y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, v. 5, n. 3, 2012. 390-410, p.

FLORES, A. Efecto de frecuencias de poda en dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla I.) en ambiente protegido. la paz, bolivia. Citado por CARRERA VERA, Holger Manuel. Comportamiento agronómico del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* I) con diferentes abonos orgánicos, en el colegio Pueblo Nuevo-El Empalme [Tesis de Licenciatura]. Quevedo (Ecuador): UTEQ, unidad de estudios a distancia, 2015, 19 p.

FOMBUENA BORRÁS, Vicent; DOMÍNGUEZ CANDELA, Iván. Estudio del área de compostaje para la revalorización de residuos orgánicos mediante proceso de compostaje. 2021. Departamento de Ingeniería Química y Nuclear (DIQN). Escuela politécnica superior de Alcoy (EPSA). Universidad politécnica de valencia.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Growing greener cities in Latin America and the Caribbean: An FAO Report on urban and peri-urban agriculture in the region. 2014. <http://www.fao.org/news/story/en/item/223292/icode/> [consultado 30 de abril de 2021].

GALVEZ SOLA, L; MORALES, J; MAYORAL, A; MARHUENDA EGEA, F; MARTINEZ SABATER, M; PEREZ MURCIA, M; BUSTAMANTE, M; PAREDES, C. And MORAL, R. Estimation of phosphorus content and dynamics during composting. Use of near infrared spectroscopy chemosphere. 2010. (78) 13-21, p.

GANUZA LARUMBE, Eduardo. Disponibilidad de nutrientes en fertilizantes orgánicos e inorgánicos a corto plazo en cultivo de lechuga y espinaca. 2014.

GARCÍA ALBACETE, Marta. Residuos orgánicos como fuentes de fósforo. [Tesis Doctoral]. agrónomos. Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid, Escuela técnica superior de Ingenieros agrónomos. 2014. 9 p.

GARCÍA BERRUGUETE, Patricia. Descomposición de alimentos. [En línea]. 2012. [Fecha de consulta: 6 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://adalilseguridadalimentaria.com/2012/12/28/descomposicion-delos-alimentos/>.

GARCÍA, Gustavo Castro; TORRES, Martha Constanza Daza; REBELLON, Luis Fernando Marmolejo. Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versailles, Valle del Cauca. *Gestión y Ambiente*, 2016, vol. 19, no 1, p. 179-191.

GOITES, Enrique. Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. Edición literaria a cargo de Janine schonwald, Buenos Aires Argentina, instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) 2008. n, 1. 21-23 p.

GOMEZ, J. Abonos orgánicos. Cali, Colombia. Citado por RESTREPO, José; GOMEZ, Jairo y ESCOBAR, Roosevelt. Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura. Centro Internacional de Agricultura tropical (CIAT). 2014, 20 p.

GONZÁLEZ DE LA CRUZ, J. Ulises; RODRIGUEZ PALMA, J. Jessica; ESCALANTE HERRERA, Karla; DE LA TORRE GUTIERREZ, Lázaro; PEREZ MORALES, Rosalba; DE LA CRUZ LEYVA, María Concepción. Identificación genética de bacterias ácidolácticas nativas en leche cruda de vaca y queso Poro artesanal. *Manglar*, 2021, vol. 18, no 1, p. 7-13.

GONZÁLEZ GALVIS, José Ariel. Residuos sólidos problemas, conceptos básicos y algunas estrategias de solución. *Revista Gestión y Región*, 2016. n, 22. 101-119, p.

HIGA, Raúl. Tecnología EM-1: Una solución a todos los problemas ambientales generados por la materia orgánica en el agua, el aire y el suelo. [diapositiva]. Argentina, 2009. 42 diapositivas, col.

HERNÁNDEZ, Loracnis. Revisión bibliográfica la agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales, como vía para la seguridad alimentaria en nuestras ciudades. En rev. *Cultivos Tropicales*. 2011, vol. 27, nro. 3. 13-25, p.

HERNÁNDEZ, R. Nutrición mineral de las plantas. [Tesis de ingeniería Foresta]. Mérida (Venezuela). Departamento de Botánica. 2002. 32 p.

INGA ALCANTARA, July Roxana. Eficiencia del tratamiento de residuos orgánicos pecuarios en composteras, mediante microorganismos eficientes presentes en la col china. [tesis de ingeniería ambiental]. Huánuco (Perú): Universidad de Huánuco, facultad de ingeniería, 2018, 40 p.

INTA; ACICAFOC y FUNDECOOPERACION. Acido láctico (LACE): Mejorador del compost. 2013. Disponible en: <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/03/00513-tecnologias-aci.pdf>.

JARAMILLO HENAO, Gladys y ZAPATA MÁRQUEZ, Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos Orgánicos en Colombia. Monografía (Especialista en Gestión Ambiental). Asesor: Blga. Puerta Echeverri, Silvia. Antioquia, Colombia, Universidad de Antioquia, 2008. 26p.

KALIL PERDOMO, Sandra. Seguimiento del proceso de humificación en compost inoculado. [Tesis de Microbiología Industrial]. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá: 2007.

LOPEZ CALLEJAS, Claudia Milena & LOPEZ, José Mario. Implementación de un mecanismo de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos para el hogar infantil personitas de Tunja [tesis de ingeniería Ambiental]. Tunja (Colombia): Universidad de Antioquia, Escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y de medio ambiente, 2018, 26 p.

LUNA FEIJOO, María Andrea & MESA Reinaldo; José Ramón. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea], v. 4, n. 2, 2016. 31-40, p.

MAQQUE PEREZ; Alex. Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en la producción de compost y bocashi con bioaceleradores en el parque La Alborada, Lima 2018 [tesis de ingeniería Ambiental]. Lima (Perú): Escuela profesional de ingeniería ambiental, Facultad de ingeniería, 2018, 13 p.

MEJÍA SOTO, Juan Jesús. Producción de pinus patula Schl. Et Cham. En sustratos a base de aserrín crudo y dosis de fertilización. 2007.

MELENDREZ MORETO, Nesli Areli & SANCHEZ DELGADO, Jhasely. Compostaje de residuos sólidos orgánicos utilizando microorganismos eficientes en el distrito de Cacatachi [tesis de ingeniería Ambiental]. Tarapoto (Perú): Universidad Peruana Unión, Facultad de ingeniería y Arquitectura, 2019, 20 p.

MELGAR VALDES, Carolina Esther; BARBA MACÍAS, Everardo; ÁLVAREZ GONZÁLEZ, Carlos Alfonso; TOVILLA HERNANDEZ, Cristian y SANCHEZ,

Alberto. Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* (Decapoda: Penaeidae) en cultivo intensivo. *Revista de Biología Tropical*, v. 61, n. 3, 2013, p. 1215-1228.

MENDEZ MUÑOZ, Oscar Eduardo. Re-asimilación de residuos sólidos Orgánicos originados en el centro comercial campanario mediante procesos de humificación y compostaje. [tesis de ingeniería Agropecuaria]. Popayán (Cauca): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2004, 41 p.

MÉNDEZ YUSTRES; Carlos Andrés. Evaluación del comportamiento de las propiedades fisicoquímicas y biológicas en un suelo sódico del guacanal- cerrito. (Valle del cauca) tratado con un inoculante biológico. Citado por GUEVARA-PESCADOR; Julián Andrés. Fundamentos para el estudio, identificación y propuesta metodológica de la capacidad de intercambio catiónico una propuesta para suelos asociados al cultivo de caña de azúcar *Sacharum officinarum* L. En el departamento del valle del cauca [tesis de Química]. Palmira (Valle del Cauca): Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería, 2017, 36-37 p.

MONTES CORTEZ, Carolina. Estudio de los residuos sólidos en Colombia. Universidad externada de Colombia, 2018. 11, p.

MORALES CANCINO, Janeth. El cultivo de la acelga (*Beta vulgaris* var. Cicla) [Tesis de Ingeniería Agronómica]. Veracruz (México): Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias biológicas y Agropecuarias, 2012.

MORIONES, R. MONTES, R. Aporte de *tithonia diversifolia* en abonos orgánicos: efecto en producción y suelo en Cauca, Colombia, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2017, 11 p.

MOROCHO, Mariuxi Tanya y LEIVA MORA, Michel. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, v. 46, n 2, 2019. 93-103, p.

MUÑOZ, James; DORADO, Jhon; PÉREZ, Edier Humberto. Sistema de compostaje y lombricompostaje aplicado en residuos orgánicos de una galería municipal. *suelos Ecuatoriales*, v. 45, n 2, 2015. <https://doi.org/10.47864>.



MUÑOZ CUELLAR, Juan Manuel y MUÑOZ PERÉZ, JAVIER ANDRES. Evaluación de abonos orgánicos provenientes de residuos de cosecha y plazas de mercado de la ciudad de Popayán utilizando como indicadores plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) y repollo (*Brassica oleracea*) [tesis de ingeniería Agropecuaria]. Popayán (Cauca): Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, 2012, 45 p.

MUÑOZ, Juan Manuel; MUÑOZ, Javier Andrés; MONTES ROJAS, Consuelo. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 2015, vol. 13, no 1, p. 73-82.

MUÑOZ VILLALOBOS, Jesús Acadio; VELASQUEZ VALLE, Miguel Agustín; OSUNA CEJA, Salvador; MACIAS RODRIGUEZ, Hilario. El uso de abonos orgánicos en la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero. *Revista Chapingo serie zonas áridas*, 2014, vol. 13, no 1. 27-32, p.

NEGRO, M; VILLA, F; AIBAR, J; ARACON, R; SIRIA, P; CRISTOBAL, M; BENITO, A; GARCIA, A; GARCIA, G; LABRADOR, C; LACASTA, C; LEZAUN, J; MECO, R; PARDO, J; SOLANO, M; TORNER, C Y ZARAGOZA, C. Producción y gestión del compost. 2000. Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC. España: 2001.

NINCO CARDOZO, Cristian Felipe y SANCHEZ GONZÁLEZ, Jennifer Johana. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio del rosal, Cundinamarca. [tesis de ingeniería química]. Cundinamarca (Colombia): Fundación Universidad de América, Facultad de ingenierías, 2017, 67-68 p.

NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167. Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas del suelo. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC. Bogotá: 2011.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA (FAO). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. 2013. <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf> [consultado marzo 29 de 2021].

ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). *Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y*

*el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. 2018. <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe> [consultado marzo 29 de 2021].

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA, (FAO). Agricultura urbana. 2019. <http://www.fao.org/urban-agriculture/es/>. [consultado abril 15 de 2021].

ORGANIZACIÓN PARA EL PROGRESO INDUSTRIAL, ESPIRITUAL Y CULTURAL (OISCA). Manual Práctico de Uso de EM: Proyecto de Reducción de Pobreza y Mejora de las Condiciones Higiénicas de los Hogares de la Población Rural de Menores Recursos. Uruguay, 2009. 5p.

PEREZ, G; COPACALLE, A; SAAVEDRA y HEREDIA, L. Alimentos balanceados y abonos orgánicos a partir de cascaras de frutas y hortalizas. Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca-Facultad de Tecnología. Bolivia, 2015.

PÉREZ, José Joaquín. Cultivos II Hortalizas y frutales. Primera edición. Unad, 2000. 126-132 p.

PILLCO MAMANI, Katia. Evaluación del proceso de compostaje de residuos orgánicos, aplicando microorganismos eficaces [Tesis de Licenciatura en Biología]. Puno (Perú): Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de ciencias biológicas, 2020, 13 p.

PINEDA-PINEDA, Joel; SANCHEA- DEL CASTILLO, Felipe; RAMIREZ-ARIAS, Armando; CASTILLO-GONZALEZ, Ana María; VALDEZ-AGUILAR, Luis Alfonso; MORENO-PEREZ, Esaú Del Carmen. Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, v. 18, n 1, 2012. 95-111, p.

PUERTA ECHEVERRI, Silvia María. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de Investigación* [en línea]. 2004, 1(1), 56-65[fecha de Consulta 18 de Enero de 2022]. ISSN: 1794-4449. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69511009>.

QUEVEDO BARRIOS, Paula Daniela. Estudio de factibilidad de un sistema de aprovechamiento para el manejo integral y disposición final de los residuos sólidos orgánicos en el casco urbano del municipio de Granada-Cundinamarca [tesis de ingeniería ambiental]. Universidad Santo Tomas, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2019, 72, p.

QUISPE, Yoselin Callisaya y CHÁVEZ FERNANDEZ, Celia María. Evaluación del efecto que tienen los microorganismos eficientes (EM), en el cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), municipio de Achocalla. *Apthapi*, v. 3, n 3, 2017, 652-666, p.

RAMÍREZ PLAZAS, Liliana Paola & MURCIA CASTIBALNCO, Gilma Johana. Aplicabilidad de cinco (5) alternativas para el manejo de los residuos biodegradables empleando técnicas de compostaje y biodegradación para el parque Memorial Jardines de Sana Isabel S.A.S., ubicado en la vereda Poravita municipio de Oitacá. Boyacá [tesis de ingeniería Ambiental]. Boyacá (Colombia): Universidad Nacional Abierta y a Distancia, escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, 2017, 31 p.

RAFAEL AVILA, María Del Pilar. Proceso de producción y aplicación del producto microorganismos eficaces en la calidad de compost a partir de la mezcla de tres tipos de residuos orgánicos. [Tesis de Ingeniería Forestal y Ambiental] Huancayo (Perú). Universidad Nacional del centro de Perú. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, 2015, 20 p.

REDÍN, L. Caracterización física, química y nutricional de dos ecotipos de acelga (*Beta vulgaris* L). Citado por SORIA PROAÑO, Fredy Adrian. *Comportamiento agronómico de las hortalizas acelga (*Beta vulgaris*) y brocoli (*Brassica oleracea*) con dos abonos orgánicos en el Centro Experimental "La Playita"-UTC 2013*. 2015. Tesis de Licenciatura. LA MANÁ/UTC/2015.

REDÍN, L. 2009. caracterización física, química y nutricional de dos eco tipos de acelga (*beta vulgaris* L). Quito-Ecuador. 174 p.

ROMÁN, Pilar; MARTINEZ, María; PANTOJA, Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile Experiencias en América Latina. 2013. p, 112 <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf> [consultado marzo 29 de 2021].

RONQUILLO MORÁN, Andy Ramón. Estudio del comportamiento agronómico del cultivo de acelga (*Beta vulgaris* L.), bajo fertilización orgánica edáfica y foliar [tesis

de licenciatura]. Los Ríos (Ecuador): Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2017, 30 p.

RUIZ, Julio José. Análisis del estado del arte de alternativas de gestión de biorresiduos mediante compostaje [tesis de ingeniería química]. Cantabria (España): universidad de Cantabria, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones, 2019, 12 p.

SANCHEZ, B; RUIZ, M; RIOS, M. Materia orgánica y actividad biológica. Revista: Agronomía tropical. 55(4): 507-534. 2005

SERRET GUASCH, Nurian; GIRALT ORTEGA, Giselle; QUINTERO RÍOS, Mairret. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *Tecnología química*, v. 36, n 3, 2016, p. 395-405.

SIATOYA RAMIREZ, Karen Johana y ARCE PORTILLA, Yiovann Alirio. Aprovechamiento de los residuos generados en la plaza de mercado de Corabastos para la elaboración de productos de valor agregado: contexto actual, perspectiva y posibles soluciones [tesis de ingeniería química]. Bogotá (Colombia): Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de ciencias naturales e ingeniería, 2019, 20 p.

SILVA, Juan Pablo; LÓPEZ, Piedad y VALENCIA, Pady. Recuperación de nutrientes en fase solida a través del compostaje. [tesis de ingeniería Ambiental]. Cali (Colombia): Universidad del Valle, Facultad de ingeniería, 2009, 45 p.

SORIANO, vilcahuaman. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de Microorganismos eficaces. Concepción [tesis de ingeniería Ambiental]. Lima (Perú): Universidad Nacional del centro del Perú, 2016, 32 p.

TENDERO, marjorie; GUYOT PHUNG, Carola. The revival of urban agriculture: an opportunity for the composting stream. *Field Actions Science Reports. The journal of field actions*, no Special Issue 20, 2019, p. 40-51.

TORTOSA, German. Carbono orgánico soluble como índice de calidad de un compost. Compostando Ciencia. España: 2013.

UNEP. GEO-6 Regional Assessment for Latin America and the Caribbean. [https://www.researchgate.net/publication/304729294\\_Global\\_Environment\\_Outloo](https://www.researchgate.net/publication/304729294_Global_Environment_Outloo)

k GEO6 Regional Assessment for Latin America and the Caribbean CHAPTER 21 AIR UNEP/citation/download. 2016. [consultado abril 15 de 2021].

VALDIVIESO UGARTE, Magdalena. Obtención y caracterización de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* superproductoras de glutación [tesis de doctorado en química] Granada: Universidad de Granada, Departamento de biotecnología, 2013, 49 p.

VALLEJO AMAYA, Jéssica Elizabeth. Elaboración de un manual guía técnico práctico del cultivo de hortalizas de mayor importancia socio-económica de la región interandina [tesis de ingeniería agronómica]. Quito (Ecuador): Universidad central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, 2013, 59-63 p.

VILLEGAS CORNELIO, Víctor Manuel y LAINES CANEPA, José Ramón. Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, v. 8, n. 2, 2017, p 393-406.



VURUKONDA, Sai Shiva; KRISHNA PRASAD, Giovanardi; DAVIDE, Stefani, EMILIO. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International journal of molecular sciences*, 2018, vol. 19, no 4, p. 952.

YANG, Zhong; Jiang, ZHEHUI; HSE, Chung y LIU, Ru. Assessing the impact of wood decay fungi on the modulus of elasticity of slash pine (*Pinus elliottii*) by stress wave non-destructive testing. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 117, 2017, p. 123-127. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.12.003>.

ZHANG, M; LI, B. y XIONG, Z.Q Effects of organic fertilizer on net global warming potential under an intensively managed vegetable field in southeastern China: A three-year field study. *atmospheric Environment*, 145, 2016, 93-103, p.



## ANEXOS

### Anexo A. Encuesta de identificación sobre la generación de RSOD en las familias participantes.

	 <b>Proyecto: Uso eficiente de residuos sólidos orgánicos domésticos en huertos urbanos con comunidades vulnerables por la pandemia y en condiciones de pobreza ID 5505.</b> Ficha de caracterización inicial de familias (Huertos urbanos)		
1. Municipio:	Papayan	2. Vereda ó barrio:	
4. Celular:	3205086977	5. Fecha de inicio:	27 2021 3
6. Persona a cargo:	Lisbarrá Hernández	Responsable:	
7. ¿Edades de las personas que viven en el hogar?  4	Edades		Mujer
	0 a 5 años		X
	6 a 17 años		X
	Jóvenes menores de 30 años		si mujer
Adultos mayores de 30 años		adulto mayor	hombres 30 años
8. ¿En total cuántas personas viven en el hogar?	4		hombres mayor edad
Caracterización de los residuos sólidos orgánicos domésticos			
Fecha	Peso de los residuos (gramos)	Tipo de residuos	
27-2021 3	643	cascara de zanahoria papa cascara maduros	
28-2021 3	332	cascara huevos plátano y varios cereales	
29-2021 3	473	cascaras varios papa zanahoria yuca cascara	
30-2021 3	70,8	cascaras papa lechuga tomate arbol mango abolla	
31-2021 3	666	cascara papa mango lechuga yuca zanahoria	
1-2021 4	7400	cascara yuca plátano manzana mango yuca	
2-2021 4	7794	cascaras de mango piña tomate calabaza plátano	

Observaciones:

**Anexo B.** Planilla de registro de variables en el proceso de compostaje.

 <b>PROYECTO: Evaluación de la eficiencia de RSOD en composteras circulares para su uso como abono orgánico ID 5505</b> 													
REGISTRO DE VARIABLES DE COMPOSTAJE													
<b>Responsable:</b>								<b>Huerto:</b>					
<b>Fecha de inicio:</b>								<b>final:</b>					
<b>Tratamiento: 3</b>				<b>100% RSOD + EM</b>									
FECHA	Variables	T3R1				T3R2				T3R3			
	Temperatura												
	pH												
	Humedad	S	H	MH		S	H	MH		S	H	MH	
	Olor	MD	D	N	T	MD	D	N	T	MD	D	N	T
	Color	O	MC	MO		O	MC	MO		O	MC	MO	
	Temperatura												
	pH												
	Humedad	S	H	MH		S	H	MH		S	H	MH	
	Olor	MD	D	N	T	MD	D	N	T	MD	D	N	T
	Color	O	MC	MO		O	MC	MO		O	MC	MO	
	Temperatura												
	pH												
	Humedad	S	H	MH		S	H	MH		S	H	MH	
	Olor	MD	D	N	T	MD	D	N	T	MD	D	N	T
	Color	O	MC	MO		O	MC	MO		O	MC	MO	
	Temperatura												
	pH												
	Humedad	S	H	MH		S	H	MH		S	H	MH	
	Olor	MD	D	N	T	MD	D	N	T	MD	D	N	T
	Color	O	MC	MO		O	MC	MO		O	MC	MO	
	Temperatura												
	pH												
	Humedad	S	H	MH		S	H	MH		S	H	MH	
	Olor	MD	D	N	T	MD	D	N	T	MD	D	N	T
	Color	O	MC	MO		O	MC	MO		O	MC	MO	

**Observaciones:**

**Humedad:** Seca (S), Húmeda (H), Muy Húmeda (MH).

**Olor:** Muy desagradable (MD), Desagradable (D), Neutro (N), Tierra (T).

**Color:** Original (O), Marrón claro (MC), marrón oscuro (MO).

**Anexo C.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para materia orgánica.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	112,32	37,44	13,14	0,0019
Error	8	22,79	2,84		
Total	11	135,11			

Parámetro	Tratamiento	Media	
Materia orgánica	T0	32,71	A
	T1	29,32	B
	T2	29,54	AB
	T3	25,17	C



**Anexo D.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para carbono orgánico.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	37,81	12,6	13,13	0,0019
Error	8	7,68	0,96		
Total	11	45,49			

Parámetro	Tratamiento	Media	
Carbono orgánico	T0	18,97	A
	T1	17	B
	T2	17,13	AB
	T3	15,02	C

**Anexo E.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para nitrógeno.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	0,28	0,093	13,09	0,0019
Error	8	0,057	0,0071		
Total	11	0,33			

Parámetro	Tratamiento	Media	
Nitrógeno	T0	1,63	A
	T1	1,48	A
	T2	1,47	A
	T3	1,21	B

**Anexo F.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para fósforo.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	0,023	0,00076	10,52	0,0038
Error	8	0,00058	0,000073		
Total	11	0,0028			

Parámetro	Tratamiento	Media	
P2O5	T0	0,052	A
	T1	0,013	C
	T2	0,04	AB
	T3	0,034	B

**Anexo G.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para potasio.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	0,0013	0,00044	3,81	0,0579
Error	8	0,00093	0,00011		
Total	11	0,0022			

Parámetro	Tratamiento	Media	
K2O	T0	0,34	AB
	T1	0,32	B
	T2	0,33	AB
	T3	0,35	A

**Anexo H.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para pH.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	5,05	1,68	16,47	0,0009
Error	8	0,81	0,1		
Total	11	5,86			

Parámetro	Tratamiento	Media	
pH	T0	8,05	BC
	T1	7,63	C
	T2	8,57	B
	T3	9,4	A

**Anexo I.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para CICE.

Fuente de variación	G.L	S.C	C.M	F.C	F.T
Tratamientos	3	58,85	19,61	55,37	0,0001
Error	8	2,83	0,35		
Total	11	61,68			

Parámetro	Tratamiento	Media	
CICE	T0	21,46	A
	T1	18,37	B
	T2	16,41	C
	T3	21,73	A

**ANEXO J.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para peso de las plantas.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F.C</b>	<b>F.T</b>
Tratamientos	3	40994,5158	13664,8386	42,69	0,0001
Error	8	2560,8733	320,1091		
Total	11	43555,3891			

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	
<b>Peso de la planta</b>	T0	179,23	D
	T1	268	B
	T2	333,63	A
	T3	213,3	C

**Anexo K.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para número de hojas.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F.C</b>	<b>F.T</b>
Tratamientos	3	5,23	1,74	1,75	0,23
Error	8	7,96	0,99		
Total	11	13,2			

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	
<b>Número de hojas</b>	T0	11,43	A
	T1	12,63	A
	T2	13,26	A
	T3	12,56	A



**Anexo L.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para infestación de plagas.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F.C</b>	<b>F.T</b>
Tratamientos	3	585,93	195,31	5	0,0306
Error	8	312,5	39,06		
Total	11	898,43			

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	
<b>Infestación de plagas</b>	T0	31,25	A
	T1	18,75	BC
	T2	12,5	C
	T3	25	AB

**Anexo M.** Análisis de varianza y prueba de promedios de rangos múltiples Duncan para incidencia de enfermedades.

<b>Fuente de variación</b>	<b>G.L</b>	<b>S.C</b>	<b>C.M</b>	<b>F.C</b>	<b>F.T</b>
Tratamientos	3	338,54	112,84	5,78	0,0211
Error	8	156,25	19,53		
Total	11	494,79			

<b>Parámetro</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Media</b>	
<b>Incidencia de enfermedades</b>	T0	16,66	A
	T1	6,25	B
	T2	4,1	B
	T3	14,58	A

**Anexo N.** Registro en campo de peso de las plantas y número de hojas con sus tres repeticiones durante todo el ciclo de siembra de los tratamientos T0 al T3.

T0	R1	P	170	186	127	156	198	178
		N	9	11	10	12	13	9
	R2	P	198	186	174	129	192	181
		N	9	11	9	10	11	12
	R3	P	216	276	170	155	163	171
		N	14	17	13	11	13	12
T1	R1	P	220	245	248	278	288	196
		N	16	13	12	15	12	14
	R2	P	246	278	288	296	311	321
		N	11	9	14	13	12	14
	R3	P	274	288	296	219	256	276
		N	12	9	14	12	13	12
T2	R1	P	347	388	326	324	356	366
		N	13	12	14	13	12	12
	R2	P	308	325	297	276	354	276
		N	10	16	15	13	12	14
	R3	P	311	309	396	350	329	367
		N	12	16	15	12	14	14
T3	R1	P	206	208	222	248	199	214
		N	14	13	12	10	15	14
	R2	P	204	237	265	203	196	215
		N	12	15	12	14	10	10
	R3	P	199	174	196	202	206	245
		N	12	14	10	14	12	13

P= peso por planta.

N= número de hojas.

**Anexo O.** Registro en campo del número de plantas afectadas por plagas y enfermedades durante todo el ciclo de siembra en las tres repeticiones de los cuatro tratamientos.

		Número de plantas afectadas	
		PLAGAS	ENFERMEDADES
T0	R1	5	3
	R2	4	3
	R3	6	2
T1	R1	4	1
	R2	2	2
	R3	3	0
T2	R1	3	0
	R2	2	1
	R3	1	1
T3	R1	3	2
	R2	4	2
	R3	5	3