

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**Título de tesina:**

**“Adaptación de la metodología de biorreactores Johnson-Su como alternativa de compostaje a los altos índices de residuos orgánicos.”**

**POR**

**BR. HUGO ANTONIO SANCHEZ MARTÍNEZ**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

**DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**



**Título de tesina:**

**“Adaptación de la metodología de biorreactores Johnson-Su como alternativa de compostaje a los altos índices de residuos orgánicos.”**

**POR**

**BR. HUGO ANTONIO SANCHEZ MARTÍNEZ.**

**REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, 03 DE NOVIEMBRE, 2025.**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.**

**RECTOR**

**ING. M.SC. JUAN ROSA QUINTANILLA.**

**SECRETARIO GENERAL**

**LIC. PEDRO ROSALIO ESCOBAR CASTANEDA.**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**DECANO**

**MAECE. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO.**

**SECRETARIO**

**ING. M.Sc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA.**

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**M. Sc. JOSÉ MAURICIO TEJADA ASCENSIO.**

**ASESOR INTERNO**

**ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUIN REINA.**

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION DEL  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE.**

**ING. AGR. JUAN GERARDO MARROQUIN REINA.**

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN. ....	1
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. ....	3
3	OBJETIVOS. ....	6
3.1	Objetivo General.....	6
3.2	Objetivos Específicos. ....	6
4	MARCO TEÓRICO. ....	7
4.1	La Agroecología.....	7
4.2	La Agroecología en la región.....	7
4.3	La Agricultura Orgánica.....	9
4.4	Principios básicos de la agricultura orgánica.....	9
4.5	Situación actual sobre la agricultura orgánica en El Salvador. ....	10
4.6	El compost abonera de montón. ....	11
4.7	Desarrollo del compostaje. ....	12
4.8	Parámetros físicos y químicos de la calidad de compostaje.....	14
4.8.1	Temperatura.....	14
4.8.2	Humedad. ....	15
4.8.3	Potencial de Hidrógeno pH.....	16
4.8.4	Conductividad Eléctrica CE. ....	17
4.8.5	Cenizas.....	18
4.8.6	Nitrógeno.....	18
4.9	Sistema de compostaje Johnson-Su como alternativa.....	19
4.9.1	Algunas ventajas de los biorreactores de compostaje Johnson-Su. ....	20
5	METODOLOGÍA.....	21

5.1	Ubicación del Estudio.....	21
5.2	Metodología de Campo. ....	21
5.2.1	Construcción de la tarima.....	22
5.2.2	Elaboración del cilindro biorreactor.....	23
5.2.3	Recubrimiento con membrana de geotextil. ....	24
5.2.4	Sistema de aireación interna.....	25
5.2.5	Llenado del cilindro Biorreactor. ....	26
5.3	Cosecha del compost.....	31
5.4	ANALISIS DE RESULTADOS. ....	33
5.4.1	Rendimiento de producto final. ....	33
5.4.2	Temperatura.....	36
5.4.3	Humedad. ....	43
5.4.4	Potencial de Hidrogeno pH.....	44
5.4.5	Conductividad Eléctrica CE. ....	44
5.4.6	Cenizas.....	45
5.4.7	Nitrógeno.....	46
6	CONCLUSIONES.....	47
7	RECOMENDACIONES. ....	49
8	BIBLIOGRAFÍAS .....	50
9	Anexo.....	60
9.1	Cálculo del volumen del cilindro.....	60
9.2	Cálculo del área de recubrimiento interno.....	60
9.3	Análisis de resultados de muestras enviadas al laboratorio. ....	61
9.4	Calculo para determinar el rendimiento de compost. ....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de compostaje según su etapa según las diferentes escalas de temperaturas. .....	15
Figura 2. Temperaturas, niveles de niveles de oxígeno y pH en el proceso de compostaje.....	17
Figura 3. Geo referencia del lugar donde se desarrolló el estudio. ....	21
Figuras 4. Las siguientes fotografías muestran las herramientas al proceso de elaboración de tarimas y los resultados obtenidos. A) herramientas para la fabricación. B) trazos de madera en construcción de tarima.....	22
Figuras 5. Tarima en proceso de fabricación. A) Tarima con malla geotextil en medición. B) Tarima bajo estructura de biorreactor. ....	23
Figuras 6. Elaboración de cilindro compostero. A) Corte e electro malla. B) Armado de cilindro biorreactor en medida requerida. ....	23
Figuras 7. Proceso de recubrimiento de cilindro biorreactor. A) Toma de medidas de geo textil. B) Materiales previos a su colocación. C) Cilindro recubierto con geotextil. ....	25
Figuras 8. Proceso de preparación de sistema de ventilación. A). Ordenamiento de 4 tubos PVC 2 ½” como sistema de airado para proceso de compostaje. B). tubos de pvc previo al proceso de elaborado de agujeros. C). fotografía de la tubería instalada en su lugar. ....	26
Figuras 9. Recepción de materiales vegetales. A) Material fresco restos de poda. B) Restos de podas de pastos.....	28
Figuras 10. Materiales de llenado. A) Proceso de llenado de cilindro. B) Cilindro casi lleno...	29
Figuras 11. Llenado de cilindro. A). Cilindro llenado con material fresco parte superior. B). Cilindro lleno.....	29
Figuras 12. En imagen A y B, se observa cilindro lleno y finalizado en proceso. ....	29
Figuras 13. Estado del biorreactor previo al inicio del proceso de llenado. A) Cilindro vacío. B) Sistema de ventilación.....	30
Figuras 14. Materiales utilizados para llenar el cilindro bio reactor. A y B. ....	30

Figuras 15. Material vegetal. A) Restos de pastos. B) Procesos de llenado se ve el sistema de respiración del cilindro. ....	30
Figuras 16. Finalización del proceso de llenado. A) se observa una capa de material seco y descompuesto. B) se observa capa final con restos vegetales frescos.....	31
Figuras 17. Toma de muestras. A) Cosecha de compost a los 5 meses. B) Inicio de tamizado para toma de muestra.....	31
Figuras 18. Selección toma de muestras. A) Tamizado. B). Muestra seleccionada. ....	32
Figura 19. Ilustración 35. Muestras para su envío a laboratorio. ....	32
Figuras 20. Se observa el material cosechado después de 5 meses de compostaje. Fotografía A y B muestran material poco degradado de la parte superior del cilindro.....	34
Figuras 21. Proceso de compostaje. A) tamizaje de material. B). separación de material no tamizado, rocas maderas.....	35
Figuras 22. Fotografías A y B muestra el proceso que se realizó para tamizar la muestra.....	35
Figuras 23. En figuras A y B, Se muestra el material tamizado. ....	35
Figuras 24. Las siguientes fotografías muestran el proceso incremento de temperatura. A y B. refleja el inicio de la subida de temperatura. C y D. Muestran las temperaturas de etapa pre inicio termofílica. ....	37
Figuras 25. Tomas de muestras de temperaturas. A) Temperaturas 54.2 °C en figura B) se ve aumento de temperatura 15. 6°C. ....	38
Figuras 26. Se observa como la figuras A, B y C la temperatura ascendió hasta 69.8 °C.....	38
Figuras 27. Variación de temperaturas. A y B muestra como las temperaturas van descendiendo e iniciar el proceso mesofilia II, en figuras C, D y E Se observa etapa mesofilia con descenso de temperatura y estabilización a temperatura ambiente. ....	39

## INDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Materiales utilizados para el montaje de bio-reactor. ....	21
Tabla 2. Control de temperaturas tomadas en el proceso de compostaje.....	40
Tabla 3. “Resultados analíticos de labor laboratorio deben mostrar que la conductividad eléctrica del compost Clase A sea $< 3 \text{ dS/m}$ ( $3000 \text{ mS/cm}$ ), y la del compost Clase B $\leq 8 \text{ dS/m}$ ( $3000 \text{ mS/cm}$ ), según; NCh2880.” INN, (2004).....	42

## **RESUMEN EJECUTIVO.**

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad implementar la metodología de biorreactores Johnson-Su como una alternativa sostenible de compostaje que permita responder al creciente desafío del manejo de residuos orgánicos. Actualmente, la acumulación de desechos vegetales representa un problema ambiental y de gestión, por lo que se hace necesario explorar tecnologías que ofrezcan soluciones prácticas, eficientes y amigables con el medio ambiente. El propósito central de esta iniciativa es transformar los residuos en un biofertilizante de alta calidad, capaz de aportar nutrientes esenciales y promover la presencia de microorganismos benéficos que favorezcan la regeneración del suelo y la producción agrícola sostenible. Para alcanzar este propósito, se plantea diseñar e implementar un biorreactor Johnson-Su adaptado a las condiciones y recursos locales, lo que garantizará su viabilidad técnica. Asimismo, se evaluará la eficiencia del proceso de descomposición en comparación con métodos tradicionales de compostaje, destacando sus ventajas en términos de estabilidad, calidad nutricional y aporte microbiológico. El proyecto también busca analizar de manera detallada la composición del compost resultante, estableciendo parámetros de calidad que respalden su potencial uso como biofertilizante.

Finalmente, se pretende promover la adopción de esta metodología como una alternativa innovadora y ecológica para la gestión de residuos orgánicos, fomentando la elaboración de abonos de alta calidad a partir de materiales vegetales y contribuyendo con ello al desarrollo de prácticas más sostenibles en la agricultura y el cuidado ambiental.

Palabras claves.

- Biorreactores Johnson-Su, Compostaje sostenible, Residuos orgánicos, Biofertilizante, Microorganismos benéficos, Regeneración del suelo, Agricultura sostenible, Cuidado ambiental

## **EXECUTIVE SUMMARY.**

The purpose of this research project is to implement the Johnson-Su bioreactor methodology as a sustainable composting alternative to address the growing challenge of organic waste management. Currently, the accumulation of plant residues represents both an environmental and management problem, making it necessary to explore technologies that provide practical, efficient, and environmentally friendly solutions.

The central aim of this initiative is to transform organic waste into a high-quality biofertilizer capable of supplying essential nutrients and promoting the presence of beneficial microorganisms that support soil regeneration and sustainable agricultural production. To achieve this goal, the project proposes the design and implementation of a Johnson-Su bioreactor adapted to local conditions and resources, ensuring its technical feasibility.

In addition, the efficiency of the decomposition process will be evaluated in comparison with traditional composting methods, highlighting its advantages in terms of stability, nutritional quality, and microbiological contribution. The project also seeks to conduct a detailed analysis of the composition of the resulting compost, establishing quality parameters that support its potential use as a biofertilizer.

Finally, this initiative aims to promote the adoption of this methodology as an innovative and ecological alternative for organic waste management, encouraging the production of highquality fertilizers from plant materials and thereby contributing to the development of more sustainable practices in agriculture and environmental care.

### **Keywords**

Johnson-Su bioreactors, Sustainable composting, Organic waste, Biofertilizer, Beneficial microorganisms, Soil regeneration, Sustainable agriculture, Environmental care.

## 1 INTRODUCCIÓN.

Los sistemas productivos agrícolas son la base fundamental para garantizar la seguridad alimentaria de los pueblos, tal como lo menciona la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 2006) “Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico y económico a suficientes alimentos, inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos, a fin de llevar una vida activa y sana”; al mismo tiempo la agricultura incide grandemente en las costumbres y tradiciones de las sociedades, por tanto la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 2023). describe que la agricultura en específico agroecología desempeña un papel importante con vistas a volver a lograr un equilibrio entre la tradición y los hábitos alimentarios modernos, uniéndolos de una manera armoniosa que promueva la producción y el consumo de alimentos saludables y respalde el derecho a una alimentación adecuada. En este sentido, la agroecología busca cultivar una relación saludable entre las personas y la alimentación; por tanto, la agricultura tradicional u orgánica son las prácticas ancestrales que buscan la preservación de los métodos de producción saludable y sustentables en el tiempo.

En este contexto la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 2002). especifica la importancia del uso de insumos orgánicos para mejorar la producción de los cultivos agrícolas, por ejemplo, haciendo uso de excrementos de vaca, de cerdos, de pollos, desperdicios vegetales, paja, estiba de maíz y otros materiales orgánicos. Sin embargo, éstos deberían ser convertidos en abono y ser descompuestos antes de su aplicación en el suelo. Con la descomposición del material orgánico fresco, por ejemplo, paja de maíz, los nutrientes del suelo, particularmente el nitrógeno, serán fijados provisionalmente; de este modo no son disponibles para el cultivo posterior. Aun cuando el contenido de nutriente del material orgánico sea bajo y variable, el abono orgánico es muy valioso porque mejora las condiciones del suelo en general. La materia orgánica mejora la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente

de esta manera la fertilidad. Además, la materia orgánica es un alimento necesario para los organismos del suelo.

Actualmente existe una amplia diversidad de prácticas y tecnologías aplicadas al área de la agricultura que como función principal tienen la mejora del factor suelo, agua y cultivo, trata la reducción de los costos operativos por inversión de insumos químicos y sobre todo cada vez que se utilizan hacemos una mejora constante al medio ambiente, entre estas tecnologías se encuentran los abonos orgánicos sólidos y líquidos, los controladores biológicos de hongos, nematodos, repelentes entre otras.

En el caso de abonos orgánicos Pastor Fernández cita a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (FAO, 2013). En el concepto de compostaje, y se menciona que es un proceso de degradación biológica en el cual una serie de distintos organismos, principalmente microorganismos (hongos, bacterias...) y en menor medida animales de pequeño tamaño (lombrices, insectos...), interactúan con la materia orgánica rápidamente biodegradable, consumiendo oxígeno y los sustratos presentes en esta (azúcares simples, compuestos nitrogenados, celulosa, ceras...) que incorporan en su metabolismo, generando un producto final estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato para la producción vegetal. Es decir, una mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas empleado para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017). menciona que el compostaje mayormente es reconocido como fuente de nutrientes y las recomendaciones para aplicarse están basadas en el contenido del nitrógeno y fósforo en la composta. Sin embargo, además del rol de ser una fuente de nutrientes, un gran número de investigaciones concuerdan que el compostaje en particular puede crear comunidades microbianas que ofrecen muchos beneficios a las plantas y al suelo.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los vertederos al aire libre presentan graves problemas medioambientales tanto a nivel mundial como local. A nivel global, son la principal fuente, dentro del sector de los residuos, de generación de emisiones de gases de efecto invernadero por el contenido de materia orgánica que contienen. “Esta materia orgánica genera gas metano, que es un gas cuyo efecto es 24 veces más potente sobre el clima que el CO<sub>2</sub>”. Se estima que la acumulación de residuos en los basurales “genera descargas de lixiviados de forma líquida que pueden percolar y contaminar los suelos y las aguas”, con el consiguiente peligro para la salud de los seres humanos y los ecosistemas, Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018).

El medio ambiente y la crisis climática siguen acelerándose, los impactos de la mala gestión de los residuos y el cambio climático se sienten especialmente en las comunidades empobrecidas que carecen de suministros de agua y saneamiento gestionados de forma segura y resistente, y teniendo una atención sanitaria de mala calidad Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022).

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2011) la composición de los desechos que se generan en el país, Es del 65% al 75% es materia orgánica, siendo alrededor de 2,210 toneladas diarias de este material, material que podrían aprovecharse por medio de una alternativa de tratamiento como lo es el compostaje. A nivel nacional existen 27 plantas de compostaje en diversos municipios, de las cuales, el MARN construyo 11 plantas en el año 2011. En promedio, las plantas procesan 103 toneladas de materia orgánica al día; actualmente los desechos sólidos son un riesgo ambiental para el país, ya que este material no cuenta con una adecuada estandarización de manejo desde su etapa inicial, lo que genera que el manejo de estos, sea tratado sin ninguna clasificación desde su inicio, además es de gran importancia conocer la composición de los desechos sólidos que se genera en las áreas urbanas, para de esta manera buscar alternativas de tratamiento y aprovechamiento, de este material Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, Sf).

La Organización de las Naciones Unidas ONU en 1992 la propuso la agenda 21 de la gestión ecológicamente racional de los desechos sólidos y cuestiones relacionadas con las aguas cloacales; para ellos se expone la transferencia de medios científicos y tecnológicos para tratar esta problemática, en la que plantea tres objetivos relacionados al tema: La transferencia de tecnología debería prestar apoyo al reciclado y el reaprovechamiento de los desechos de la forma siguiente: b) Desarrollar y mejorar las tecnologías existentes, especialmente las locales, y facilitar su transferencia en el marco de los programas en curso de asistencia técnica regional e interregional; c) Facilitar la transferencia de la tecnología de reaprovechamiento y reciclado de los desechos.

Una propuestas asequibles a la problemática del exceso de desechos urbanos es la elaboración de insumos agrícolas,(abonos y concentrados foliares), a partir de los desechos orgánicos, simbolizando una alternativa a los altos volúmenes que se generan de este material, que se producen diariamente en el país, volviéndose una opción rentable y ecológica al medio ambiente; pero se debe tener en cuenta que la preparación de estos insumos requiere un conocimiento técnico básico y necesitan abundante mano de obra y tiempo para completar sus procesos de maduración, en el caso del compostaje una mala manipulación de los elementos que la conforman puede ocasionar contaminación por lixiviación, generar malos olores y producir compuestos tóxicos para el desarrollo de las plantas Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013)Dado la complejidad de la elaboración de compost de calidad de manera convencional y los cuidados que se deben de tener para evitar una fermentación anaerobias, las causantes de los malos olores y productos fitotóxicos para las plantas, se pretende implementar el proceso de compostaje bajo la metodología de Bio reactor, “método de compostaje Johnson-Su” puesto que esta metodología crea un compostaje repleto de microorganismos que a su vez mejoran el potencial y la salud del suelo para secuestrar carbono y contribuye al crecimiento efectivo de las plantas. Este método de compostaje simple produce un compost biológicamente mejorado al crear un ambiente donde los microorganismos beneficiosos del suelo prosperan y se multiplican. Cuando este compost biológicamente vivo se aplica al suelo, los microorganismos inoculan el suelo y trabajan en

armonía con las plantas en crecimiento, aumentar la cantidad de carbono extraído de la atmósfera y el suelo.

La aplicación de esta tecnología significaría hacer un mejor manejo de los desechos sólidos entre los que se encuentran los desperdicios de cosechas o de frutas y verduras de los mercados, el cual que, por un mal manejo, no son aprovechados de manera eficiente ocasionando altos índices de contaminación y desaprovechando los desechos orgánicos en material utilizable y amigable al medio ambiente.

**“El aprovechamiento de los desechos orgánicos mediante el proceso de compostaje con la metodología de biorreactores Johnson-Su se plantea como una alternativa ecológica frente al inadecuado manejo de los desechos sólidos en el país.**

### **3 OBJETIVOS.**

#### **3.1 Objetivo General**

- Adaptar la metodología de biorreactores Johnson-Su como una alternativa sostenible de compostaje frente a los altos índices de residuos orgánicos, con el fin de mejorar el manejo de desechos y generar un biofertilizante de alta calidad.

#### **3.2 Objetivos Específicos.**

- Implementar un biorreactor Johnson-Su a pequeña escala, adaptado a las condiciones y recursos disponibles.
- Evaluar el proceso de descomposición en el biorreactor y comparar su eficiencia con métodos de compostaje tradicionales.
- Determinar la eficiencia del compost producido evaluando parámetros químicos clave, incluyendo pH, conductividad eléctrica, contenido de macronutrientes y micronutrientes, así como su disponibilidad para el suelo.

## **4 MARCO TEÓRICO.**

### **4.1 La Agroecología.**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013), La agroecología es una disciplina científica, un conjunto de prácticas y un movimiento social. Como ciencia, estudia cómo los diferentes componentes del agroecosistema interactúan. Como un conjunto de prácticas, busca sistemas agrícolas sostenibles que optimizan y estabilizan la producción. Como movimiento social, persigue papeles multifuncionales para la agricultura, promueve la justicia social, nutre la identidad y la cultura, y refuerza la viabilidad económica de las zonas rurales.

Un fundamento básico de la agroecología es el concepto de ecosistema, definido como sistema funcional de relaciones complementarias entre los organismos vivientes y su ambiente, delimitado por fronteras definidas arbitrariamente, en un tiempo y espacio que parece mantener un estado estable de equilibrio, pero a la vez dinámico. Odum, Gliessman, (1996, 1998). Este equilibrio puede considerarse definitivamente, que sea sostenible. Gliessman; Rosado, et al, (2007).

la Agroecología es la idea que un campo de cultivo es un ecosistema dentro del cual los procesos ecológicos que ocurren en otras formaciones vegetales, tales como ciclo de nutrientes, interacción depredadora/presa, competencia, comensalía y cambios sucesiones, que también se dan. Restrepo, *Et al*, (2000).

### **4.2 La Agroecología en la región.**

En América Latina se han desarrollado diversas experiencias orientadas a la implementación de alternativas sostenibles frente al cambio climático, con énfasis en una agricultura resiliente que reduzca las emisiones de gases de efecto invernadero y a la vez incremente la productividad. Bajo este enfoque, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), identificó siete trayectorias de transformación exitosas en la región, concluyendo que la sostenibilidad no limita la productividad ni la rentabilidad, sino que puede generar beneficios económicos y sociales, impulsando incluso la recuperación postpandemia.

En el ámbito internacional, la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2017), destaca la importancia del cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) los cuales promueven la cooperación entre países, el intercambio de conocimientos, la movilización de recursos financieros y tecnológicos, y la participación activa de la sociedad civil y el sector privado como base para un desarrollo sostenible global.

Como experiencia destacada, en Curitiba, Brasil se implementó el Programa Cambio Verde, que desde 1989 intercambia residuos por bienes, inicialmente pases de transporte y posteriormente alimentos. Este modelo ha permitido reducir residuos, fortalecer la producción local y mejorar la seguridad alimentaria de sectores vulnerables Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018).

A mediados de los años 90, la Alcaldía de Suchitoto, con apoyo de CESTA-Amigos de la Tierra El Salvador, implementó un programa de manejo de residuos enfocado en la recuperación de la fracción orgánica. Desde 1997 se separan los residuos en orgánicos, inorgánicos, plásticos y vidrio, logrando que el 80% de la población participe y que el 52% de los residuos recolectados se convierta en compost, Amigos de la Tierra El Salvador, (CESTA,1997).

En Colombia, Vargas Pineda et al, (2019) analizaron las pérdidas de alimentos en la cadena de suministro del municipio de Acacías y evaluaron el compostaje como alternativa para transformar residuos en productos de valor agregado, evidenciando que el compostaje es una solución eficaz para el aprovechamiento de la fracción orgánica.

Por su parte, Hernández, (2003) sostiene que la composta es una estrategia viable para el aprovechamiento de residuos de origen urbano, rural e industrial, sin representar riesgos ambientales significativos, dado que se reincorpora al ciclo natural del suelo.

Asimismo, se ha documentado que el compostaje genera beneficios directos en los sistemas agrícolas. Bohórquez, (s.f.) señala que su aplicación mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo la retención de agua, la reducción de la compactación y la disminución de la erosión hídrica, lo que impacta positivamente en la productividad agropecuaria.

### **4.3 La Agricultura Orgánica.**

La agricultura orgánica es un sistema de producción que trata de utilizar al máximo los recursos de la finca, dándole énfasis a la fertilidad del suelo y la actividad biológica y al mismo tiempo, a minimizar el uso de los recursos no renovables y no utilizar fertilizantes y plaguicidas sintéticos para proteger el medio ambiente y la salud humana. La agricultura orgánica involucra mucho más que no usar agroquímicos. En Centroamérica se está produciendo una gran variedad de productos agrícolas orgánicos para exportación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, sf).

De acuerdo a la definición propuesta por la Comisión del Codex Alimentarius del programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias, la agricultura orgánica es "un sistema global de gestión de la producción que fomenta y realiza la salud de los agroecosistemas, la diversidad biológica, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo". Esto se consigue aplicando, en forma armónica, métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, en contraposición a la utilización de materiales sintéticos, para desempeñar cualquier función específica dentro del sistema. Céspedes, (2005).

### **4.4 Principios básicos de la agricultura orgánica.**

Soto & Muschler, (2001), definen la agroecología en 14 principio.

- ❖ Garantizar alimentos suficientes, nutritivos y de alta calidad.
- ❖ Mantener una relación armónica con los sistemas naturales, promoviendo la vida.
- ❖ Favorecer los ciclos biológicos de suelos, plantas, animales y microorganismos.
- ❖ Conservar y mejorar la fertilidad del suelo y el uso responsable del agua.
- ❖ Impulsar prácticas de conservación de suelo y agua.
- ❖ Priorizar el uso de energías renovables en los sistemas productivos.
- ❖ Desarrollar sistemas productivos cerrados que reciclen materia orgánica y nutrientes.
- ❖ Utilizar materiales reutilizables o reciclables, dentro y fuera de la finca.
- ❖ Garantizar el bienestar animal, respetando su comportamiento natural.
- ❖ Prevenir y reducir al mínimo la contaminación agrícola.

- ❖ Proteger la biodiversidad genética, la flora y fauna silvestre.
- ❖ Asegurar condiciones laborales justas, seguras y dignas para todos los trabajadores.
- ❖ Considerar el impacto social y ambiental de las prácticas agrícolas.
- ❖ Promover cadenas productivas orgánicas, equitativas y económicamente responsables.

#### **4.5 Situación actual sobre la agricultura orgánica en El Salvador.**

En El Salvador, diversas iniciativas impulsan el desarrollo de la agricultura orgánica y sostenible mediante proyectos de cooperación internacional y esfuerzos locales. El Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2023). destaca el trabajo de cooperativas agrícolas que, apoyadas por el Fondo Multilateral de Inversiones, han encontrado un mercado para frutas y verduras orgánicas en restaurantes, hoteles y supermercados de la capital, generando empleos rurales mejor remunerados y fomentando la protección de tierras agrícolas.

En el sector cafetalero, el programa PROCAGICA, financiado por la Unión Europea e implementado por el IICA, ha promovido la elaboración de enmiendas orgánicas como el abono tipo Bocashi en San Miguel, con el fin de mejorar la fertilización y la sostenibilidad productiva.

Respecto al cultivo de ajonjolí, Villalta, (2009). documenta la existencia de alrededor de 840 ha certificadas como orgánicas en departamentos como Usulután, San Miguel, La Paz y San Vicente. Los productores están organizados principalmente a través de la empresa exportadora EXPRONAVAS, que desde 1996 comercializa ajonjolí orgánico, con exportaciones que alcanzan hasta 2 toneladas anuales.

En materia de seguridad alimentaria, el programa SANNHOS, SDFG, (2017). ha sido implementado por agencias de Naciones Unidas (FAO, UNICEF, OMS y PMA) en colaboración con gobiernos locales y cooperación internacional, con un presupuesto de 4,2 millones de dólares. Este programa fortaleció el rol de las mujeres mediante capacitación en salud, nutrición, tecnologías agrícolas y microemprendimientos, bajo un enfoque de género y derechos humanos.

En cuanto a la producción de marañón, la Cooperativa La Marañonera (CORALAMA) fue pionera al obtener la primera certificación orgánica mundial por la OCIA. Posteriormente, la Sociedad Agroindustrial de Marañón Orgánico (SAMO), conformada por 60 productores de San Vicente, San Miguel y la Isla Espíritu Santo, se consolidó como el principal referente nacional, realizando además exportaciones a través de APRAINORES.

En conjunto, estas experiencias demuestran que la agricultura orgánica en El Salvador no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino también a la generación de empleo, la seguridad alimentaria y la apertura a mercados internacionales especializados.

#### **4.6 El compost abonera de montón.**

Salinas, León, et al, (2018). El compostar, se refiere a un proceso biológico que ocurre en presencia de oxígeno y transforma residuos orgánicos en un material homogéneo asimilable para las plantas que se denomina compost. Este compuesto es un producto natural, que tiene aspecto a tierra, con olor agradable, de color café a negro y en el cual no se pueden diferenciar los residuos orgánicos iniciales.

El compost con materia orgánica, resultado de un proceso biológico cuyo fin es estabilizar e higienizar los residuos orgánicos, es un magnífico fertilizante. Aunque sus usos y beneficios van más allá: reactiva suelos contaminados o degradados, ayuda a reciclar residuos sólidos urbanos, controla las plagas. Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA, 2022).

El compost es el producto de un proceso de oxidación biológica, en presencia de humedad y temperatura, la que se logra a través de la transformación de residuos orgánicos heterogéneos en partículas finas y homogéneas. El compost es una mezcla de diferentes elementos: materia orgánica de distinto origen, elementos minerales propios del suelo y microorganismos como bacterias y hongos que descomponen los residuos orgánicos y los convierten en materia orgánica estabilizada (humus, huminas y ácidos húmicos) o antagonistas de plagas y enfermedades del suelo, que actúan directamente o bien por la liberación de antibióticos.

Román; Martínez et al, (2013). El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO

define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013).

Ortiz, (sf) La composta, teóricamente es mejor que el abono, y efectivamente, una composta bien realizada, tendrá una gran cantidad de nutrientes, mayor proporción de nutrientes por kilogramo de peso, ya que los microorganismos que intervienen en el proceso de composteo, consumen una gran cantidad de azúcares, aminoácidos y lípidos, de los cuales se alimentan, dejando finalmente los minerales que la planta necesita cuando la composta se ha humificado. La regla es mientras más tiempo de composteo, mayor humificación, aunque dependiendo del manejo que se le dé una buena composta puede realizarse en 6 meses.

Hernández, (2003). cita a DEFFIS, (1991). Define a la composta como un producto negro, homogéneo y por regla general, de forma granulada, sin restos gruesos. Siendo al mismo tiempo un producto húmico y cálcico; considerado como un fertilizante químico por su aportación de micro elementos al suelo y su valor es muy apreciado.

#### **4.7 Desarrollo del compostaje.**

El compostaje es un proceso biológico que simula el ciclo natural de descomposición, en el cual los restos vegetales y animales son degradados por microorganismos y pequeños organismos, liberando dióxido de carbono y reincorporando nutrientes al suelo, lo que asegura la continuidad del ciclo biológico Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA, 2013).

De acuerdo con el National Center for Appropriate Technology (NCAT, 2015), citado por Rodale Institute (2014), la pila de compost debe voltearse o manejarse para asegurar que todos los materiales alcancen una temperatura mínima de 55°C durante al menos tres días. El proceso activo de compostaje finaliza cuando la pila retorna a la temperatura ambiental. Un compost que se mantiene entre 5 y 10°C por encima de esta no se considera terminado y puede resultar perjudicial para las plantas, ya que bacterias y hongos aún consumen nutrientes con tal rapidez que generan deficiencias que pueden dañarlas o incluso matarlas.

Actualmente, el compostaje se practica como un proceso aeróbico que combina dos fases principales: la **mesofílica** (15–45°C) y la **termofílica** (45–70°C), lo que permite la transformación de los residuos orgánicos en un producto estable y aplicable al suelo como abono Hernández, (2003). Este proceso atraviesa diferentes etapas:

- ❖ **Fase de latencia y crecimiento:** corresponde al período de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio. Durante dos a cuatro días, las bacterias mesófilas degradan los compuestos más fácilmente biodegradables, lo que genera un aumento progresivo de la temperatura y la emisión de vapor de agua Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2004)
- ❖ **Fase termófila o de higienización:** al superar los 45–50°C, los microorganismos mesófilos son sustituidos por bacterias termófilas, capaces de degradar compuestos más complejos como celulosa y lignina. Durante esta etapa también se incrementa el pH por la transformación del nitrógeno en amoníaco. A partir de los 60°C aparecen bacterias esporuladas y actinobacterias, responsables de descomponer ceras, hemicelulosas y otros compuestos de carbono. Esta fase, que puede extenderse desde días hasta meses, también cumple una función de higienización al eliminar bacterias y patógenos de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Román et al, (2013).
- ❖ **Fase termófila II:** tras la disminución de la temperatura, se recomienda voltear la mezcla para homogeneizarla y favorecer un nuevo incremento térmico, o bien permitir que continúe descendiendo. En esta etapa, más próxima a la temperatura ambiente, los microorganismos mesófilos se reactivan y prosigue la descomposición Banco Bilbao Vizcaya Argentaria (BBVA, 2023)
- ❖ **Fase de maduración:** en esta última etapa, la temperatura se estabiliza en valores ambientales y disminuye la tasa de descomposición. El compost es recolonizado por macroorganismos como lombrices, insectos y hormigas, mientras se desarrollan reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, dando lugar a la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Este período puede prolongarse durante varios meses Peña, et al, (2002).

#### **4.8 Parámetros físicos y químicos de la calidad de compostaje.**

La calidad del compost se evalúa mediante parámetros físicos y químicos que garantizan su seguridad y eficacia agrícola.

La temperatura es crítica, debiendo alcanzar entre 50 y 70 °C para una correcta descomposición y eliminación de patógenos, estabilizándose al final a nivel ambiental. Otros parámetros clave incluyen pH, conductividad eléctrica, contenido de nitrógeno y cenizas, que determinan la fertilidad y estabilidad del compost.

##### **4.8.1 Temperatura.**

Los cambios de temperatura en una pila de compostaje constituyen el indicador más evidente de la actividad microbiana, ya que reflejan el incremento térmico de la masa en descomposición. Por esta razón, la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental para el control del proceso Márquez, et al, (s.f.).

Durante el desarrollo del compostaje se distinguen distintas etapas caracterizadas por variaciones significativas de temperatura: fase mesófila I, en la que la temperatura se eleva hasta aproximadamente 45°C; fase termófila o de higienización, cuando el material supera los 45°C y alcanza valores por encima de 55°C; y finalmente la fase mesófila II, donde, agotadas las fuentes de carbono y especialmente el nitrógeno, la temperatura desciende nuevamente hasta 40–45°C. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013).

Cada una de estas fases está asociada a la actividad de diferentes comunidades microbianas, adaptadas a rangos específicos de temperatura. Así, se distinguen: fase de latencia y crecimiento (15–45°C), fase termófila (45–70°C) y fase de maduración (menos de 40°C), Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2004)

En este sentido, Barrera, (2006) explica que la descomposición de la materia orgánica es un proceso de simplificación en el que moléculas complejas se degradan en compuestos orgánicos e inorgánicos más sencillos. Este fenómeno es de carácter exotérmico, resultado de la actividad biológica, y se divide en dos fases principales: una mesofílica, con temperaturas de hasta 45°C, y una termofílica, que puede alcanzar hasta 70°C.

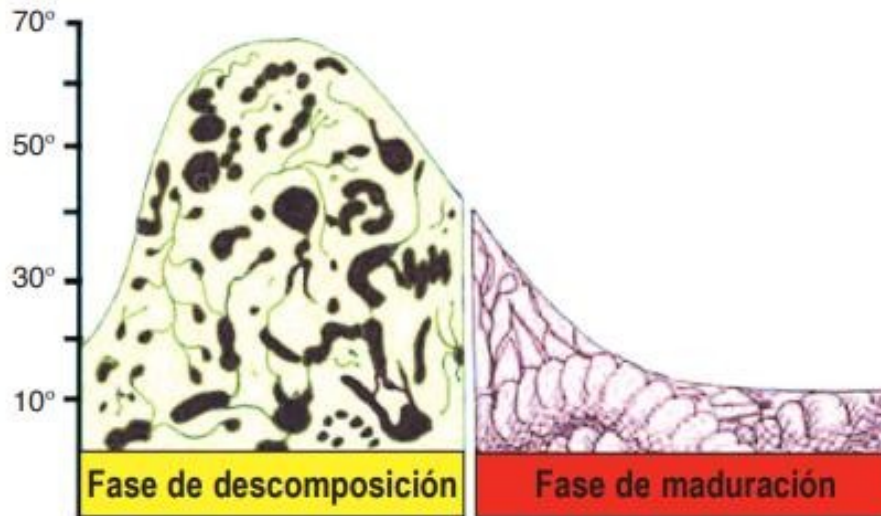


Figura 1. Proceso de compostaje según su etapa según las diferentes escalas de temperaturas.

#### 4.8.2 Humedad.

Según la norma técnica chilena 2880 para la determinación de calidad e inocuidad de compost el % de humedad de un compost de buena calidad debe de ser de 30-45%; humedad óptima para compost es del 45% al 60% de agua en peso de material base. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013).

Márquez *et al.* (Sf). Relaciona que la humedad óptima para el crecimiento microbiano está entre el 50-70%; la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad está por debajo del 30%; por encima del 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Cuando las condiciones se hacen anaerobias se originan malos olores y disminuye la velocidad del proceso, como referencia de materiales mal compostados.

La humedad en el proceso de compostaje es un factor indispensable para los microorganismos, ya que el agua es el medio en el que viven, se desplazan y se alimentan se considera como niveles óptimos, humedades del 40 al 60%, dependiendo de la mezcla de materiales más o menos fibrosos del contenido de la pila. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (MARM, 2004).

Humedad El compost debe presentar un contenido de humedad entre 30% y 45% de la masa del producto, en base húmeda. Instituto Nacional de Normalización (INN, 2004). NCh 2880:2004

Contenido de humedad, adecuado es para materiales de origen animal, máximo 20%, para materiales de origen vegetal, máximo 35%

#### **4.8.3 Potencial de Hidrógeno pH.**

Márquez *et al.* (Sf). cita a Suler y col, (1977). establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro

El Instituto Nacional de Normalización (INN, 2004). NCh 2880:2004. especifica para compost que los niveles óptimos de un compost maduro deben de oscilar entre 5.0 y 8.5.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2. (4,5 – 8,5 Rango ideal) Román; Martínez *et al.* (Sf).

La NTC 5167 especifica que el rango de pH óptimo para fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas debe de ser mayor de 4 y menor de 9. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2011). NTC 5167.

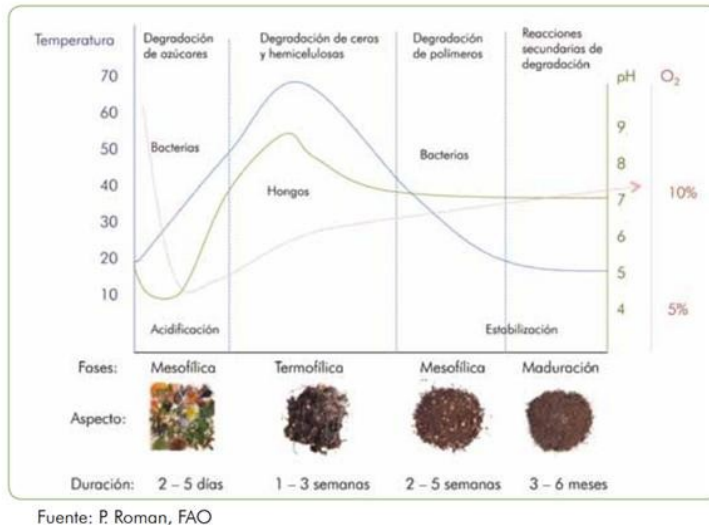


Figura 2. Temperaturas, niveles de niveles de oxígeno y pH en el proceso de compostaje.

#### 4.8.4 Conductividad Eléctrica CE.

El grado de salinidad que puede contener un compost, juega un papel determinante en cuanto a la calidad de un producto final; Los materiales salinos son inadecuados como componentes de sustratos para la producción de viveros y semilleros, ya que las plantas son muy sensibles a la salinidad del medio de cultivo durante la fase inicial de crecimiento Carrion y col, (2005).; según el instituto nacional de normalización chilena INN, (2004). NCh2880. en cuanto a su clasificación compost tipo A: un producto de alta calidad que cumpla los requisitos establecidos en esta norma para el compost de clase A. Para el compost Clase debe respetar las concentraciones máximas de metales pesados. Su conductividad eléctrica debe ser inferior a tres decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25. Para compost B, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 8 dS/m

Por ello la utilización de compost salinos (CE 2.5 dS/m), se debe de reducir al máximo en las mezclas de sustratos o evitar directamente. Como alternativa se puede plantear disminuir el contenido de elementos minerales solubles mediante un lavado. Masaguer *et al* (sf)

En un experimentado citado por ANSORENA, (2016). sobre la germinación de semillas de *lolium multiflorum*, utilizando como medio de germinación turba vegetal con niveles muy elevados de sales (10.120 dS/cm) se observó que la germinación no se inicia hasta el

décimo día, en que la CE se reduce del sustrato por lavado hasta **(4.690 dS/cm)**. A medida que se va disminuyendo la CE aumenta el % de semillas que germinaron, pero que no llegaron a sobrepasar el 30%. En otro extremo, la germinación en arena lavada es muy superior, y se inicia a partir del segundo día.

#### **4.8.5 Cenizas.**

Un valor demasiado alto indica que se ha mezclado con tierra, arena, cenizas u otro mineral, Lo ideal sería un valor entre un 10 y 40 %. CSR Laboratorio, (2025).

Como estandarización de calidad en abonos orgánicos, El Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación Icontec, (2011) especifica en la NTC 5167, el porcentaje de cenizas máximos contenido en una muestra de abono, como parámetro de calidad no debe de ser mayor al 60%.

La Asociación Nacional del Café de Guatemala, (ANACAFE, 2004). demuestra en la Interpretación de análisis abono orgánico de compost que los porcentajes de ceniza adecuados o, valores ideales deben de ser menos del 50%, ya que valores muy elevados indican alta presencia de material inerte que no aporta humus ni minerales, siendo lo valores más bajos a 50% los ideales.

#### **4.8.6 Nitrógeno.**

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2013). la calidad del compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado del proceso de compostaje, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo. A continuación, se señala el parámetro óptimo, para Nitrógeno Total (Base seca) debe de ser 1% como rango ideal en compost maduro (3-6 meses).

El nitrógeno total incluye nitrógeno orgánico, amonio y nitrato. El rango normal de nitrógeno total en los compost terminados es de 0,5 a 2,5 en base seca. Clemson University, (2025).

El contenido de Nitrógeno total que proveniente del resultado de los análisis examinados en el laboratorio de química agrícola, fue comparado con la (NCH 2880) del INN, (2004)., para la clasificación de la calidad del compost elaborado, bajo la metodología Jonhson-Su; el compost debe tener un contenido de nitrógeno total mayor o igual a 0,5% en base seca.

Según la estandarización Norma Técnica Colombiana NTC 5167 Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas del suelo, deben cumplir con los requisitos establecidos en esta normativa, estableciendo que el Nitrógeno totales su % de contenido deberá ser mayor o igual al 1%. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2011).

#### **4.9 Sistema de compostaje Jonhson-Su como alternativa.**

El Modelo de Biorreactor Johnson – Su, es un proceso de composteo estático y aeróbico que no genera olores desagradables. Su descomposición biológica no solo aporta nutrientes, sino una gran comunidad microbiana, especialmente hongos benéficos que son clave para la fertilidad del suelo. Adame, (2019).

Los biorreactores Johnson-Su fueron creados por el Dr. David C. Johnson, microbiólogo de la New Mexico State University (NMSU), en colaboración con su esposa Hui-Chun Su. siendo contenedores cerrados dispuestos en vertical, en los cuales la materia orgánica se va depositando en la parte superior, esta desciende por acción de la gravedad. Una de las principales de las ventajas de este sistema de compostaje, es que, ante un el panorama de escasez de territorio actual, hace un uso eficiente del espacio. Estos biorreactores, procesan una gran cantidad de material en muy poco espacio, consiguiendo una producción muy eficiente a bajos costes de superficie. Otra de las ventajas de este sistema es el elevado grado de control sobre los distintos elementos del proceso. Por un lado, los lixiviados son recogidos directamente del medio, evitando fugas y/o contaminaciones. Al tratarse de receptáculos cerrados, los lixiviados se recogen fácilmente mediante un sistema de captación y circulación, gestionándose un control absoluto. Además, al recoger efectivamente los lixiviados, estos pueden emplearse como recurso; ya sea reintroduciéndolo en el medio y así humectar a la par que añadir nutrientes, o se puede

emplear como producto terminado (compost líquido). Por otro lado, y una vez más debido a su “hermetismo”, los olores están activamente controlados. A su vez, los biorreactores permiten obtener compost maduro en tiempos más cortos que el resto de los sistemas, lo cual reduce los tiempos de descomposición del material, Fernández, (2019).

El sistema de composteo mediante esta metodología de Biorreactor Johnson-Su compost. Es estático, por lo que nunca se toca ni se gira. Manteniéndolo al 70% de contenido de humedad, es ideal para el crecimiento de hongos, se incorporan gusanos después de que la temperatura desciende a 80 grados Fahrenheit. Si se deja madurar durante un año y adquiere una consistencia similar a la arcilla que se puede aplicar como extracto al plantar. Hayden, (2020).

#### **4.9.1 Algunas ventajas de los biorreactores de compostaje Johnson-Su.**

RI, (2019), menciona algunas ventajas comparado el proceso de compostaje mediante biorreactores Johnson-su, con los métodos de compostaje convencionales, siendo algunas de las siguientes ventajas.

- ❖ Reducen el consumo de agua hasta seis veces.
- ❖ No requieren giro y necesitan poca mano de obra.
- ❖ Son de baja tecnología y se pueden replicar fácilmente.
- ❖ Reducen el tiempo de trabajo de compostaje en un 66 por ciento.
- ❖ Aumentan el secuestro de carbono, el rendimiento del cultivo, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de retención de agua del suelo.

## 5 METODOLOGÍA.

### 5.1 Ubicación del Estudio.

La investigación se realizó en un periodo de 6 meses iniciando en febrero finalizando en agosto de 2023, en el departamento de Sonsonate que tiene una población estimada de 71 980 habitantes para el año 2020, Sonsonate es la segunda ciudad más importante del occidente de El Salvador. Una zona de incidencia positiva por su clima tropical estando a una altura de 220 msnm y un clima de entre 27-31°C, sus coordenadas geográficas Latitud 13.713576° Longitud -89.715488°.



Figura 3. Geo referencia del lugar donde se desarrolló el estudio.

### 5.2 Metodología de Campo.

Tabla 1. Materiales utilizados para el montaje de bio-reactor.

N°	MATERIALES	CANTIDAD
1	Pieza de fenólico de 1.5mtx1.5mt	1 unit
1	Clavos de 4 pulgadas	1lb
3	Costanera de 6mt	1.5 unit
4	Geotextil 4mtx2.5mt	1 unit
5	Geotextil 1.3mtx1.3mt	1 unidad
6	Electro malla de 3.5mtx1.55mt	1 unit
7	Tubos de 2 ½" diámetro y 1.7mt de altura	4 unti
8	Cinchas plásticas de 21cm	25 unidades

9	Varillas de 3/8 de 1.2mts	2 unidades
10	Material orgánico desechos de cocina y jardín	1m3

### 5.2.1 Construcción de la tarima.

Se elaboró la base donde se colocará el cilindro de compostaje. Se debe de colocar esta base en un lugar fresco y seco, y sobre todo se debe tener cuidado con los roedores.

#### Materiales empleados:

- ❖ Una tabla de fenólico de medidas estándar 1.6 m de ancho × 2.65 m de largo.
- ❖ 10 reglas de fenólico de 10 cm de ancho × 1.30 m de largo.
- ❖ 3 cuarterones de madera de 1.3 m cada uno.

**Herramientas:** se usaron herramientas comunes de carpintería.

- ❖ Sierras
- ❖ Taladros
- ❖ Martillos.
- ❖ Cintas métricas y escuadra.
- ❖ Formones
- ❖ Destornilladores.



Figuras 4. Las siguientes fotografías muestran las herramientas al proceso de elaboración de tarimas y los resultados obtenidos. A) herramientas para la fabricación. B) trazos de madera en construcción de tarima.



Figuras 5. Tarima en proceso de fabricación. A) Tarima con malla geotextil en medición. B) Tarima bajo estructura de biorreactor.

### 5.2.2 Elaboración del cilindro biorreactor.

Para la construcción del cilindro biorreactor se empleó electro malla de calibre N.º 22, con dimensiones estándar de 3.33 metros de longitud por 1.6 metros de ancho.

Previo al armado, se realizó el cálculo del volumen requerido, estableciendo un contenedor con capacidad de 1 metro cúbico (1 m<sup>3</sup>) (ver anexos. 1) En función de esta capacidad, se procedió a efectuar los cortes del electro malla en piezas con medidas de 3.00 m de largo por 1.55 m de ancho, lo que permitió configurar la estructura cilíndrica con estabilidad mecánica y dimensiones adecuadas para el proceso de compostaje.



Figuras 6. Elaboración de cilindro compostero. A) Corte e electro malla. B) Armado de cilindro biorreactor en medida requerida.

### 5.2.3 Recubrimiento con membrana de geotextil.

Para el recubrimiento interno del cilindro del biorreactor se empleó una membrana geotextil, con dimensiones de 3.00 m de ancho × 1.55 m de alto, proporcionando un área efectiva de 4.65 m<sup>2</sup>. Adicionalmente, se utilizó una pieza de 2.00 m<sup>2</sup> para cubrir la base del cilindro, correspondiente a la plataforma de la tarima. (ver anexos. 2)

Este recubrimiento actúa como barrera protectora y soporte estructural, optimizando la contención del material y facilitando la correcta distribución de cargas dentro del biorreactor.

A continuación, se presentan las especificaciones técnicas del geotextil utilizado, detallando sus propiedades físicas y mecánicas.

#### Especificaciones técnicas.

- ❖ Composición: 100% fibras de poliéster, termo fijadas.
- ❖ Tipo: No tejido, mediante punzonado mecánico (needle-punched).
- ❖ Peso unitario: 200–300 g/m<sup>2</sup> (varía según aplicación).
- ❖ Espesor: 2–5 mm, según densidad y gramaje.
- ❖ Resistencia a la tracción:
  - Longitudinal: 15–25 kN/m
  - Transversal: 12–20 kN/m
- ❖ Alargamiento a la rotura: 40–60%
- ❖ Permeabilidad al agua (permeabilidad hidráulica): 50–100 l/min·m<sup>2</sup>
- ❖ Agujeros de filtración: 0,1–0,5 mm (permite paso de agua, retiene partículas finas)
- ❖ Resistencia a la abrasión: Alta, adecuada para contacto con grava y arena.
- ❖ Estabilidad química: Resistente a la mayoría de suelos, ácidos y álcalis.
- ❖ Resistencia a hongos y bacterias: Alta, no biodegradable.
- ❖ Temperatura de servicio: –60 °C a +120 °C.

#### Aplicación típica:

- ❖ Drenajes lineales y superficiales

- ❖ Filtros de subdrenaje
- ❖ Protección de membranas impermeables.
- ❖ Separación de capas de suelo en carreteras y taludes.



Figuras 7. Proceso de recubrimiento de cilindro biorreactor. A) Toma de medidas de geo textil. B) Materiales previos a su colocación. C) Cilindro recubierto con geotextil.

#### 5.2.4 Sistema de aireación interna.

Se realizó la instalación de cuatro tubos de PVC con dimensiones de 1,75 m de altura y 2 ½” de diámetro, posicionados estratégicamente para garantizar la ventilación adecuada del sistema. Cada tubo fue perforado con orificios de ½ pulgada, distribuidos de manera uniforme a lo largo de toda su longitud, con el objetivo de maximizar la circulación de aire.

Como objetivo se pretendió que los tubos funcionaran como respiradores, permitiendo el ingreso controlado de oxígeno al material en descomposición. Esta ventilación favoreció la actividad microbiana aeróbica, incrementando la eficiencia del proceso de descomposición y contribuyendo a la estabilización del material orgánico de manera homogénea.

*Instalación de respiradores*, El tiempo estimado para la instalación de este sistema fue de aproximadamente medio día, incluyendo la verificación de la correcta disposición y fijación de cada respirador.



Figuras 8. Proceso de preparación de sistema de ventilación. A). Ordenamiento de 4 tubos PVC 2 ½” como sistema de airado para proceso de compostaje. B). tubos de pvc previo al proceso de elaborado de agujeros. C). fotografía de la tubería instalada en su lugar.

### 5.2.5 Llenado del cilindro Biorreactor.

#### Estructura del biorreactor.

El cilindro se encontraba completamente armado, con el recubrimiento de geotextil instalado de manera uniforme, garantizando la adecuada contención de los materiales durante el proceso de compostaje.

Entre la conclusión del montaje de la estructura y el inicio del proceso de llenado transcurrió un periodo aproximado de tres (3) días. Durante este lapso, el cilindro biorreactor permaneció resguardado en el área designada y área definitiva, con el fin de preservar su integridad estructural y evitar alteraciones externas que pudieran afectar el procedimiento.

### Disponibilidad de materiales.

Previo al inicio del llenado, se verificó la preparación y el adecuado estado de todos los componentes e insumos requeridos. Para el llenado inicial se emplearon materiales vegetales frescos, incluyendo residuos de cocina y mercados (restos de frutas y hortalizas), así como residuos de jardinería provenientes de podas de árboles, césped y zacates. Estos materiales orgánicos fueron incorporados al biorreactor como sustrato inicial, con el objetivo de dar inicio al proceso de compostaje aeróbico, proporcionando la materia prima esencial para la actividad microbiana y favoreciendo la descomposición controlada del material.

La carga de materiales se realizó bajo un criterio de equilibrio en la relación carbono/nitrógeno (C/N), 25: 1 asegurando una adecuada degradación:

- ❖ Alta relación C/N: materiales fibrosos como zacates y restos de poda.
- ❖ Baja relación C/N y menos fibrosos: frutas y vegetales frescos.

la relación C/N utilizada en la mezcla tuvo como finalidad evitar la compactación excesiva del material fresco, lo que podría haber generado zonas anaeróbicas indeseadas. Asimismo, se buscó prevenir la producción de compuestos que afectan tanto la calidad del compost como el medio ambiente, tales como:

- ❖ Ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), gas tóxico y de olor desagradable.
- ❖ Metano ( $CH_4$ ), gas de efecto invernadero producto de condiciones anaeróbicas.
- ❖ Lixiviados ácidos, capaces de contaminar fuentes de agua y acidificar el suelo circundante.

### Proceso de llenado del cilindro

Se establece como lineamiento fundamental que el llenado del biorreactor debe realizarse en una sola jornada de trabajo. Esto se debe a que los llenados parciales provocan fluctuaciones de temperatura que afectan negativamente la dinámica microbiana y pueden interrumpir los procesos aerobios, comprometiendo la eficiencia del compostaje. (Johnson; DeSimio. 2017)

El llenado del biorreactor constituye una etapa crítica en el proceso de compostaje, por lo que se establece como lineamiento fundamental que debe completarse en una sola jornada de trabajo. Esta práctica evita la realización de llenados parciales, los cuales generan variaciones indeseadas de temperatura que alteran la dinámica microbiana y ponen en riesgo la continuidad de los procesos aerobios.

El material previamente seleccionado y preparado se deposita de manera uniforme dentro del cilindro, asegurando una adecuada distribución de los componentes orgánicos y estructurantes. Durante el llenado, es indispensable mantener una proporción adecuada de humedad y aireación, evitando la compactación excesiva que pueda limitar el flujo de oxígeno.

Asimismo, se recomienda realizar la disposición por capas, alternando materiales con alto contenido de nitrógeno y carbono, con el objetivo de favorecer un equilibrio en la relación C/N y garantizar un arranque eficiente del proceso biológico.

Una vez completado el llenado, se procede al cierre del biorreactor, lo cual permite estabilizar las condiciones internas y dar inicio al proceso de descomposición aerobia bajo un entorno controlado.



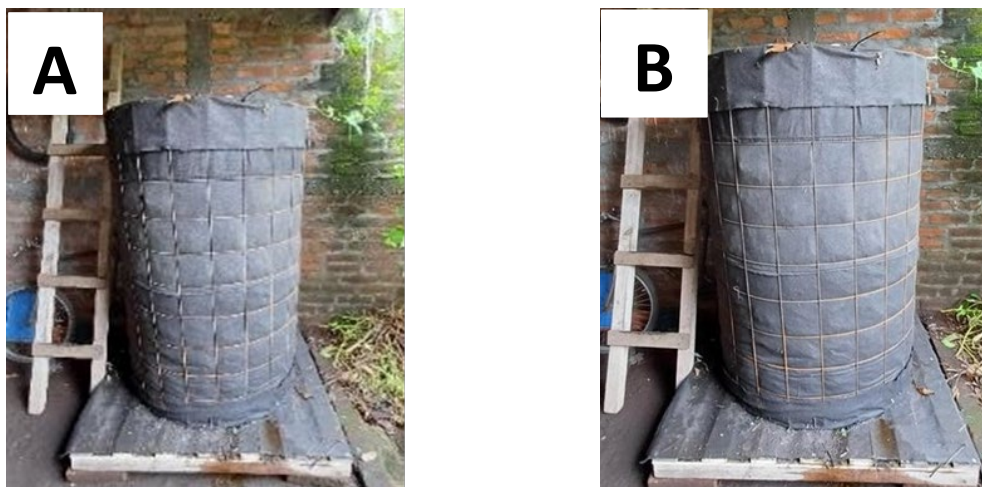
Figuras 9. Recepción de materiales vegetales. A) Material fresco restos de poda. B) Restos de podas de pastos.



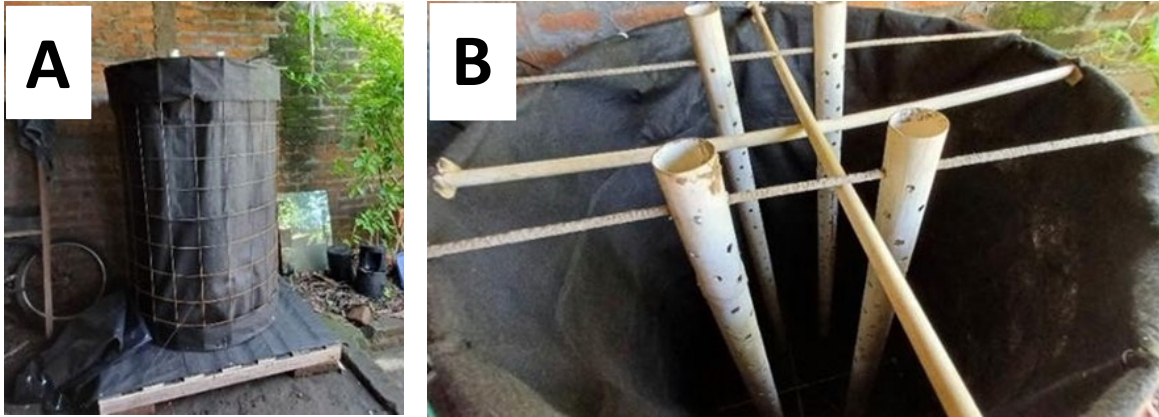
Figuras 10. Materiales de llenado. A) Proceso de llenado de cilindro. B) Cilindro casi lleno.



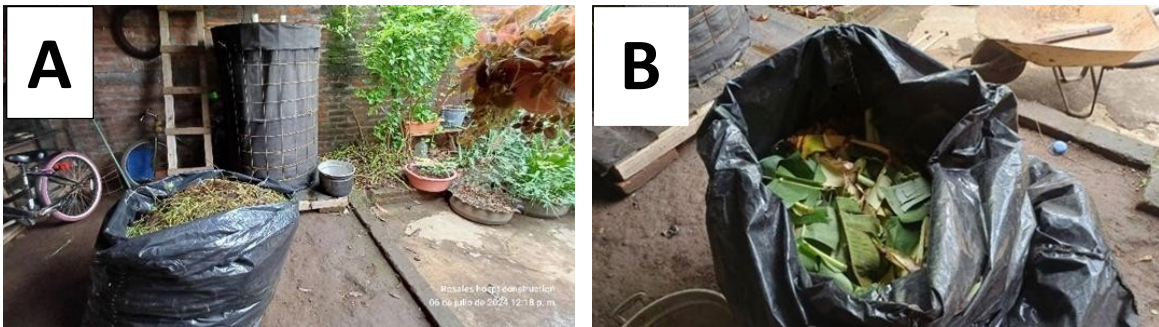
Figuras 11. Llenado de cilindro. A) Cilindro llenado con material fresco parte superior. B) Cilindro lleno.



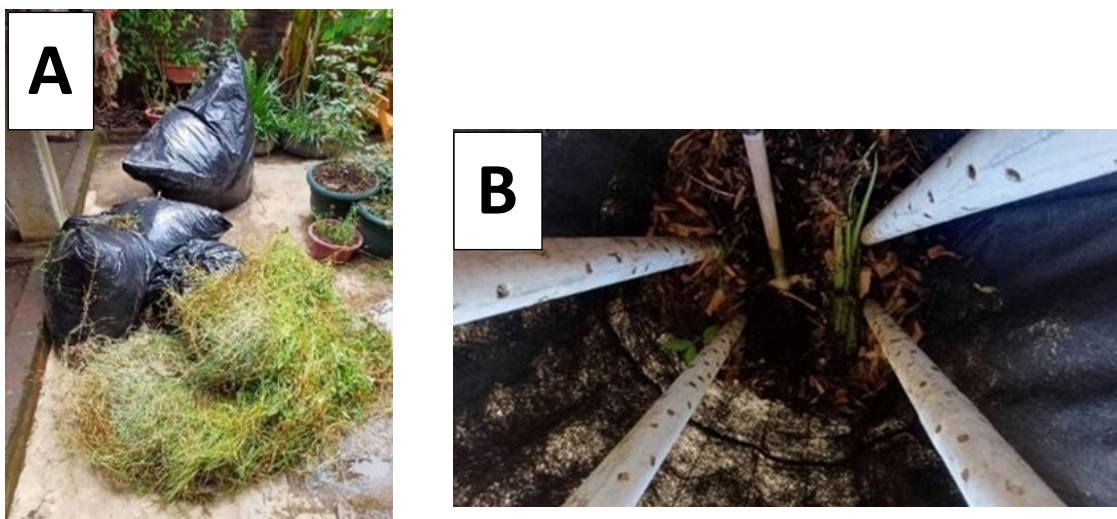
Figuras 12. En imagen A y B, se observa cilindro lleno y finalizado en proceso.



Figuras 13. Estado del biorreactor previo al inicio del proceso de llenado. A) Cilindro vacío. B) Sistema de ventilación.



Figuras 14. Materiales utilizados para llenar el cilindro bio reactor. A y B.



Figuras 15. Material vegetal. A) Restos de pastos. B) Procesos de llenado se ve el sistema de respiración del cilindro.

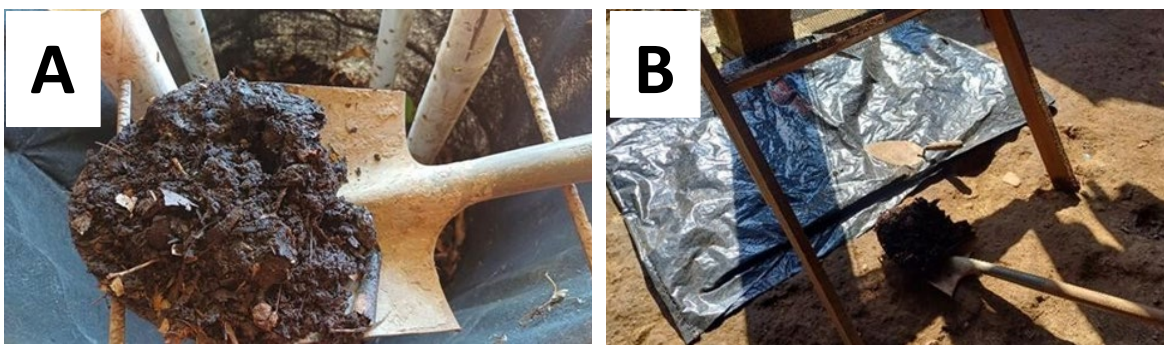


Figuras 16. Finalización del proceso de llenado. A) se observa una capa de material seco y descompuesto. B) se observa capa final con restos vegetales frescos.

### 5.3 Cosecha del compost

El proceso de cosecha del compost se llevó a cabo transcurridos cinco (5) meses desde la finalización del llenado del biorreactor, considerando este periodo como el tiempo de maduración necesario para garantizar la estabilización del material orgánico.

El procedimiento consistió en el tamizado del compost utilizando una zaranda con abertura de 2.5 cm × 2.5 cm, lo que permitió separar el material fino del material no descompuesto o de mayor tamaño. Posteriormente, se procedió a la obtención de cuatro (4) muestras representativas, cada una con un peso aproximado de media libra.



Figuras 17. Toma de muestras. A) Cosecha de compost a los 5 meses. B) Inicio de tamizado para toma de muestra.



Figuras 18. Selección toma de muestras. A) Tamizado. B). Muestra seleccionada.

Finalmente, las muestras fueron debidamente etiquetadas y enviadas al laboratorio la muestra fue enviada y analizada al laboratorio de química agrícola FCCA, UES. (ver resultados en anexo.2), con el propósito de realizar los análisis de calidad que permitan evaluar las químicas del compost obtenido.



Figura 19. Ilustración 35. Muestras para su envío a laboratorio.

## 5.4 ANALISIS DE RESULTADOS.

A aproximadamente a los 5 meses de elaborado el compostaje se realizó la toma de una muestra de compost tamizado, para la determinación de algunos parámetros físicos y químicos, considerados como índices de calidad, entre ellos tenemos: la determinación de contenido de humedad, determinado por el método gravimétrico, determinación de cenizas, obtenido por gravimetría, contenido de Nitrógeno TOTAL determinado por análisis de Micro Kjendahl, el pH y Conductividad Eléctrica CE se obtuvo por determinación de potenciometría. Ver los resultados de la muestra enviada y analizada en el laboratorio de química agrícola FCCA, UES. (ver anexos.3)

### 5.4.1 Rendimiento de producto final.

Se realizó de la determinación de porcentaje de rendimiento de compost final por método de diferencia de volumen, para esta determinación se realizó al inicio la determinación del volumen de material a compostar, mediante determinación con la fórmula del cilindro se inició con un volumen a compostar de  $1\text{m}^3$ .

para el compost, se utilizó unas zarandas como tamiz con agujeros de 25 mm, ya que esta dimensión de agujeros permite separar el material fino (compost maduro) de restos grandes sin desintegrar demasiado la fracción útil. Luego del proceso de tamizado se determinó la cantidad de compost en volumen, tamizado libre de residuos o material mayor a 2cm de diámetro, el compost fue colocado en un recipiente cilíndrico, las dimensiones del recipiente eran de 0.40m de anchura y una altura de 1.15m.

$$V= \pi r^2 h$$

**Donde.**

- ❖  $\pi$ = es una constante que aproximadamente vale 3.14159
- ❖  $r$ = es el radio de la base.
- ❖  $h$ = es la altura del cilindro.

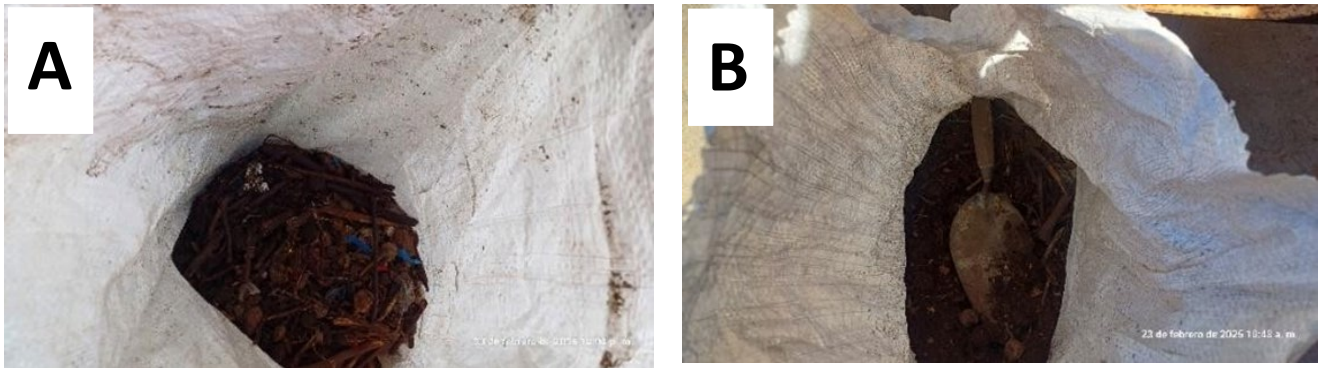
El volumen final de material en calidad de compostaje tamizado en sarán de 25mm, fue de  $0.14\text{m}^3$  lo que es igual a 14%.

En cuanto a residuos de mayores tamaños solamente se obtuvo  $0.025\text{m}^3$  es decir el 2.51% de materiales que por su composición carbono/nitrógeno no pudo ser descompuesta en el proceso. (ver anexos. 4)

Se estima que, para obtener un volumen final de  $1\text{ m}^3$  de compost estabilizado y apto para uso agrícola, es necesario procesar aproximadamente  $7\text{ m}^3$  de material fresco. Este requerimiento implica un incremento en los costos de producción; sin embargo, dicho aumento se ve compensado por la reducción en la demanda de mano de obra, ya que el proceso no requiere realizar volteos periódicos para asegurar la calidad del producto final.

Asimismo, el sistema ofrece ventajas adicionales en términos de aprovechamiento de materiales, dado que los insumos utilizados en la elaboración de la estructura del biorreactor pueden ser reutilizados en la conformación de múltiples ciclos de compostaje, lo que contribuye a disminuir los costos operativos a largo plazo.

En fotografías se aprecia el parte del proceso final de tamizado del compost y la determinación final de rendimiento.



Figuras 20. Se observa el material cosechado después de 5 meses de compostaje. Fotografía A y B muestran material poco degradado de la parte superior del cilindro.



Figuras 21. Proceso de compostaje. A) tamizaje de material. B). separación de material no tamizado, rocas maderas.



Figuras 22. Fotografías A y B muestra el proceso que se realizó para tamizar la muestra.



Figuras 23. En figuras A y B, Se muestra el material tamizado.

#### 5.4.2 Temperatura.

Se realizó el monitoreo de temperaturas durante todo el proceso de compostaje, con registros iniciales el 6 de junio de 2024 y finales el 27 de octubre de 2024, siguiendo intervalos de medición establecidos, los cuales se detallan en el Cuadro 2.

Los datos obtenidos indicaron que el compost alcanzó la fase de higienización, conforme a lo especificado por la FAO (2013), caracterizada por temperaturas superiores a 55 °C. En este estudio, la fase termófila se inició a 47,8 °C y alcanzó un valor máximo de 69,8 °C, cumpliendo con los criterios necesarios para la eliminación de patógenos y semillas indeseadas.

Las temperaturas observadas se mantuvieron dentro de los rangos recomendados por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM, 2004), así como según la metodología de Johnson-Su:

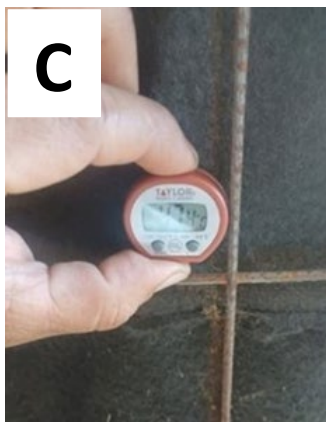
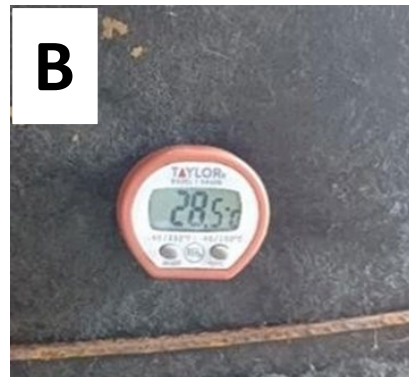
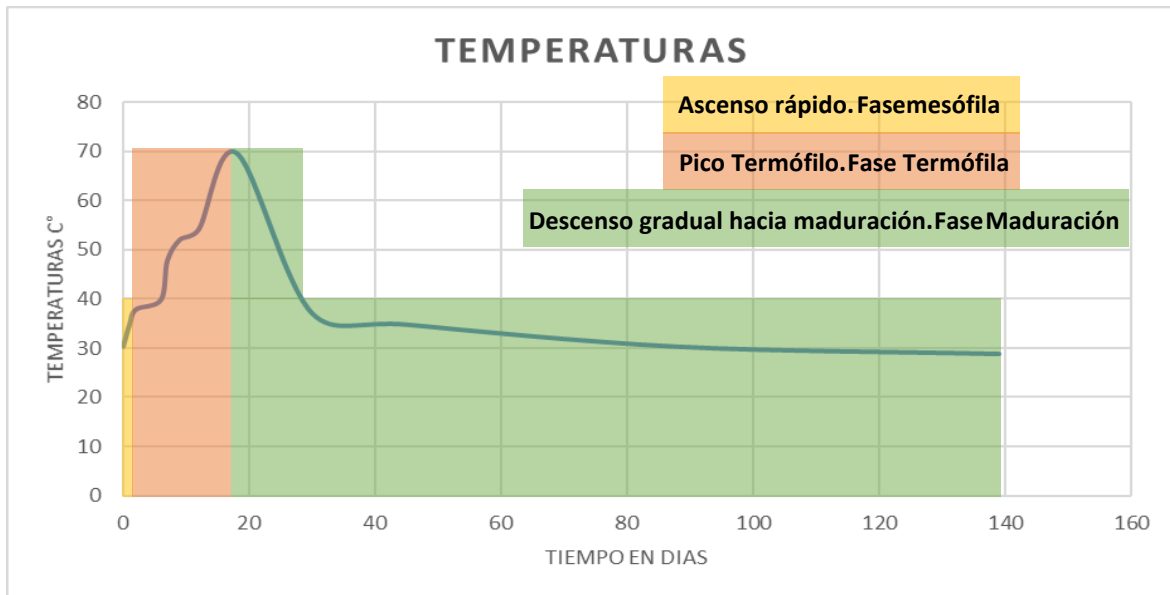
- Fase de latencia y crecimiento (mesófila 1): rango recomendado de 15–45 °C; en nuestro caso, se registró un inicio de 30,2 °C y un final de 39,8 °C.
- Fase termófila (higienización): superior a 55 °C, alcanzando entre 47,8 °C y 69,8 °C, conforme a la FAO (2013).
- Fase de maduración: temperaturas descendentes desde 37 °C hasta 28,7 °C, alineadas con los valores indicados por Johnson-Su, asegurando la estabilización y maduración del material orgánico.

Estos resultados confirman que el sistema de compostaje implementado permitió el desarrollo adecuado de las fases biológicas del proceso, garantizando la producción de un compost higienizado y estable, conforme a las normativas y metodologías citadas.

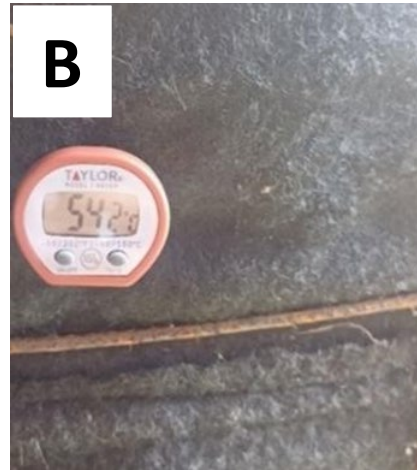
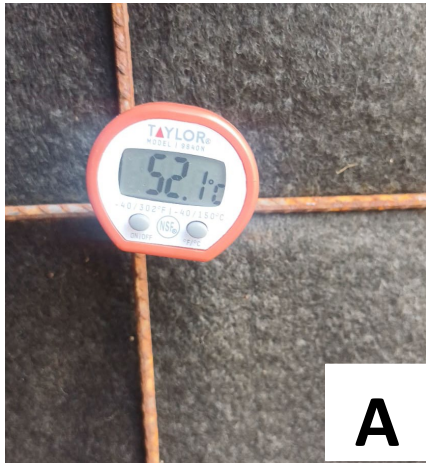
La curva de temperaturas registrada mostró la **evolución típica del compostaje**:

- Ascenso rápido.
- Pico termófilo.
- Descenso gradual hacia maduración.

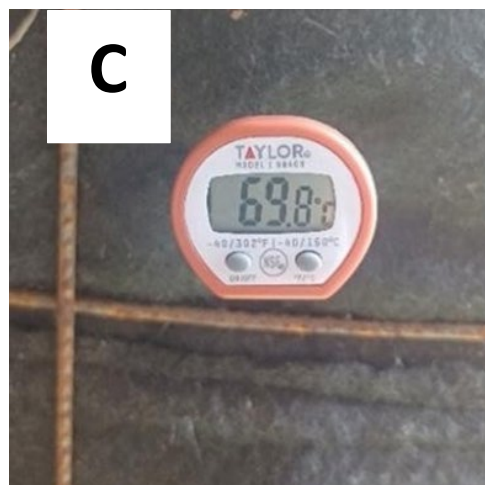
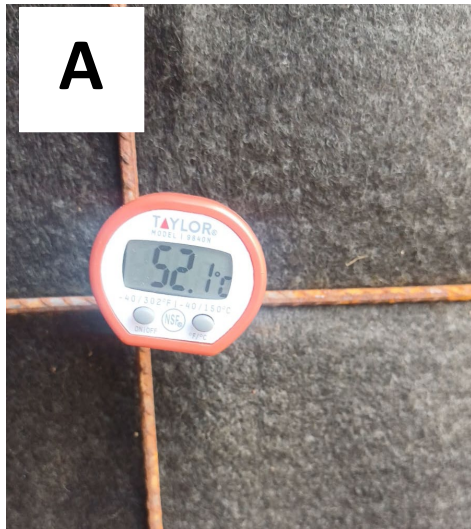
Grafica 1. Control de temperaturas registradas durante el proceso de compostaje.



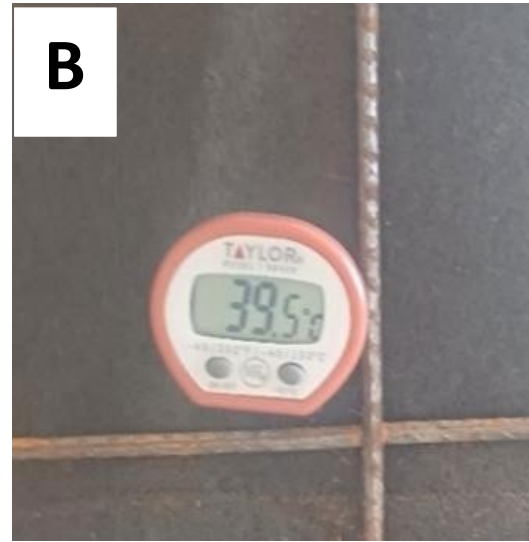
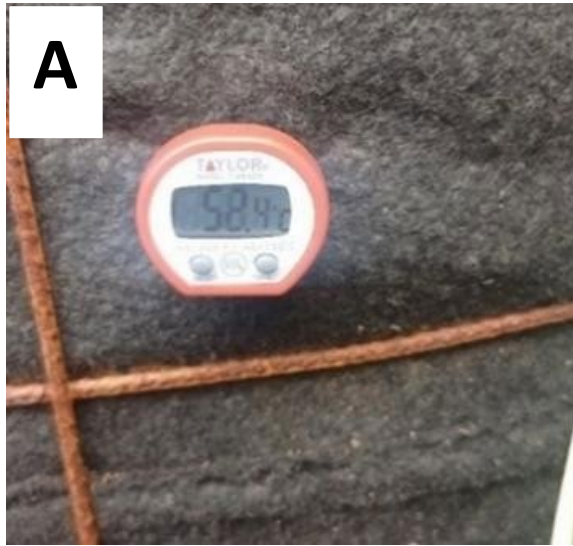
Figuras 24. Las siguientes fotografías muestran el proceso incremento de temperatura. A y B. refleja el inicio de la subida de temperatura. C y D. Muestran las temperaturas de etapa pre inicio termofílica.



Figuras 25. Tomas de muestras de temperaturas. A) Temperaturas 54.2 °C en figura B) se ve aumento de temperatura 15. 6°C.



Figuras 26. Se observa como la figuras A, B y C la temperatura ascendió hasta 69.8 °C



Figuras 27. Variación de temperaturas. A y B muestra como las temperaturas van descendiendo e iniciar el proceso misofilia II, en figuras C, D y E Se observa etapa mesofilia con descenso de temperatura y estabilización a temperatura ambiente.

Tabla 2. Control de temperaturas tomadas en el proceso de compostaje.

FECHA	DÍAS	TEMPERATURAS FASE DE COMPOSTAJE	
10/06/2024	0	30,2	MESOFILIA 1
11/06/2024	1	34,7	
12/06/2024	2	37,8	
16/06/2024	6	39,8	
17/06/2024	7	47,8	TERMOFILIA
19/06/2024	9	52,1	
22/06/2024	12	54,2	
28/06/2024	18	69,8	
10/07/2024	30	37	MESOFILIA 2
25/07/2024	45	34,7	
06/09/2024	88	30,2	
27/10/2024	139	28,7	

Tabla 3. "Resultados analíticos de labor laboratorio deben mostrar que la conductividad eléctrica del compost Clase A sea < 3 dS/m (3000 mS/cm), y la del compost Clase B ≤ 8 dS/m (3000 mS/cm), según; NCh2880." INN, (2004).

INDICADOR	Muestra de compost	FAO 2013	Márquez Díaz P; Blanco M; Cabrera Capitán F. Sf).	Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, de España 2004	*INN, NCh 2880 (2004)	ICON TEC (2011) NTC 5167	Román P; Martínez M; Pantoja A	Masaguer A, Lopez A, Carmon E, Fornes F, et al	ANSORE NA MINER 2016	CSR 2025	ANACA FE 2004	Clemson University .2 025
Contenido de agua (humedad)	67.88%	30-45%	50-70%;	40 al 60%,	30-45%	20-35%						
Cenizas	20.71%					60%				10-40 %.	50%	
Nitrogen	0.62%	1%			0,5%	1%.						0.5-2.5%
Ph	7.98		7 y 8		5.0 y 8.5	mayor de 4 y menor de 9	4,5 – 8,5					
CE	1992.0 mS/cm 1.992 DS/m				(A)3000mS/cm <sup>a</sup> (B)8000dS/ m <sup>b</sup>			2.5dS/m	(4690 mS/cm). 4.69 DS/m			

### 5.4.3 Humedad.

Al quinto mes de compostaje utilizando el método de biorreactor Johnson-Su, se obtuvo un contenido de humedad de 68,88%, valor que refleja la presencia significativa de agua dentro del material en proceso. Este resultado se encuentra por encima de los rangos establecidos por diversas normativas y referencias bibliográficas: según la Norma Técnica Chilena NCh2880 (2004), un compost de buena calidad debería presentar humedad entre 30% y 45%, mientras que la FAO (2013) recomienda un rango óptimo de 45% a 60% de agua en peso del material base.

No obstante, estudios como los de Márquez et al. (s.f.) indican que, para un adecuado crecimiento microbiano, la humedad óptima puede situarse entre 50% y 70%, mientras que valores por debajo del 30% reducen significativamente la actividad biológica y humedades superiores al 70% generan desplazamiento del aire en los poros del material, provocando condiciones anaerobias, malos olores y una disminución en la velocidad del proceso de compostaje. De esta manera, el valor registrado de 68,88% se encuentra dentro del rango considerado favorable para la actividad microbiológica, pero próximo al límite superior que podría generar condiciones de reducción de oxígeno si no se controla adecuadamente.

Por otro lado, el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España (MARM, 2004) establece que la humedad óptima depende de la textura de los materiales, recomendando valores entre 40% y 60%, especialmente en mezclas con alto contenido fibroso. En este contexto, el contenido medido en el presente estudio indica que el biorreactor Johnson-Su logró mantener niveles de humedad que permiten la proliferación microbiana y la descomposición efectiva de los materiales vegetales, aunque sugiere la necesidad de monitoreo continuo para evitar condiciones de exceso de agua que puedan inducir procesos anaerobios.

En resumen, aunque el contenido de humedad obtenido supera los rangos definidos por algunas normativas de calidad de compost, se encuentra dentro de los niveles considerados adecuados para la actividad biológica y la eficiencia del proceso de compostaje en biorreactores de tipo Johnson-Su, especialmente para materiales de origen vegetal, asegurando la estabilidad y maduración del producto final.

#### **5.4.4 Potencial de Hidrogeno pH.**

El pH registrado al quinto mes de compostaje fue de 7,98, lo que indica un ambiente ligeramente alcalino en el material procesado. Este valor se encuentra dentro de los rangos considerados aceptables para compost maduro según distintas normativas y autores.

De acuerdo con Márquez et al. (s.f.), citando a Suler et al. (1977), un compostaje con aireación adecuada produce productos finales con un pH entre 7 y 8, mientras que valores inferiores indican procesos anaeróbicos y material aún inmaduro. El pH obtenido en este estudio sugiere que la aireación en el biorreactor fue suficiente para mantener condiciones aeróbicas durante la degradación del material.

Por otra parte, la Norma Chilena NCh 2880:2004 (INN, 2004) establece que el pH de un compost maduro debe oscilar entre 5,0 y 8,5, rango dentro del cual se encuentra el valor medido. Este parámetro es fundamental, ya que define la supervivencia y proliferación de los microorganismos involucrados en la descomposición; la actividad bacteriana es mayor entre 6,0 y 7,5, mientras que la actividad fúngica se desarrolla mejor entre 5,5 y 8,0 (Román; Martínez et al., s.f.).

Adicionalmente, la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) indica que los abonos orgánicos y enmiendas deben presentar un pH mayor de 4 y menor de 9, confirmando que el compost generado cumple con los criterios de calidad para su uso agrícola.

En síntesis, el pH de 7,98 obtenido en el proceso de compostaje con biorreactor Johnson-Su se encuentra dentro de los rangos recomendados por normativas internacionales y es compatible con la actividad microbiana óptima, lo que indica un compost maduro y estable, apto para aplicación agrícola.

#### **5.4.5 Conductividad Eléctrica CE.**

El valor de conductividad eléctrica (CE) registrado en el compost al quinto mes de proceso fue de 1.992 mS/cm (1.992 dS/m), indicando un nivel de salinidad moderado en el material final.

La CE es un parámetro crítico que influye directamente en la calidad del compost, ya que valores elevados pueden afectar la germinación y crecimiento de plantas, particularmente en viveros y semilleros, donde las especies jóvenes son más sensibles a la salinidad (Carrion et al., 2005).

Según la Norma Chilena NCh2880:2004 (INN, 2004), para que un compost sea considerado de Clase A (alta calidad) su CE debe ser inferior a 3 dS/m y la relación carbono/nitrógeno  $\leq 25$ . Para compost de Clase B, la CE puede ser  $\leq 8$  dS/m. En este estudio, la CE medida de 1.992 dS/m se encuentra claramente por debajo del límite de 3 dS/m, indicando que el compost cumple con los requisitos para compost de alta calidad y puede utilizarse como componente en sustratos o enmiendas orgánicas sin riesgo significativo de toxicidad por sales.

Autores como Masaguer et al. (s.f.) advierten que compost con CE superior a 2.5 dS/m debe ser utilizado con precaución o previo lavado para reducir los elementos solubles, evitando impactos negativos sobre la germinación de semillas. Estudios experimentales citados por ANSORENA (2016) muestran que, en sustratos con CE muy alta, como 10.120 dS/cm, la germinación de *Lolium multiflorum* se retrasa significativamente, iniciándose sólo cuando la CE disminuye mediante lavado a 4.690 dS/cm. Esto evidencia la importancia de mantener niveles de salinidad controlados para asegurar la viabilidad del compost como medio de cultivo.

En conclusión, la CE obtenida en el presente estudio (1.992 dS/m) se encuentra dentro de los rangos óptimos definidos por normas internacionales y literatura especializada, garantizando que el compost producido es adecuado para su aplicación agrícola y en mezclas de sustratos, sin presentar riesgos por exceso de sales

#### **5.4.6 Cenizas.**

El contenido de cenizas registrado en el compost al quinto mes de proceso fue de 20,71%, indicando un nivel moderado de material inerte presente en la mezcla final. Este parámetro es un indicador importante de la calidad del compost, ya que valores demasiado altos pueden reflejar la presencia de tierra, arena, cenizas u otros minerales que no contribuyen a la formación de humus ni aportan nutrientes disponibles para las plantas (CSR Laboratorio, 2025).

Según la NTC 5167 (ICONTEC, 2011), como estándar de calidad para abonos orgánicos, el contenido máximo de cenizas no debe superar el 60%, lo que asegura que el producto conserve su valor como enmienda orgánica. De manera similar, la Asociación Nacional del Café de Guatemala (ANACAFE, 2004) sugiere que los porcentajes ideales de cenizas deben ser inferiores

al 50%, ya que valores superiores reflejan una alta proporción de material inerte que no contribuye al enriquecimiento del suelo.

El valor obtenido de 20,71% se encuentra ampliamente dentro de los rangos recomendados por la literatura, indicando que el compost producido es de alta calidad, con bajo contenido de materiales inertes y adecuado para su uso como enmienda orgánica o sustrato agrícola. Este resultado también refleja un proceso de compostaje eficiente, en el que predominan los materiales orgánicos sobre los minerales, asegurando la generación de un producto nutritivo y estable.

#### **5.4.7 Nitrógeno.**

El contenido de nitrógeno total registrado en el compost al quinto mes de proceso fue de 0,62% (base seca). El nitrógeno total incluye formas orgánicas y minerales, como amonio y nitratos, y es un parámetro esencial para evaluar la calidad nutritiva del compost, dado que constituye un nutriente clave para el desarrollo de las plantas (FAO, 2013).

Según la FAO (2013), el contenido de nitrógeno total en compost maduro (3–6 meses) debe situarse alrededor del 1%, aunque puede variar según las condiciones ambientales, el método de compostaje y las materias primas utilizadas. La Clemson University (2025) establece un rango normal de 0,5 a 2,5% para compost terminado en base seca, indicando que los valores obtenidos se encuentran dentro de los límites considerados aceptables para un producto maduro.

La Norma Chilena NCh2880 (INN, 2004) y la NTC 5167 (ICONTEC, 2011) también fijan parámetros de referencia para la calidad del compost: NCh2880 establece que el contenido mínimo de nitrógeno total debe ser  $\geq 0,5\%$ , mientras que NTC 5167 recomienda un valor  $\geq 1\%$ .

El resultado obtenido de 0,62% cumple con el límite mínimo definido por NCh2880 y se aproxima al rango ideal sugerido por ICONTEC y FAO, asegurando que el compost posee suficiente contenido de nitrógeno para su aplicación agrícola, aunque podría considerarse moderado en términos de fertilidad comparado con los estándares más exigentes

## 6 CONCLUSIONES.

- ❖ **Calidad del compost:** Los resultados de laboratorio indican que el compost obtenido mediante la metodología Johnson-Su es de muy buena calidad, ya que los parámetros evaluados se encuentran dentro de los rangos recomendados por normas y estándares internacionales, acercándose a los valores ideales para un producto final seguro y eficiente. El biorreactor alcanzó las condiciones térmicas necesarias para un compost de calidad, con adecuada sanitización y estabilidad final. El proceso confirma la eficacia del diseño y manejo implementado. El compost alcanzó un pH neutro a ligeramente alcalino, adecuado para el periodo de maduración (5 meses). El valor obtenido confirma que el proceso de compostaje se desarrolló en condiciones aeróbicas estables, garantizando la calidad y estabilidad del producto final.
- ❖ **Conductividad eléctrica (CE):** El valor obtenido de 1.992 dS/cm confirma que el compost puede emplearse como enmienda agrícola de calidad o como sustrato para semilleros, ya que no presenta salinidad excesiva y mantiene un balance adecuado de minerales, evitando efectos negativos en el desarrollo de los cultivos.
- ❖ **Proporción de cenizas:** El valor de 20.71% se encuentra dentro del rango recomendado de 10–40%, lo que indica que el material posee un contenido mineral adecuado. Esta proporción se relaciona directamente con la CE; un exceso de sales minerales alteraría la conductividad y podría generar un compost con propiedades salinas no deseadas.
- ❖ **Aprovechamiento de residuos orgánicos:** Este método permite la valorización de residuos agrícolas, de mercados y domésticos, fomentando la agricultura urbana, escolar y orgánica. Es un proceso económico, de fácil replicación y que genera beneficios ambientales y productivos significativos.
- ❖ **Llenado del biorreactor:** El llenado debe realizarse en un solo día y con material vegetal en excedente, húmedo, pero no saturado. Llenados parciales o compactación insuficiente podrían alterar los procesos aeróbicos, comprometiendo la calidad final del compost.
- ❖ **Mantenimiento y tiempo de compostaje:** La metodología requiere mínima intervención, limitándose a riegos semanales. El tiempo óptimo de maduración es de aproximadamente 6 meses, tras lo cual se realiza la cosecha.

- ❖ Ventajas ambientales y operativas: No genera lixiviados contaminantes, malos olores ni proliferación de insectos. Requiere poca inversión, mínimo espacio y poca mano de obra, haciéndolo ideal para entornos urbanos.
- ❖ Aplicabilidad en agricultura urbana y disposición de residuos: Es una metodología recomendable para la gestión de residuos vegetales diarios de mercados y hogares, evitando su disposición inadecuada en vertederos municipales. Su practicidad y eficiencia la convierten en una alternativa viable para fomentar la agricultura orgánica y urbana.
- ❖ El compost producido mediante la metodología Johnson-Su presenta un contenido de nitrógeno adecuado, cumpliendo con los criterios de calidad establecidos por normativa internacional y bibliografía especializada, garantizando su idoneidad como fertilizante orgánico y enmienda para suelos agrícolas.

## 7 RECOMENDACIONES.

- ❖ Selección y preparación de materiales: Utilizar desperdicios vegetales con humedad moderada, evitando frutas extremadamente jugosas como sandías o melones. En caso de emplear residuos urbanos muy húmedos, mezclar con materiales secos como pasto, restos de poda o ramas trituradas, para mantener un balance adecuado de humedad y facilitar la aireación.
- ❖ Evitar materiales contaminados: No emplear residuos que contengan herbicidas, pesticidas u otros químicos, ya que pueden afectar la calidad final del compost y alterar procesos biológicos esenciales.
- ❖ Operación de llenado y cosecha: Se recomienda realizar estas actividades con 2 o 3 personas para optimizar la manipulación del material y garantizar un llenado homogéneo y seguro del cilindro.
- ❖ Ubicación y manejo del cilindro: Colocar el biorreactor en un lugar fresco, seco y protegido de exposición solar directa y de roedores u otros animales.

Monitorear la humedad:

- Exceso de agua: puede generar procesos anaeróbicos, malos olores y lixiviados contaminantes.
- Deficiencia de humedad: puede detener la actividad microbiana y retrasar la maduración del compost.
- ❖ Control y seguimiento: Mantener una supervisión periódica de las condiciones del cilindro, ajustando riegos y mezclas según sea necesario, para asegurar un proceso de compostaje estable y eficiente.

## 8 BIBLIOGRAFÍAS

**A Hernández Hernández.**2003. LA COMPOSTA SU ELABORACION Y BENEFICIOS.LA COMPOSTA.UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” DIVISION DE AGRONOMIA.COAHUILA. MEXICO. 14-17 P. (en línea). consultado el 28 de julio. 2023.Disponible en:<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1265/LA%20COMPOSTA%2C%20SU%20ELABORACION%20Y%20BENEFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y%20>

**Adame, S (2019).** Biorreactor Johnson – Su. Vía Orgánica. Guanajuato. México. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://viaorganica.org/biorreactor-johnson-su/>

**ANACAFE. Asociación Nacional Del Café.**2023. boletín, Guatemala. CALIDAD DE LOS ABONOS ORGÁNICOS. INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE ABONO ORGÁNICO 0-1 /M-1 DE ANALAB. (en línea). Guatemala, Guatemala. Consultado 7 enero. 2025. Disponible en:<https://www.anacafe.org/uploads/file/9ad2b27d866646d79afa77391a37d7b0/Boletin-InterpretacionAbonosOrganicos-Marzo2024.pdf>

**ANSORENA MINER, J. (2016).** El compost de biorresiduos. Normativa, calidad y aplicaciones. En línea. España: Ediciones Mundi-Prensa. Consultado el 23 de noviembre 2024. P 163. Disponible en: [https://books.google.com/sv/books?id=Ni-IDAAAQBAJ&printsec=copyright&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com/sv/books?id=Ni-IDAAAQBAJ&printsec=copyright&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

**Barrera Gómez R, 2006. COMPOSTAJE DE RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS, APLICACIÓN DE TECNICAS RESPIROMETRICAS EN EL SEGUIMIENTO DEL PROCESO.** Fundación Privada Estudis del Medi Ambient de Mollet del Vallès. DEPARTAMENT D'ENGINYERIA QUÍMICA Universitat Autònoma de Barcelona.Barcelona. España. 17p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>

**BBVA (El Banco Bilbao Vizcaya Argentaria).**2022. ¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>

**BBVA (El Banco Bilbao Vizcaya Argentaria).2023.** ¿Qué es el compost y cuáles son sus fases? El poder del suelo vivo. Las cuatro fases del compostaje. (en línea). Vizcalla, Argentina. consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/quees-el-compost-y-cuales-son-sus-fases-el-poder-del-suelo-vivo/>

**BID (Banco Integral de Desarrollo).** 2023. Los cultivos orgánicos ganan terreno en El Salvador. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://blogs.iadb.org/integracion-comercio/es/el-salvador-politicas-para-un-agro-innovador-y-sostenible/>

**Bueno Márquez, P, Díaz Blanco, M, Cabrera Capitán, F.**2008. Capítulo 4. Factores que afectan al proceso de Compostaje. (en línea). Universidad de Huelva. Facultad de Ciencias Experimentales. Campus El Carmen.Huelva. España. *Compostaje*, Mundi Prensa Libros, 2008, pp. 93-110. Consultado 21 de nov. Disponible en: <https://produccioncientifica.uhu.es/documentos/603e1947441e300476342ec8>

**C Céspedes.** 2005. AGRICULTURA ORGÁNICA Principios y prácticas de producción. La agricultura orgánica Como un sistema integral. INIA (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS). C CÉSPEDES. Chillán. CINIA (11p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/6320ad2d-beff-4b3b-9bd1-55c66134adb0/content>

**Clemson University.2025.** Compost Interpretation. Agricultural Service Laboratory. Regulatory Services.Carolina del sur. Estados unidos. (en línea). Consultado 14 ene. 2025. disponible en: <https://www-clemson-edu.translate.goog/public/regulatory/ag-srvclab/compost/interpretation.html? x tr sl=en& x tr tl=es& x tr hl=es& x tr pto=sge>

**CSR Laboratori.2006.** Qué es un Buen Compost y Cómo Aplicarlo. Parámetros que definen la Calidad de un Compost. consultado 8 de ene. 2025. disponible en: <https://csllaboratorio.es/laboratorio/agricultura/fertilizantes-y-abonos/que-es-un-buen-compost-y-como-aplicarlo/>

**Danosa.** (s.f.). Geotextiles de poliéster. Danofelt PY-300. (en línea). consultado el 18 de septiembre 2025. Disponible en: <https://www.danosa.com/es-es/producto/danofelt-py-300/>

**F Ortiz Cuara .Snf.** Manual básico para la producción agrícola orgánica I (500 millones de años de vida de las plantas sobre la tierra). FORMAS DE ALIMENTACIÓN ORGÁNICA. Composta. METROCERT (México tradición orgánica). México.13p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en:

[https://www.metrocert.com/files/Manual\\_de\\_produccion\\_de\\_agricultura\\_organica.pdf](https://www.metrocert.com/files/Manual_de_produccion_de_agricultura_organica.pdf)

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).** 2013.SEGURIDAD Y SOBERANIA ALIMENTARIA. Gordillo, G; Méndez, O. 2 p.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).**2023. Cultura y tradiciones alimentarias: mediante el apoyo a unas dietas saludables, diversificadas y culturalmente apropiadas,2002 la agroecología contribuye a la seguridad alimentaria y la nutrición al tiempo que mantiene la salud de los ecosistemas. (en línea).consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: [https://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/culture-food-traditions/es/?page=61&ipp=5&tx\\_dynalist\\_pi1%5Bpar%5D=YToxOntzOjE6IkwiO3M6MToiMil7fQ%3D%3D](https://www.fao.org/agroecology/knowledge/10-elements/culture-food-traditions/es/?page=61&ipp=5&tx_dynalist_pi1%5Bpar%5D=YToxOntzOjE6IkwiO3M6MToiMil7fQ%3D%3D)

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).** LOS FERTILIZANTES Y SUS USOS. El abono orgánico mejora la eficiencia de los fertilizantes. 3ed. IFA (asociación internacional de la industria de los fertilizantes). Paris. Francia. FAO. 5p.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).**2023. Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe. Análisis de siete trayectorias de transformación exitosas. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b0fc5b6e-0b26-47a5-b1f3-1ba3719a56d0/content/cb4415es.html>

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).**2023. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. Agroecología y Agricultura Familiar. (en

línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).**2023. Qué es la agricultura orgánica. Agroecología y Agricultura Familiar. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/3/ad818s/ad818s03.htm>

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).**2013. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

**FAO (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA).** 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile. (en línea) FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Santiago de Chile. Chile. 31p. Consultado 3 enero. 2025. Disponible en. <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

**G Soto1; R Muschler.** 2001. Manejo integrado de plagas. Agricultura Orgánica. Costa Rica. 102p (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6341/A2122e.pdf?sequ>

**GAIA (Global Alliance for Incinerator Alternatives).** (1997). Reducción y recuperación de residuos orgánicos: compostaje – Caso de estudio de Suchitoto, El Salvador. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.no-burn.org/wpcontent/uploads/2021/03/Seria-docuemntos-GAIA-Caso-2-1.pdf>

**Geoproyectos.** (sf). Geotextil no tejido. Ficha técnica. [PDF]. México: Geoproyectos. (en línea). consultado el 18 de septiembre 2025. Disponible en: <https://geoproyectos.com.mx/pdf/geotextil.pdf>

**Geotextil.com.ar.** (s.f.). Geotextil no tejido 250 g/m<sup>2</sup> 100% poliéster. (en línea). consultado el 18 de septiembre 2025. Disponible en: <https://www.geotextil.com.ar/productos/geotextil-no-tejido-250-gr-m2-100-poliester/>

**Gliessman; Rosado, May et al.**2007. Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. Universidad Autónoma de Chapingo. Veracruz, México. P. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en:

<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/134/131>

**Hayden,J.** 2020. EL SECUESTRO DE CARBONO DEL SUELO ES UNA CONSECUENCIA NATURAL DE HACER LAS COSAS BIEN. Rodale Institute, Pensilvania. EE. UU. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en <https://rodaleinstitute.org/es/blog/soil-carbon-sequestration-is-a-natural-consequence-of-doing-things-right/>

**Hernández Hernández, A.** (2003). La composta, su elaboración y beneficio [Monografía para obtener el título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1265/LA%20COMPOSTA%2C%20SU%20ELABORACION%20Y%20BENEFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**ICONTEC (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN), 2011.** Norma técnica colombiana 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Segunda actualización. ICONTEC. Colombia. Consultado 21 de nov. 2024.Disponible en [https://www.cenicana.org/wpcontent/uploads/2019/10/NTC\\_5167.pdf](https://www.cenicana.org/wpcontent/uploads/2019/10/NTC_5167.pdf)

**IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura).**2023. CAFICULTORES EN EL SALVADOR SE CAPACITAN EN LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO. (en línea). San José. Costa Rica. Consultado 7 jun. 2023. Disponible en: <https://iica.int/es/noticias/caficultores-en-el-salvador-se-capacitan-en-la-elaboracion-de-abono-organico/>

**INI (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria).**2013. COMPOSTAJE Y COMPOST. ¿QUÉ ES EL COMPOST? Docampo, R. Montevideo Uruguay. 63p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>

**INN (INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN).2004.** Norma técnica chilena 2880 (NCH 2880). Norma Chilena de Calidad de Compost. INN. Chile. Santiago de Chile. Chile. 9P. consultado 21 nov 2024. Disponible en: [https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh\\_2880\\_Compost\\_Clasificaci%C3%B3n.pdf](https://miros.cl/wp-content/uploads/2020/01/NCh_2880_Compost_Clasificaci%C3%B3n.pdf)

**J Restrepo; D Ángel. Et al.2000.** Agroecología. El Enfoque de la Agricultura Convencional y su Impacto en el Ambiente. Universidad Nacional de Colombia y Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola (FIDAR). Santo Domingo, República Dominicana. 6P.

**Johnson, D; De simio, P.** 2017. Mejores prácticas de manejo: Johnson-su biorreactor de compostaje. Materiales. Departamento de agricultura de los Estados Unidos Agencia para servicio agrícola. Universidad Estatal de Nuevo México colegio de agricultura, Ciencias del Consumidor y del Medio Ambiente. Nuevo Mexico. EE, UU. (en línea).consultado el 28 de julio 2023.Disponible en:<https://regenerationinternational.org/wp-content/uploads/2017/09/Johnson-Su-Bioreactor.pdf>

**MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, de España).2004.** “Manual de compostaje”, “Memoria Resumen de las experiencias de compostaje año 2004-2008”. en línea. Parámetros del proceso de compostaje. Madrid. España Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones. Consultado el 23 de noviembre 2024. P 19. Disponible en: [https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/manual\\_compostaje\\_tcm30-185063.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/publicaciones/manual_compostaje_tcm30-185063.pdf)

**MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales); 2012.** Lineamientos para impulsar la separación desde el origen y aprovechamiento de los desechos sólidos a nivel municipal. Unidad de Desechos Sólidos y Peligrosos Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (en línea). San salvador. El salvador. Consultado 7 jul. 2023. Disponible en: <https://rcc.marn.gob.sv/bitstream/handle/123456789/276/Lineamientos%20para%20separaci%C3%B3n%20y%20centros%20de%20acopio%20version%2011022012%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Meseguer A, López A, Carmon E, Fornes F, et al. 2015.** De residuo a recurso el camino a la sostenibilidad. Uso del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor III.2. (2015). España: Ediciones Mundi-Prensa. P 41. Consultado en línea el 21 de noviembre 2024. En línea: [https://www.google.com/sv/books/edition/Use del compost como componente de sustratos para cultivo en contenedor III.2/G-o9CQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=conductividad+electrica+optima+de+compost&pg=PA41&printsec=frontcover](https://www.google.com/sv/books/edition/Use%20del%20compost%20como%20componente%20de%20sustratos%20para%20cultivo%20en%20contenedor%20III.2/G-o9CQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1&dq=conductividad+electrica+optima+de+compost&pg=PA41&printsec=frontcover)

**NCAT (El Centro Nacional de Tecnología Apropiada).** 2015. Hoja de Datos: Compost. ¿Cuándo está listo el compost? USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos). Montana Estados Unidos. 3p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/FINAL%20Compost.pdf>

**OIT (Organización Internacional del Trabajo).** 2017. Objetivos de Desarrollo Sostenible. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed\\_dialogue/@actrav/documents/publication/wcms\\_569914.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_dialogue/@actrav/documents/publication/wcms_569914.pdf)

**ONU (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE).** 2018. Perspectiva regional de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. (en línea). consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>

**ONU (Organización de las Naciones Unidas).** 2018. Cómo la basura afecta al desarrollo de América Latina. (en línea). Villemain, Francia. Consultado 3 jun. 2023. Disponible en. <https://news.un.org/es/story/2018/10/1443562>

**ONU (Organización de las Naciones Unidas).** Snf. GESTIÓN ECOLÓGICAMENTE RACIONAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS Y CUESTIONES RELACIONADAS CON LAS AGUAS CLOACALES “AGENDA 21”. **Aumento al máximo del reaprovechamiento y reciclado ecológicamente racionales de los desechos.** (en línea). Villemain, Francia. Consultado 3 jun. 2023. Disponible en. <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter21.htm>

**ONU (organización de las Naciones Unidas).**2018. Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. Canje de reciclables por alimentos. Programa Cambio verde – Municipio de Curitiba, Brasil. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://www.unep.org/es/resources/informe/perspectiva-de-la-gestion-de-residuos-en-america-latina-y-el-caribe>

**OPS (Organización Panamericana para la Salud); OMS (/Organización Mundial para la Salud).** 2022. Los Residuos Sólidos. (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 7 jun. 2023. Disponible en. <https://www.paho.org/es/temas/residuos-solidos>

**Pastor Fernández, C (2019).** Proyecto de Diseño de un Biorreactor para la Producción de Compost a partir de Biorresiduos. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/232116259.pdf>

**Peña Turruell E; Carrión Ramírez M; Martínez F; Rodríguez Nodals A; Companioni Concepción N. (2002).** MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS EN LA AGRICULTURA URBANA. (PNUD INIFAT 2002).(en línea). La Habana, Cuba. consultado el 28 de julio 2023.Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/2adb/b845452223cccd74da472b5f2cb17b4ba0fc.pdf>

**RI (Regeneración Internacional).**2019. COMPOST FOR SOIL REGENERATION JOHNSON–SU COMPOSTING BIOREACTOR. Bringing the Soil Back to Life. (en línea). Estados Unidos. Consultado 7 jun. 2023. Disponible en. <https://regenerationinternational.org/bioreactor/>

**Román P; Martínez M; Pantoja A. (2013)** MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina. (en línea) FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Santiago de Chile. Chile. Consultado 3 jun. 2023. Disponible en. <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>

**SAG (Servicio Agrícola Ganadera).** Snf. AGRICULTURA ORGÁNICA NACIONAL BASES TÉCNICAS Y SITUACIÓN ACTUAL. Compost - Abonera de Montón. Santiago de Chile. Chile. 123p. (en línea). consultado el 28 de julio 2023.Disponible en:

[https://www.sag.cl/sites/default/files/agricultura\\_organica\\_nacional\\_bases\\_tecnicas\\_y\\_situacion\\_actual\\_2013.pdf](https://www.sag.cl/sites/default/files/agricultura_organica_nacional_bases_tecnicas_y_situacion_actual_2013.pdf)

**SAG (Servicio Agrícola Ganadero). (2013)** AGRICULTURA ORGÁNICA NACIONAL BASES TÉCNICAS Y SITUACIÓN ACTUAL. COMPOSTAJE. (en línea). MINISTERIO DE AGRICULTURA SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO DIVISIÓN DE PROTECCIÓN DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES SUBDEPARTAMENTO DE AGRICULTURA ORGÁNICA. Santiago de Chile, Chile. Consultado 3 jun. 2023. Disponible en: [https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/agricultura\\_organica\\_nacional\\_bases\\_tecnicas\\_y\\_situacion\\_actual\\_2013.pdf](https://www.sag.gob.cl/sites/default/files/agricultura_organica_nacional_bases_tecnicas_y_situacion_actual_2013.pdf)

**Salinas C; León M; Pérez M; Yagello J. (2018)** MANUAL DE COMPOSTAJE PARA ZONAS FRÍAS. COMPOSTAJE. (en línea). Universidad de Magallanes. Punta Arenas, Chile. Consultado 3 jun. 2023. Disponible en: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/Manual-de-Compostaje.pdf>

**SDFG (Sustainable Development Goal Fund). 2017.** La agricultura orgánica mejora la nutrición y reduce la pobreza femenina en El Salvador rural. Consumo propio y comercialización de excedentes. (en línea). Consultado el 28 de julio 2023. Disponible en: <https://www.sdgfund.org/es/la-agricultura-org%C3%A1nica-mejora-la-nutrici%C3%B3n-y-reduce-la-pobreza-femenina-en-el-salvador-rural>

**Sika Argentina S.A.I.C. (2019).** Hoja técnica: Sika® Geotextil U-14 (Versión 01.01). (en línea). Consultado el 18 de septiembre 2025. Disponible en: [https://arg.sika.com/dam/dms/ar01/i/sika\\_geotextil\\_u-14.pdf](https://arg.sika.com/dam/dms/ar01/i/sika_geotextil_u-14.pdf)

**Texdelta. (s.f.).** Geotextil ALVAFELT. (en línea). Consultado el 18 de septiembre 2025. Disponible en: <https://texdelta.com/geotextil-alfafelt/>

**Vargas-Pineda, O; Trujillo-González, J; Torres-Mora, M. 2019.** El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. Villavicencio, Colombia. 124.125 P.

**Villalta Perdomo, A. M. (2009).** La competitividad en comercio justo de la semilla de marañón orgánica de los productores del Bajo Lempa, Departamento de San Vicente. Caso de la Asociación de Productores Agroindustriales Orgánicos de El Salvador (APRAINORES) 1992-2007 [Tesis de licenciatura, Universidad de El Salvador]. Repositorio Institucional de la Universidad de El Salvador. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/584eee18-f780-448d-8c8d-4c4bd8925030/conten>

## 9 Anexo

### 9.1 Cálculo del volumen del cilindro.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde.

- ❖  $\pi$  = es una constante que aproximadamente vale 3.14159
- ❖  $r$  = es el radio de la base.
- ❖  $h$  = es la altura del cilindro.

$$V = \pi r^2 h$$

Datos aplicados:

- ❖  $\pi \approx 3.14159$
- ❖ Radio ( $r$ ): 0.47 m
- ❖ Altura ( $h$ ): 1.44 m
- ❖ Resultado del cálculo:
- ❖  $V = 3.14159 \times (0.47\text{m})^2 \times (1.44\text{m}) \approx 1\text{m}^3$

### 9.2 Cálculo del área de recubrimiento interno

Perímetro de la base (P):

$$P = 2\pi r$$

Datos aplicados:


- ❖  $r = 0.47\text{ m}$
- ❖  $\pi \approx 3.14159$

•Resultado:


$$P = 2 \times 3.14159 \times 0.47\text{m} = 2.95\text{m}$$

Aplicación práctica: El valor de P permite determinar las dimensiones del geotextil necesario para cubrir internamente el cilindro.

### 9.3 Análisis de resultados de muestras enviadas al laboratorio.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE QUIMICA AGRICOLA  
Final 25 Av. Norte, Ciudad Universitaria, Apdo. Postal N° 747 y 773, Tel. 2225-15 06. Tel. 2226-2043



#### INFORME DE RESULTADOS DE ANALISIS


**Identificación de muestra:** Compostaje  
**Código Interno:** MXU16  
**Nombre del Cliente:** Hugo Antonio Sanchez Martinez  
**Análisis solicitado:** Humedad, Ceniza, Proteína cruda, pH, Conductividad Eléctrica  
**Fecha de recepción:** 07/11/2024  
**Fecha de análisis:** 07/11/2024

Determinación	Muestras		Metodología de Análisis
	MXU 010	Unidades	
	Compostaje		
Contenido de Agua	67.88	%	Gravimétrico
Ceniza	20.71	%	Gravimétrico
Nitrógeno	0.62	%	Micro-Kjedahl
*pH	7.98	-	potenciométrico
*Conductividad Eléctrica	1992.00	µS/cm	potenciométrico


**\* por petición del cliente se realizaron en solución al 2.5 por 1 de muestra**


**Fecha de elaboración de informe:** 11-13-2024

"HACIA LA LIBERTAD POR LA CULTURA"



MSc. Freddy Alexander Carranza  
Jefe del Departamento de Química Agrícola





Lic. Guillermo Jacob Pineda  
Analista - Responsable de Laboratorio

#### 9.4 Calculo para determinar el rendimiento de compost.

$$V = \pi r^2 h$$

Donde

- ❖  $\pi$  es una constante que aproximadamente vale 3.14159
- ❖  $r$  es el radio de la base (0.2mt)
- ❖  $h$  es la altura del cilindro (1.15mt)
- ❖  $V = \pi (0.2\text{mt})^2 (1.15\text{mt}) = 0.14\text{mt}^3$ .

El volumen final de material en calidad de compostaje fue de 0.14mt<sup>3</sup> lo que es igual a 14%.

En cuanto a residuos de mayores tamaños solamente se obtuvo 0.025mt<sup>3</sup> es decir el 2.51% de materiales que por su composición carbono/nitrógeno.