

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE QUÍMICA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

“Estrategia de gestión de residuos orgánicos para una feria del agricultor”

María Paula Araya Lara

Cartago, mayo, 2025

TEC | Tecnológico
de Costa Rica

ingeniería
ambiental



Esta obra está bajo una licencia [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

“Estrategia de gestión de residuos orgánicos para una feria del agricultor”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura.

Miembros del tribunal

Ph.D. Lilliana Abarca Guerrero
Directora

Ing. Sofía Picado Valverde
Lectora 1

Licda. Jéssica Aguilar Cantillo
Lectora 2

M.Sc. David Hernández Parra
Coordinador COTRAFIG

Dr. Guillermo Calvo Brenes, MBA.
Director Escuela de Química

M.Sc. Diana Zambrano Piamba
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

A Tito.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por siempre apoyarme en mis aspiraciones académicas, creer en mí y permitirme experimentar nuevos caminos. A Fiorella y Alejandro por estar desde el primer día, y a Verónica, que llegó a la mitad del camino y espero que nunca se vaya.

A la Escuela de Química, principalmente la Carrera de Ingeniería Ambiental, por brindarme el conocimiento y las herramientas necesarias para mi formación profesional y el desarrollo de esta investigación. A la profesora Lilliana Abarca por compartir su conocimiento de basuróloga conmigo y guiarme con total dedicación, y a la profesora Sofia Picado por ser parte fundamental del proyecto, acompañarme y aconsejarme.

A la Municipalidad de Oreamuno, los recolectores de residuos, el Centro Agrícola Cantonal, Laercio Cruz, el CEQIATEC y el CIPA por su colaboración. A la Escuela de Agronegocios y GASEL por prestarnos sus instalaciones, equipos y herramientas. A Johnny Granados, Rubén Calderón, Oldemar Mena y Gina Borrero por su esfuerzo y apoyo.

A cada estudiante que participó en este proyecto por su interés y compromiso: Ángel Arguedas, Pilar Solano, Mariana Arroyo, Sofia Arias, Sofia Jiménez, Joshua Valverde, Danna Monge, Melissa Quirós, Jansi Rojas, Naryen Brenes, Daniela Agames y Valeria Gutiérrez.

Finalmente, gracias a las y los agricultores de la Feria del Agricultor de Oreamuno. Sin ustedes, esto no habría sido posible: Yahaira Cedeño, Fátima Aguilar, Dilan Álvarez, Gustavo Salazar, Álvaro Espinoza, Carlos Sánchez, Marcelino Ramírez, Miguel Hidalgo, Rafael Luna, José Luis Mora, Cristian Moya, José Miguel Serrano, Valentín Jiménez, Bertalía Solano, Pedro Montero, Ana Lía Ureña, Lesly Jiménez, José Miguel Araya, Julio Cordero, Hugo Guillén, María Gamboa, Esteban Garita, Alberto Rodríguez, Norman Torres, Nuria Pérez, Joshua Sandoval, Emanuel Chacón, Carmen Rojas, Edwin Leiva, Eduardo Montero, Norberto Núñez, Víctor Gómez, Franklin Picado, José Miguel Martínez, Humberto Barquero, Ileana Gómez, Viviana Cerdas, Carlos Córdoba, Marco Antonio Guzmán, Yorleny Rivera, Marisol Hidalgo, Berny Solano, Tania Valverde, Enrique Jiménez, Jonidany Mena, Dionisio Ramírez, Eduardo Sánchez, Rodrigo Reyes, Richard Fernández, Asdrúbal Víquez, Berta Rivera, José Salas, Enrique Masís, Francia Calderón, José Luis Ramírez, Juan Vicente Solano, Carlos Garita, Mauricio Rojas, José Miguel Sánchez y Cristian Álvarez.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	10
Abstract	11
1. Introducción	12
1.1. Objetivos	13
1.1.1. Objetivo general	13
1.1.2. Objetivos específicos	13
2. Revisión de literatura	13
2.1. Composición y disposición de los residuos sólidos	13
2.2. Problemática de los rellenos sanitarios	14
2.2.1. Gases de efecto invernadero	15
2.3. Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica	15
2.3.1. Gestión en las ferias del agricultor	16
2.4. Métodos de compostaje	17
2.4.1. Compostaje en hileras	18
2.4.2. Compostaje en compostera automatizada	18
2.4.3. Factores que afectan el compost	20
2.5. Calidad del compost	21
3. Materiales y métodos	22
3.1. Visitas y entrevistas en la feria	23
3.2. Reuniones con otros actores importantes	24
3.3. Compost en hilera	25
3.3.1. Recolección de residuos para la hilera	25
3.3.2. Elaboración del compost en hilera	26
3.4. Compost en compostera automatizada	30
3.4.1. Recolección de residuos para la compostera automatizada	30
3.4.2. Elaboración del compost en la compostera automatizada	31
3.4.3. Repetición del proceso	33
3.5. Pruebas en laboratorio	34
3.5.1. Metodologías de pruebas en laboratorio	34
3.6. Análisis de resultados y recomendación de buenas prácticas	35
4. Resultados y discusión	37
4.1. Análisis de la situación actual en la Feria del Agricultor de Oreamuno	37
4.1.1. Primera visita	37

4.1.2.	Segunda visita	41
4.1.3.	Reuniones con Sostech y la Municipalidad de Oreamuno	42
4.1.4.	Tercera visita	44
4.1.5.	Residuos recolectados	45
4.2.	Evaluación de métodos de compostaje	46
4.2.1.	Compostaje en hilera	46
4.2.2.	Compostaje en compostera automatizada	47
4.2.3.	Resultados de las pruebas en laboratorio	49
4.2.4.	Comparación de métodos	50
4.3.	Estrategia de gestión de residuos orgánicos para la Feria del Agricultor de Oreamuno	52
4.3.1.	Preparación	52
4.3.2.	Acumulación	53
4.3.3.	Almacenamiento	53
4.3.4.	Transporte	54
4.3.5.	Compostaje	54
4.3.6.	Evaluación del proceso	55
5.	Conclusiones y recomendaciones	57
5.1.	Conclusiones	57
5.2.	Recomendaciones	58
6.	Referencias bibliográficas	59
	Apéndices	63
	Apéndice 1: encuesta a 24 vendedores de la Feria del Agricultor de Oreamuno	63
	Apéndice 2: panfleto informativo sobre el proyecto y la separación adecuada de residuos	66
	Apéndice 3: entrevista a 127 vendedores de la Feria del Agricultor de Oreamuno	67
	Apéndice 4: panfleto informativo sobre la separación de residuos para la recolección	68
	Apéndice 5: hoja de control para la entrega de bolsas	69
	Apéndice 6: hoja de seguimiento para el compostaje en hilera	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Etapas del manejo de residuos sólidos	15
Figura 2.2. Jerarquización de la Gestión Integral de Residuos	16
Figura 2.3. Configuración de compostaje en hileras con dimensiones típicas en metros (m) y pies (ft)	18
Figura 2.4. Compostera industrial de la Municipalidad de Oreamuno	19
Figura 2.5. Prueba del puño. Izquierda: compost demasiado húmedo. Centro: compost con un contenido de humedad óptimo. Derecha: compost demasiado seco	20
Figura 3.6. Básculas utilizadas	26
Figura 3.7. Hilera inicial para el compost	27
Figura 3.8. Mezcla para la activación del inóculo de MM	28
Figura 3.9. Montículo del compostaje en hilera	28
Figura 3.10. Termocupla	29
Figura 3.11. pHímetro	30
Figura 3.12. Báscula utilizada	31
Figura 3.13. Trituradora y extrusora	32
Figura 4.14. Lugar de origen de cada vendedor	37
Figura 4.15. Porcentaje de agricultores que generan determinados tipos de residuos	38
Figura 4.16. Agricultores que separan los residuos que generan en la feria	39
Figura 4.17. Porcentaje de agricultores que dejan sus residuos orgánicos en la feria	40
Figura 4.18. Porcentaje de agricultores capacitados en separación de residuos	44
Figura 4.19. Porcentaje de agricultores dispuestos a separar los residuos orgánicos	45
Figura 4.20. Compost obtenido del compostaje en hilera	46
Figura 4.21. Compost obtenido del compostaje en compostera automatizada	47
Figura 4.22. Matriz de Decisión de Pugh	51
Figura 4.23. Estrategia de gestión de residuos orgánicos propuesta para la Feria del Agricultor de Oreamuno	56

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2.1. Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha)	21
Cuadro 2.2. Nutrientes esenciales y sus formas moleculares en plantas	22
Cuadro 2.3. Nutrientes esenciales, formas moleculares en que se expresan y concentraciones promedio en compost urbano	22
Cuadro 4.4. Proyección de la cantidad de agricultores que dejan sus residuos en la Feria del Agricultor de Oreamuno	40
Cuadro 4.5. Proyección de residuos orgánicos que la Municipalidad de Oreamuno debe tratar	45
Cuadro 4.6. Comparación de valores teóricos y experimentales (Exp.) obtenidos en el compostaje en hilera	46
Cuadro 4.7. Consumo eléctrico de un ciclo de 24 horas de la compostera automatizada	48
Cuadro 4.8. Precio de la energía consumida por la máquina compostera	48
Cuadro 4.9. Resultados del análisis químico para las diferentes muestras de compost	49

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CAC	Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno
CEQIATEC	Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos del Instituto Tecnológico de Costa Rica
CIA	Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica
CNEAO	Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica
GEI	Gases de efecto invernadero
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
JASEC	Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago
MADI	Programa de Manejo de Residuos Institucionales del Instituto Tecnológico de Costa Rica
MM	Microorganismos de montaña

RESUMEN

Los residuos orgánicos suelen enviarse a sistemas de disposición final, como rellenos sanitarios, lo cual propicia la alteración de las propiedades del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero. En Costa Rica, un 60% de los residuos sólidos enviados a rellenos sanitarios son orgánicos; no obstante, estos pueden gestionarse mediante técnicas de compostaje en un ámbito local. Las municipalidades son responsables de tratar los desechos generados en su cantón, por lo que la Municipalidad de Oreamuno ha mostrado interés en investigar soluciones para la gestión de los residuos generados en su feria del agricultor. En este proyecto, se analizó la situación actual en dicha feria, para lo cual se definieron patrones de comportamiento y se identificaron los retos de la separación y recolección de los residuos orgánicos mediante visitas al campo ferial, y se entrevistaron expertos en el tema, incluyendo los administradores y vendedores de la feria. Asimismo, se elaboró compost con el método tradicional en hileras y con el procedimiento en compostera automatizada, a partir de muestras de residuos orgánicos del sitio, para evaluar la calidad de los productos según sus niveles de NH_4^+ , NO_3^- , P_2O_5 , K_2O , pH, % de humedad y relación C/N, así como la adaptación de los procesos a las condiciones del tratamiento de compostaje en montículos que ya era realizado por la municipalidad, con una Matriz de Decisión de Pugh. Por último, se propusieron buenas prácticas para la gestión de los residuos en estudio. Se obtuvo que los agricultores separan adecuadamente los residuos y están dispuestos a colaborar en esta etapa del proceso. También se concluyó que el método con los mejores resultados es el de montículos, ya que posee los valores más adecuados para la mayoría de los parámetros evaluados; no obstante, se recomiendan correcciones de infraestructura y control en el proceso.

Palabras clave: residuos orgánicos, feria del agricultor, compostaje en hileras, compostera automatizada.

ABSTRACT

Organic waste is usually sent to final disposal systems, such as landfills, leading to the alteration of soil properties and greenhouse gas emissions. In Costa Rica, 60% of the solid waste sent to landfills is organic. However, this can be managed through composting techniques at a local level. Municipalities are responsible for treating the waste generated in their city; therefore, the Municipality of Oreamuno has shown interest in researching solutions for the management of waste generated at its farmer's market. In this project, the current situation of waste management at the market was analyzed, defining behavioral patterns and identifying challenges related to the separation and collection of organic waste by visiting the market, and experts on the subject were interviewed, including the market's managers and vendors. In addition, compost was produced using the traditional windrow method and an automated composter, from samples of organic waste from the site, to evaluate the quality of the products according to the levels of NH_4^+ , NO_3^- , P_2O_5 and K_2O concentrations, pH, moisture content, and C/N ratio, and the adaptation of both processes to the conditions of the mound composting treatment already carried out by the municipality, using a Pugh Decision Matrix. Finally, good practices were proposed for the management of waste under study. It was found that farmers separate waste properly and are willing to collaborate in this stage of the process. Likewise, it was concluded that the method with the best results is the mound method, since it has the most appropriate values for most of the parameters evaluated; however, infrastructure and control corrections in the process are recommended.

Key words: organic waste, farmer's market, windrows composting, automated composter.

1. INTRODUCCIÓN

Conforme la población crece, la generación de residuos sólidos también aumenta. A nivel global, estos suelen enviarse a sistemas de disposición final, como rellenos sanitarios o vertederos, acción que propicia la degradación del suelo y de la atmósfera [1]. Depositar los residuos en la superficie terrestre puede alterar sus propiedades físicas y químicas, además de su fertilidad [2]. Por otro lado, al descomponerse la materia orgánica en un relleno sanitario, se liberan gases de efecto invernadero (GEI) que, para el 2016, conformaban el 15.70% de las emisiones costarricenses [3]. Igualmente, el transporte de dichos materiales hasta el lugar donde se depositarán puede comprender distancias extensas en vehículos que consumen combustibles fósiles y emiten otros GEI [4].

En Costa Rica, un 60% de los sólidos enviados a rellenos sanitarios son orgánicos [4]. No obstante, estos pueden gestionarse de una forma que represente un menor impacto ambiental. Por ejemplo, la aplicación de técnicas de compostaje en un ámbito local permite aprovechar el potencial de los residuos y reducir las consecuencias de su traslado a los rellenos sanitarios, así como los costos económicos de su manejo. Esta medida también responde al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, específicamente la meta 12.5, que busca “reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización” [5].

Las municipalidades son las responsables de gestionar los residuos generados en su cantón y, para ello, se les autoriza que desarrollen tecnologías alternativas para su tratamiento, siempre y cuando sean menos contaminantes [6]. Debido a lo anterior, la Municipalidad de Oreamuno mostró interés en elaborar una investigación con el objetivo de buscar soluciones al reto de la gran cantidad de desechos orgánicos que se generan en la feria del agricultor de esta localidad.

Para lograrlo, se realizó un análisis de la situación actual respecto a la generación en dicha feria, y se investigaron dos técnicas de compostaje: el modo tradicional en hileras y en compostera automatizada, propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), igual a la que posee el gobierno local. Con los resultados obtenidos, se elaboró una Estrategia de Gestión de Residuos Orgánicos específica para las condiciones de la Feria del Agricultor de Oreamuno.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Desarrollar una estrategia de gestión de los residuos orgánicos de la Feria del Agricultor de Oreamuno a través de compostaje.

1.1.2. Objetivos específicos

- a. Analizar la situación actual de la gestión de los residuos orgánicos de la Feria del Agricultor de Oreamuno.
- b. Evaluar la eficiencia de dos procesos de compostaje.
- c. Recomendar buenas prácticas para gestionar los residuos orgánicos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Los residuos sólidos se entienden como materiales cuyo generador busca deshacerse de ellos. Estos pueden ser tratados o valorizados de forma responsable, o enviados a disposición final, como los sistemas de rellenos sanitarios [6].

El crecimiento de la población y los patrones de consumo de la sociedad actual conducen a una alta generación de residuos sólidos. En 2016, se produjeron alrededor de 2.01 billones de toneladas métricas de residuos y se estima que, para 2030, se generen aproximadamente 2.59 billones. Asimismo, se espera un aumento de la población en los países de bajos y medianos ingresos económicos, por lo que también se anticipa que la generación de desechos sea mayor en estas regiones [7]. Sin embargo, los países enfrentan múltiples retos en cuanto al manejo de los residuos sólidos, como la separación adecuada y la disponibilidad de lugares para su almacenamiento [7].

2.1. Composición y disposición de los residuos sólidos

La composición de residuos sólidos varía de acuerdo con distintos factores; entre ellos, la urbanización, la industrialización, las actividades socioeconómicas desarrolladas y el clima de la zona. Igualmente, depende de la existencia de métodos de separación en el

origen de la generación, si se recolecta de forma diversificada, la disponibilidad de equipo adecuado y personas capacitadas para el manejo integral, entre otros [8]. Asimismo, el uso recurrente de sistemas de gestión ineficientes, que buscan la disposición final en rellenos sanitarios en vez del aprovechamiento del potencial de los materiales, conduce a una mayor cantidad de componentes encasillados únicamente como residuos por desechar [7].

A nivel global, la categoría de residuos más grande es la de orgánicos, y la mayoría de estos corresponde a desechos alimentarios [7]. En 2014, se estimó una generación de 4000 toneladas diarias de residuos sólidos en el país; de estas, alrededor de 3132 toneladas se envían a sitios de disposición final, ya sean rellenos sanitarios o vertederos [9]. Asimismo, un 60% es orgánico [4]. Esta clasificación abarca alimentos precocinados, sobras o desperdicios de alimentos, desechos de cocina, madera, desechos de jardín, entre otros [10].

Los residuos orgánicos son biodegradables y se pueden valorizar [10]. La valorización se define como los esfuerzos para recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos, protegiendo la salud humana y el ambiente [6]. En Costa Rica, pocas municipalidades cuentan con iniciativas de recolección selectiva, valorización o tratamiento de residuos orgánicos para sus respectivos cantones, por lo que no se establecen avances significativos en el tema a nivel nacional [9].

2.2. Problemática de los rellenos sanitarios

Un relleno sanitario es un área diseñada y operada para la disposición final de residuos sólidos. A ellos llegan desechos de múltiples fuentes, como la industria, el mercado y zonas residenciales. En estos sitios se procura evitar el daño o riesgo a la salud y al ambiente [11].

El uso de rellenos sanitarios es la técnica más común para el manejo de residuos sólidos, ya que es un método simple y barato, en comparación a otros procesos [7]. No obstante, este tipo de disposición presenta debilidades, como el escenario no favorable para la degradación de residuos orgánicos, que es una de las más significativas. Los rellenos sanitarios suelen contar con condiciones de baja humedad y concentración de oxígeno, y una elevada heterogeneidad de materiales, con un alto porcentaje de residuos no biodegradables, que perjudican la biodegradación de la fracción orgánica [12].

La alta generación y el manejo de los residuos orgánicos en rellenos sanitarios promueven efectos negativos sobre la salud humana y el ambiente. Su disposición en estos sitios trae consecuencias como la contaminación del suelo y el agua por la fuga de lixiviados. Esto puede causar enfermedades gastrointestinales y respiratorias, infecciones dermatológicas, irritaciones en los ojos, entre otros desórdenes [13]. Además, la alteración de las propiedades físicas y químicas del suelo afecta la vegetación existente y daña su fertilidad a largo plazo [2]. Por otro lado, la descomposición de orgánicos genera gases como el amonio y el sulfuro de hidrógeno, que producen malos olores y reacciones alérgicas [13], así como GEI, que propician la degradación de la atmósfera [14].

2.2.1. Gases de efecto invernadero

Los residuos orgánicos en degradación liberan sustancias como el metano, el dióxido de carbono y el óxido nitroso. Estas tres son gases de efecto invernadero, que colaboran en el proceso de calentamiento global y, por ende, en el cambio climático [14]. Por lo tanto, los rellenos sanitarios con abundancia de residuos orgánicos constituyen una fuente significativa de estos gases, de modo que corresponden a la tercera fuente antropogénica de emisiones de metano [15].

2.3. Gestión de los residuos sólidos en Costa Rica

En Costa Rica, se cuenta con la Ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839, donde se define dicha gestión como el conglomerado de acciones de índole regulatoria, operativa, financiera, administrativa, educativa, de planificación, monitoreo y evaluación, involucradas en cada etapa del manejo de residuos [6]. Estas se exponen en la Figura 2.1.



Figura 2.1. Etapas del manejo de residuos sólidos.

Igualmente, en esta ley se determinan distintas responsabilidades, estrategias y jerarquización para tratar los materiales en desuso de forma adecuada, pasando de un enfoque tradicionalista centrado en la disposición final en rellenos sanitarios, a un encuadre más sostenible [6]. Dicha jerarquización especifica el orden de preferencia de manejo de los residuos, como se muestra en la Figura 2.2, donde se evidencia que la disposición final es la última acción por realizar en el proceso integral esperado.

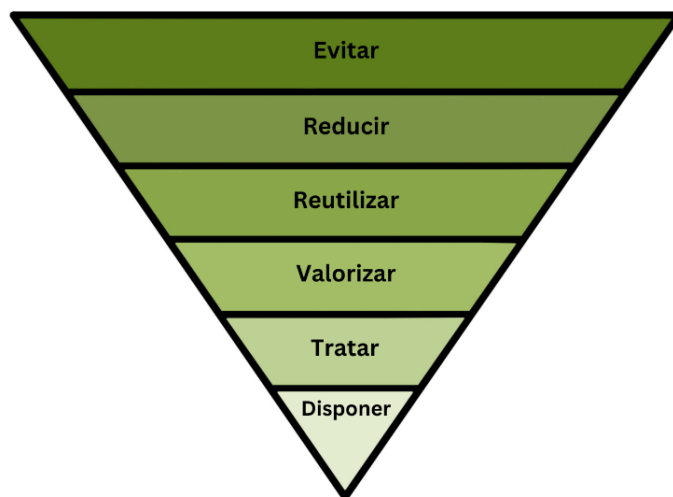


Figura 2.2. Jerarquización de la Gestión Integral de Residuos.

En esta ley también se establece como objetivo promover la gestión en el ámbito municipal y local, impulsando soluciones regionales. Igualmente, coloca a las municipalidades como los entes responsables de gestionar de forma integral los residuos generados en el cantón. Entre otras funciones de los gobiernos locales, está la promoción de sistemas alternos para la recolección selectiva de valorizables. Aunado a esto, a los municipios se les autoriza el desarrollo de tecnologías alternativas para el tratamiento de residuos, siempre y cuando sean menos contaminantes [6].

2.3.1. Gestión en las ferias del agricultor

Las ferias del agricultor son mercados donde los pequeños y medianos productores nacionales pueden vender sus productos del sector agrícola, pecuario, de pesca, acuicultura,

avicultura, agroindustria y artesanía, de forma directa a los consumidores. Estas actividades de comercio se rigen bajo la Ley N°8533 para la Regulación de las Ferias del Agricultor, donde se dicta que las municipalidades contribuirán al desarrollo de estas [16].

Las ferias del agricultor poseen una figura llamada ente administrador, que corresponde a organizaciones que velan por su administración y que son autorizadas por un comité regional. Entre sus funciones, se encuentra el desarrollo de un plan de manejo de residuos orgánicos, la recolección de los desechos y la limpieza del lugar [16].

Retomando lo establecido en la ley N°8839, las municipalidades son responsables de gestionar los residuos del cantón, por lo que deben trabajar en conjunto con las ferias del agricultor para llevar a cabo un manejo adecuado de estos. Asimismo, deben priorizar la valorización de los residuos, incluyendo los orgánicos. Se recalca que, dentro de la valorización, se encuentran técnicas como el reciclaje de distintos materiales y el compostaje de residuos orgánicos [6].

2.4. Métodos de compostaje

Los residuos orgánicos pueden ser tratados de diferentes formas, siendo una de ellas el compostaje. Este es un proceso biológico que se da bajo condiciones aeróbicas controladas, donde microorganismos como bacterias y hongos transforman los materiales biodegradables en un subproducto fertilizante llamado compost. Esta es una técnica sostenible que permite la valorización de la materia orgánica y funciona como una alternativa para la disposición final de dicho tipo de residuos [17]. El compostaje se diferencia de la descomposición, ya que este segundo es un proceso natural, que se da en un ambiente incontrolado [18].

La aplicación del compost aumenta la productividad agrícola y el contenido de materia orgánica en el suelo, debido a la alta cantidad de nutrientes en los materiales compostados, así como la presencia de organismos que colaboran en el crecimiento de las plantas. Gracias también a sus propiedades, el compost es útil en la biorremediación, prevención de la contaminación, erosión y plagas, restauración de humedales y el control de enfermedades en plantas [19].

Existen múltiples métodos de compostaje, con diferentes requisitos por cumplir para obtener resultados de buena calidad. Igualmente, cada técnica tiene sus ventajas y desventajas, y se adapta mejor a distintas condiciones. Por lo tanto, es óptimo revisar más que un método y definir el que se acopla mejor para finalizar con resultados favorables [19].

2.4.1. Compostaje en hileras

El compostaje en hileras es el método tradicional para realizar este tipo de proceso. Consiste en colocar los materiales biodegradables en filas estrechas, las cuales se voltean regularmente para permitir la aireación de los residuos [19]. Estas filas se pueden rotar mediante una máquina giratoria equipada con una mandíbula trituradora para mejorar el contenido de oxígeno y la porosidad, disminuir el contenido de humedad y redistribuir las porciones más calientes y frías de la pila. Si las hileras son de un tamaño óptimo para voltearlas de forma manual, esta tarea se puede realizar con ayuda de palas [20].

El compostaje en hileras es un tratamiento factible que se puede utilizar para la reutilización de recursos de desechos agrícolas, y se ha caracterizado por ser altamente eficiente [20]. En la Figura 2.3 se muestra una configuración del método descrito.

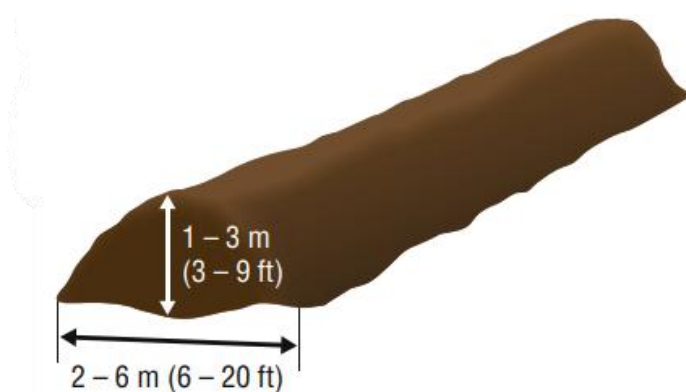


Figura 2.3. Configuración de compostaje en hileras con dimensiones típicas en metros (m) y pies (ft) [21].

2.4.2. Compostaje en compostera automatizada

Este tipo de compostaje se lleva a cabo en un contenedor cerrado, donde se aplican técnicas de aireación forzada y giro mecánico para facilitar el proceso de compostaje.

Usualmente, en la parte superior de la compostera se encuentra un monitor para controlar las condiciones del proceso de compostaje, como la temperatura, la humedad y la concentración de oxígeno dentro del recipiente [21].

La Municipalidad de Oreamuno cuenta con una compostera automatizada TC-250 de la empresa 360 Soluciones Verdes, pero no se ha puesto en función. Esta es de acero inoxidable, con una cámara recubierta con fibra de cerámica, que funciona como aislante térmico. Así mismo, la máquina posee cuatro espas internas, que permiten el movimiento del material y, con ello, su aireación. La temperatura, el tiempo total del ciclo y el tiempo de giro de las espas se puede seleccionar manualmente según se desee [22].

De acuerdo con el fabricante, la compostera es capaz de transformar 250.00 kg de residuos orgánicos en compost en 24 horas, el cual se debe dejar madurar durante 5 semanas antes de ser utilizado. La empresa recomienda este equipo para restaurantes, hoteles, comedores e instituciones [22]. En la Figura 2.4 se muestra la compostera con la que cuenta este gobierno local.



Figura 2.4. Compostera industrial de la Municipalidad de Oreamuno [22].

2.4.3. Factores que afectan el compost

La temperatura es un factor esencial en el compostaje, puesto que ayuda a acelerar el proceso y eliminar patógenos dañinos para los organismos del suelo, las plantas, los animales y los humanos. Igualmente, el pH debe ir aumentando su alcalinidad, ya que los microorganismos pueden inactivarse en un ambiente ácido [19], [23].

El compostaje comienza con una etapa mesófila, que tarda entre 2 y 5 días, y debe oscilar entre los 20 y 50 °C, así como entre un pH de 4 y 7. Luego, sigue una etapa termófila, que tarda de 1 a 3 semanas, y debe encontrarse entre los 50 y 70 °C, al igual que en un pH de entre 7 y 9, para que los organismos mesófilos se inactiven y aumente la población y diversidad de bacterias, actinomicetos y hongos termófilos. Después, el material entra nuevamente en una etapa mesófila de 2 a 5 semanas, con temperaturas entre los 20 y 50 °C, y pH entre 7 y 8. Por último, está la fase de maduración, que tarda entre 3 y 6 meses, con una temperatura menor a la etapa mesófila [19], [23].

Por otro lado, las células microbianas dependen completamente del agua para sus actividades metabólicas, por lo que se debe verificar la humedad del material durante el proceso. Para esto, se puede realizar la prueba del puño (Figura 2.5), que consiste en tomar un puñado del material y exprimirlo ligeramente. Si escurre agua, está muy húmedo y se le debe agregar material secante, como chips de madera o aserrín. Si se desborona al abrir la mano, está muy seco y se debe regar con agua o un inóculo líquido. Si no escurre agua y se mantiene compacto al abrir la mano, está con una humedad óptima [24].



Figura 2.5. Prueba del puño. Izquierda: compost demasiado húmedo. Centro: compost con un contenido de humedad óptimo. Derecha: compost demasiado seco [24].

2.5. Calidad del compost

La calidad del compost varía según el uso que se le vaya a dar, ya que cada suelo y cultivo requiere cantidades distintas de nutrientes, las cuales dependen del tipo de planta y su rendimiento esperado. En el Cuadro 2.1 se muestran extracciones de nutrientes de diferentes cultivos, las cuales generalmente son menores a sus verdaderos requerimientos para crecer, debido a pérdidas por lixiviación, fijación, entre otros. No obstante, esto da una guía de cuánto varían los requerimientos de N, P₂O₅ y K₂O para cada uno de ellos.

Cuadro 2.1. Extracción de nutrientes por cultivo (kg/ha) [25].

Cultivo	Rendimiento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Arroz	3000	50	26	80
Trigo	3000	72	27	65
Maíz	3000	72	36	54
Papa	20 000	140	39	190
Camote	15 000	70	20	110
Yuca	25 000	161	39	136
Caña de azúcar	50 000	60	50	150
Cebolla	35 000	120	50	160
Tomate	40 000	60	30	124

Sin embargo, existen parámetros estándar para verificar que el compost sea útil. Por ejemplo, se recomienda que su pH al estar maduro sea alcalino, entre 6.50 y 8.60, y que el contenido de humedad se mantenga entre el 30 y el 40%. Asimismo, existe el factor de la relación C/N, que hace referencia al cociente entre la cantidad de carbono y de nitrógeno del compost. Un valor entre 10 y 15 es óptimo, ya que asegura una oxigenación y descomposición adecuada de los materiales [25].

Por otro lado, el compost debe contener algunos elementos que aportan nutrientes a las plantas en cantidades óptimas. Los tres más importantes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio, conocidos como macronutrientes primarios, los cuales funcionan en procesos de fertilización [19]. La presencia de dichos elementos en el compost no garantiza su

aprovechamiento por la vegetación, ya que deben encontrarse en formas moleculares biodisponibles para la nutrición de las plantas [26]. Los iones en los que las plantas absorben los nutrientes se detallan en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Nutrientes esenciales y sus formas moleculares en plantas [26].

Nutriente	Formas moleculares en las que es absorbido
Nitrógeno	NH_4^+ , NO_3^-
Fósforo	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}
Potasio	K^+

No obstante, estos nutrientes se encuentran también en otras formas en el suelo y los abonos orgánicos, las cuales son aptas para ser transformadas en los iones que las plantas pueden absorber, al interactuar con otras sustancias presentes en la matriz [26]. Las formas moleculares en que se suelen expresar los nutrientes disponibles para ser aprovechados por las plantas y las cantidades promedio en que se encuentran en compost urbanos se muestran en el Cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Nutrientes esenciales, formas moleculares en que se expresan y concentraciones promedio en compost urbano [26].

Nutriente	Forma molecular	Concentración promedio (%)
Nitrógeno	N	1.50
Fósforo	P_2O_5	1.00
Potasio	K_2O	1.50

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó con una muestra no probabilística y bajo un enfoque mixto. Los datos necesarios para el posterior análisis se recolectaron mediante revisión bibliográfica, visitas a sitios, entrevistas, reuniones con actores importantes y la elaboración de compost por dos métodos diferentes. La información se analizó mediante estadística descriptiva. Estas fuentes de datos y su análisis se explican a continuación:

3.1. Visitas y entrevistas en la feria

Se visitó la Feria del Agricultor de Oreamuno cuatro veces para definir patrones de comportamiento de la población respecto a la gestión de los residuos e identificar los retos de su separación y recolección, así como para obtener información general sobre los agricultores que participan en esta actividad comercial.

La primera visita a la feria se realizó el 09 de marzo de 2024, de 6:00 a.m. a 9:30 a.m., con la participación de cuatro personas. En ella, se entrevistaron 24 agricultores que venden sus productos en la feria, en sus respectivos puestos, mientras no estaban atendiendo a ningún comprador. Se aplicó un instrumento de preguntas estructuradas y semi estructuradas, con el fin de determinar generalidades sobre los vendedores y la feria, así como sus prácticas de gestión de los desechos que generan, para definir los posibles obstáculos en los procesos de separación y recolección adecuada de los residuos orgánicos. Este instrumento se encuentra en el Apéndice 1 de este documento. Las respuestas de las entrevistas se recopilaron de forma escrita en hojas de papel, por lo que posteriormente se digitalizaron en un documento Excel.

En la segunda visita, que tomó lugar el 11 de mayo de 2024, se observó el proceso de finalización de la feria y la gestión de los residuos por parte de los encargados municipales. Asimismo, se conversó con el Sr. Laercio Cruz, el administrador de la Feria del Agricultor de Oreamuno durante los últimos cuatro años.

Para la tercera visita a la feria, se elaboró un panfleto informativo sobre el presente proyecto y la separación adecuada de residuos para entregar a los agricultores (Apéndice 2), así como un instrumento de preguntas estructuradas y semi estructuradas para entrevistarlos (Apéndice 3). Esta visita se realizó el 28 de setiembre de 2024, de 5:30 a.m. a 10:30 a.m., con la participación de 8 personas, las cuales colaboraron en la aplicación del instrumento a 127 agricultores. Nuevamente, las entrevistas se aplicaron en sus respectivos puestos, mientras no estaban atendiendo a ningún comprador. Las respuestas se recolectaron en la herramienta digital Epicollect5, que genera un documento Excel con el conglomerado de la información.

3.2. Reuniones con otros actores importantes

Por otro lado, se realizaron reuniones con otros actores importantes. La primera reunión se organizó para el 14 de junio de 2024 con la M.Sc. Laura Brenes Peralta, quien es parte del Equipo Técnico del I Plan Nacional de Compostaje y de la Escuela de Agronegocios del ITCR, desde donde trabaja en un proyecto de reducción de pérdida y desperdicio de alimentos para el cantón de Oreamuno, con la participación del Centro Agrícola Cantonal (CAC) del lugar. Este encuentro tuvo el objetivo de recopilar información sobre el I Plan Nacional de Compostaje y los avances de su implementación en el país, y permitió también desarrollar un contacto con las demás integrantes del equipo investigador del proyecto con el CAC. Asimismo, el 13 de agosto de 2024 se realizó una reunión con el Coordinador del Equipo Técnico del I Plan Nacional de Compostaje, Pablo Bermúdez, para presentarle el proyecto y conversar sobre su implementación en otras municipalidades.

Posteriormente, se realizó una reunión con el Centro Agrícola Cantonal, con el fin de presentarles de manera formal el proyecto y conocer su opinión al respecto. De la misma forma, se agendó una reunión con la M.Sc. Paola Quesada, en representación de la empresa Sostech, que ha brindado capacitaciones para un proyecto de compostaje municipal con los residuos de la Feria del Agricultor de Oreamuno, para conocer sobre dicho proyecto. Seguido a esto, se organizó un encuentro con la alcaldía del cantón, para presentar oficialmente el presente trabajo y detallar su incidencia en el proyecto de compostaje municipal.

El 16 de setiembre de 2024 se realizó una nueva reunión con la M.Sc. Laura Brenes, junto al equipo que trabaja el proyecto de desperdicio de alimentos con el CAC, en la cual se acordó la participación en un encuentro de capacitación que se daría a los representantes del CAC el 05 de noviembre del mismo año, con el fin de informarles sobre los avances del proyecto de residuos orgánicos. Además, se agendaron reuniones con la Especialista en Compostaje Gina Borrero González, de la Escuela de Agricultura Orgánica del Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica (CNEAO), quien colaboró como consultora durante la elaboración del compostaje.

3.3. Compost en hilera

3.3.1. Recolección de residuos para la hilera

La recolección de residuos orgánicos para elaborar el compost mediante la técnica de hileras se realizó el 12 de octubre de 2024, de 5:30 a.m. a 2:30 p.m., con la colaboración de 5 personas. Al inicio del día de venta, se le entregaron bolsas de diferente color a 61 agricultores (35.88% de los vendedores de la feria): bolsas amarillas o blancas para residuos orgánicos y bolsas negras para no orgánicos. Además, se les suministraron panfletos indicando ejemplos de los residuos que iban en cada bolsa (Apéndice 4). Para escoger este grupo de 61 vendedores, se seleccionaron todos los que generaran residuos orgánicos y que hubieran sido capacitados sobre la separación de residuos (54) y se completó con agricultores que también produjeran residuos orgánicos, aunque no hubiesen recibido capacitaciones sobre el tema (7).

Para realizar la entrega de bolsas, a cada colaborador se le proporcionó una hoja de papel con el nombre de los agricultores a quienes debía buscar, así como el número de puesto (o una guía para encontrarlos, en caso de no tener el número de puesto específico), el tipo de residuos que generaba, y el tamaño de bolsa que se le debía entregar para los residuos orgánicos. Este control se muestra en el Apéndice 5. Por otro lado, cada bolsa de orgánicos había sido previamente rotulada con el nombre y número de puesto de los agricultores que participarían en la recolección. Con el fin de asegurar la participación de los vendedores seleccionados, se les informó que se realizaría una rifa de tres canastas de víveres el segundo día de recolección de residuos, entre quienes colaboraran en el proceso.

Al finalizar la feria, se recogieron las bolsas de orgánicos con ayuda de un carretillo y se trasladaron a una de las entradas de la feria, donde llega el camión de residuos de la municipalidad. Al llegar el camión, los colaboradores municipales subieron las bolsas al vehículo y las transportaron a la Escuela de Agronegocios del ITCR, donde también ayudaron a bajarlas. Las bolsas de residuos no orgánicos se dejaron en la feria y los colaboradores municipales las recogieron, como lo realizan cada sábado.

3.3.2. Elaboración del compost en hilera

Los residuos orgánicos recolectados fueron procesados en la Escuela de Agronegocios del ITCR de 3:00 p.m. a 5:00 p.m., con la ayuda de 8 colaboradores. En este lugar, se midió la masa de cada bolsa con una báscula de mano denominada Electronic Portable Scale, con incertidumbre de 0.005 kg, y una báscula de plataforma de marca ilegible, con incertidumbre de ± 0.01 kg (Figura 3.6).



Figura 3.6. Básculas utilizadas.

Después, se abrieron las bolsas y se revisó que los residuos fueran únicamente orgánicos; los desechos no orgánicos encontrados se almacenaron por separado y se dispusieron en contenedores específicos para su correcta gestión. Igualmente, se separaron algunos residuos orgánicos de alta acidez (por ejemplo, cítricos), puesto que se recolectó una gran cantidad de ellos, lo cual podía alterar significativamente el pH, inhibiendo la actividad microbiana. Asimismo, se separaron residuos de alta dureza (por ejemplo, semillas de aguacate), ya que su descomposición tarda más tiempo. En total, se descartaron 57.08 kg de desechos. Los demás residuos orgánicos sumaron un total de 313.19 kg. Estos se picaron con cuchillos en trozos de aproximadamente 5 cm y se agruparon en una hilera de 30 cm de alto, 330 cm de largo y 115 cm de ancho, como se muestra en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Hilera inicial para el compost.

Los residuos del restaurante institucional del ITCR son tratados por el Programa de Manejo de Residuos Institucionales (MADI) en sus instalaciones, mediante una compostera automatizada igual a la de la Municipalidad de Oreamuno. El 14 de octubre de 2024 se agregó a la hilera un saco del compost producido en el MADI como insumo de microorganismos para iniciar el proceso de descomposición. No obstante, este compost ya tenía 8 meses de maduración, por lo que podía no ser eficiente. Por lo tanto, el 16 de octubre de 2024 se visitó la Escuela de Agricultura Orgánica del CNEAO, donde la especialista Gina Borrero brindó 1 saco de 5.00 kg de microorganismos de montaña (MM) en estado sólido, con el objetivo de elaborar inóculo anaeróbico líquido a partir de ellos, para rociar con él el compostaje cada vez que se necesitara aumentar su humedad y propiciar el proceso de descomposición.

Para preparar el inóculo, se colocó el saco de MM en un estañón de 20 galones. A este estañón se le agregó 1 galón de melaza y se llenó de agua, de modo que el saco con MM quedara sumergido, como se observa en la Figura 3.8. Esta mezcla se mantuvo en reposo por una semana antes de comenzar a utilizarla, para permitir la activación de los MM y el crecimiento de levaduras. Debido a este tiempo de espera, la especialista también suministró 1 galón de inóculo anaeróbico líquido de MM ya listo para rociar el compostaje en hilera mientras el inóculo en preparación se activaba.



Figura 3.8. Mezcla para la activación del inóculo de MM.

El 17 de octubre de 2024 se agregó a la hilera inóculo líquido de MM, una capa de boñiga de vaca y caballo (purines) que funcionara también como inóculo, y una capa de chips de madera como material secante. Estos se mezclaron y se colocaron a modo de montículo, como se muestra en la Figura 3.9, con el objetivo de obtener la altura recomendada de 1 m en el cúmulo de materia orgánica y que esta alcanzara también una mayor temperatura.



Figura 3.9. Montículo del compostaje en hilera.

A partir de este día, se realizó la prueba del puño, se agregó material secante (chips de madera) o inóculo de MM según fuera necesario, se volteó el montículo, y se midió la temperatura antes y después del volteo aproximadamente dos veces a la semana. Este proceso continuó durante 9.5 semanas. Durante todo el periodo, se llevó registro de los datos tomados en una hoja de seguimiento, la cual se visualiza en el Apéndice 6.

La temperatura se midió con una termocupla marca Chint Electrics, con una incertidumbre de ± 0.10 °C, la cual se muestra en la Figura 3.10. Para esto, el dispositivo se introducía en el centro del montículo, hasta alcanzar aproximadamente su punto medio.



Figura 3.10. Termocupla.

Además, se midió el pH en las semanas 3, 6, 8 y 17 con un pHímetro marca Thermo Scientific, modelo Orion Lab Star PH111, con incertidumbre de ± 0.01 unidades de pH. Dicho aparato se encuentra en el Laboratorio de Microbiología del Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC) del ITCR, y se muestra en la Figura 3.11. Para esto, se pesaban 5.00 g de compost y se mezclaban con 10.00 mL de agua destilada. Luego, se introducía el electrodo del pHímetro en la solución recién hecha.

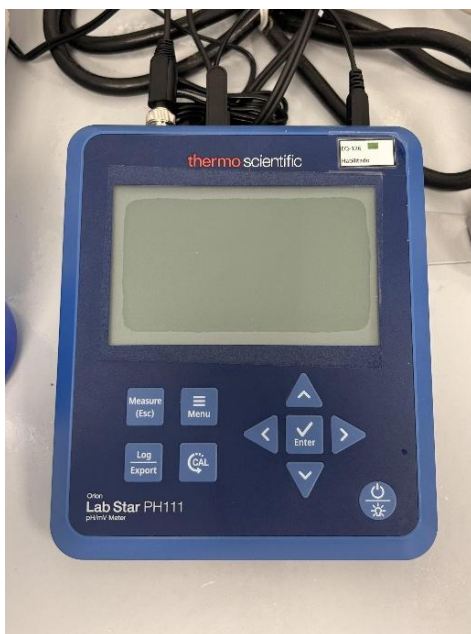


Figura 3.11. pHímetro.

El 11 de diciembre de 2024, de acuerdo con la temperatura obtenida, se determinó que el compost había entrado en etapa de maduración, por lo que no se agregó nada más al montículo ni se continuaron las mediciones de parámetros, únicamente se mantuvo el volteo una vez a la semana durante 7 semanas, hasta el 28 de enero de 2025. Por último, el producto final se pasó por un tamiz de malla No. 4 (4.75 mm de apertura) y 12 pulgadas de diámetro, y se midió la masa total obtenida para determinar el porcentaje de reducción del material.

3.4. Compost en compostera automatizada

3.4.1. Recolección de residuos para la compostera automatizada

El sábado 26 de octubre de 2024, se realizó una segunda recolección de residuos, esta vez para ser procesados en la compostera automatizada del MADI. Para esto, se siguieron los mismos pasos de la primera recolección, pero con 6 colaboradores para el trabajo en la feria. Además, se realizó la rifa de las canastas de víveres.

3.4.2. Elaboración del compost en la compostera automatizada

Los residuos orgánicos recolectados se llevaron al MADI del ITCR, donde se midió la masa de las bolsas con una báscula de plataforma de marca Polini, con una incertidumbre de ± 0.10 kg, instalada en este lugar (Figura 3.12). Posteriormente, las bolsas se perforaron y se colocaron junto a una rejilla para la salida de lixiviados, con el fin de que perdieran agua durante el fin de semana. En este proceso participaron 4 colaboradoras y se tardó aproximadamente 1 hora.



Figura 3.12. Báscula utilizada.

El lunes 28 de octubre de 2024, con la participación de 4 colaboradores, se trituraron los residuos orgánicos recolectados, lo que tomó un tiempo de 4 horas. Como primer paso, se abrió una bolsa y se revisó que los residuos fueran únicamente orgánicos; los desechos no orgánicos encontrados se almacenaron por separado y se dispusieron en contenedores específicos para su correcta gestión. Luego, se separaron las semillas de aguacate, las pipas y cualquier otro residuo duro, con el fin de descartarlos, ya que la trituradora disponible no los procesaba (rebotaban y salían por la entrada del equipo con alta velocidad). Los desechos grandes se picaron con cuchillos en trozos de aproximadamente 5 cm. Después, se agregaron a una trituradora industrial de la marca 360 Soluciones Verdes, que tenía su salida conectada a una extrusora de la misma marca, para que los residuos ya triturados pasaran también por este dispositivo y cayeran en una caja plástica que se encontraba a su salida, como se muestra en la Figura 3.13. Cada vez que se llenaba la caja, esta se cambiaba por una vacía.



Figura 3.13. Trituradora y extrusora.

El proceso se repitió para cada bolsa de desechos. Sin embargo, al procesar una gran cantidad de residuos celulósicos, como hojas de elote, hojas de plátano y las coronas de las piñas, la extrusora se obstruyó, por lo que hubo que agregarle una alta cantidad de pellets de madera para remover el atasco. A partir de esto, se trató de agregar partes iguales de residuos fibrosos y residuos acuosos, con el fin de que la trituradora y la extrusora no se obstruyeran. No obstante, al final quedó una gran cantidad de residuos fibrosos, por lo que se pasaron únicamente por la trituradora, para evitar el atasco de la extrusora. Al terminar dicho proceso, se midió la masa de los residuos ya triturados para verificar que se cumpliera con la cantidad mínima para el funcionamiento de la máquina, que corresponde a 150.00 kg. Se agregaron 163.56 kg a la compostera.

Antes de iniciar el ciclo de la máquina, se tomó el voltaje de su medidor de consumo. Asimismo, se agregó un 10% de pellets de madera (16.36 kg), lo cual es parte de las instrucciones de uso de la máquina, y se fijaron los siguientes parámetros:

- a. **Tiempo de giro de las aspas:** 2 minutos en cada sentido.
- b. **Tiempo de descanso de las aspas:** 15 segundos.
- c. **Temperatura:** 60 °C.
- d. **Tiempo del ciclo:** 24 horas.

La compostera inició su función a las 11:30 a.m. y trabajó bien hasta las 4:00 p.m. de ese mismo día; sin embargo, se detuvo porque una de las aspas del lado izquierdo se desprendió, por lo que esa sección no tendría movimiento y los residuos aumentarían más su temperatura. La compostera estuvo detenida el martes 29 de octubre, debido a que fue un día de asueto, y el 30 de octubre, ya que el personal del MADI no se encontraba disponible. La máquina se reparó y se conectó de nuevo el jueves 31 de octubre a las 10:00 a.m., y se detuvo el viernes 01 de noviembre al cumplirse las 24 horas de procesamiento. No obstante, para este momento el material estaba tan seco que comenzó a emanar humo a causa de la alta temperatura y la fibrosidad de los residuos. Como consecuencia, las paredes de la compostera quedaron con incrustaciones debido al material que se le agregó. Al detener la máquina, se anotó el voltaje final indicado en el medidor de consumo eléctrico.

A este material no se le agregó ningún tipo de inóculo para la descomposición de los residuos orgánicos, por lo que se dejó enfriar dentro de la compostera y se almacenó en sacos, pero no se le realizaron análisis químicos. Debido a esto, se debió recolectar una nueva muestra de residuos para repetir el proceso.

3.4.3. Repetición del proceso

El sábado 23 de noviembre de 2024 se realizó una nueva recolección de residuos para procesar en la compostera automatizada. En esta, se repartieron bolsas a la mayoría de los agricultores que ya habían participado en el procedimiento, así como a otros que no lo hicieron en las recolecciones anteriores, pero deseaban participar en el proyecto. Se siguieron los mismos pasos de las recolecciones previas. Asimismo, al llegar al MADI, las bolsas se perforaron y se dejaron junto a la rejilla durante el fin de semana.

El lunes 25 noviembre de 2024, con la participación de 5 colaboradores, se trituraron los residuos. Para esto, se siguieron los mismos pasos del procesamiento anterior, con la diferencia de que los materiales más celulósicos se separaron desde el inicio para pasarlos solo por la trituradora. Se agregaron 187.64 kg de residuos ya triturados a la compostera. Igualmente, previo al inicio del ciclo, se tomó el voltaje de su medidor de consumo, se agregó únicamente un 5% de pellets de madera (9.38 kg) y, además, se agregaron 4.00 kg de inóculo,

el cual estaba compuesto por 2.50 kg del material en proceso de compostaje mediante la técnica de hilera y 1.50 kg de inóculo de MM.

El tiempo utilizado desde que se inició el proceso de preparación de los materiales hasta que la máquina inició su funcionamiento fue de 9:00 a.m. a 12:30 p.m., pero el proceso se detuvo de 9:55 a.m. a 10:35 a.m., debido a que la extrusora se obstruyó, por lo que el total de tiempo trabajado en el tratamiento de la materia orgánica fue de 2 horas y 50 minutos.

El martes 26 de noviembre de 2024, la compostera finalizó su ciclo de trabajo. El producto se dejó 24 horas dentro de la máquina para su enfriamiento. Posterior a esto, se sacó, se pesó y se almacenó en sacos en el MADI.

3.5. Pruebas en laboratorio

Por último, se tomó una muestra de 1.00 kg del producto obtenido por el método con compostera automatizada. Dicha muestra se tomó el día después del enfriamiento del material dentro de la máquina y se almacenó en una bolsa plástica para ser trasladado al Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica (CIA). En el laboratorio del CIA se le realizaron pruebas para determinar la concentración en porcentaje de masa para los nutrientes N, P y K. Asimismo, se determinó el pH, la relación de C/N y el porcentaje de humedad de la muestra. Además, se identificó la concentración en mg/kg para los iones NH_4^+ y NO_3^- presentes en el producto. El mismo proceso se repitió para una muestra del mismo material a las 10 semanas de maduración.

Estos análisis también se efectuaron para una muestra tomada del compostaje en hilera a las 7 semanas de maduración y para una muestra del compostaje en montículos realizado por la Municipalidad de Oreamuno, también con residuos de su feria del agricultor.

3.5.1. Metodologías de pruebas en laboratorio

A continuación, se describen las metodologías aplicadas en los análisis realizados en el CIA para las diferentes muestras de compostaje.

- a. Nitrógeno (N):** la muestra se secó a 80 °C, se molió y se pasó por una criba de 1 mm. Se pesaron entre 80.00 y 100.00 mg de muestra, la cual se analizó en el autoanalizador Elementar Vario Macro Cube, cuya determinación se basa en el principio de combustión seca de Dumas.
- b. Fósforo (P) y potasio (K):** la muestra se secó a 80 °C, se molió y se pasó por una criba de 1 mm. Se pesaron 0.50 g de la muestra, se realizó una digestión húmeda con ácido nítrico concentrado y se llevó a un volumen final de 100.00 mL. La concentración de los elementos se determinó por Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Para la evaluación adecuada de los resultados de dichos elementos, estos se convirtieron a P₂O₅ y K₂O con las ecuaciones 1 y 2, respectivamente [26].

$$\% P_2O_5 = \% P \times 2.29 \quad 1$$

$$\% K_2O = \% K \times 1.20 \quad 2$$

- c. Nitrógeno amoniacal (NH₄⁺) y nitrógeno nítrico (NO₃⁻):** se pesaron 5.00 g de muestra, se realizó una extracción con 50.00 mL de agua ultrapura y se determinó la concentración de nitrógeno amoniacal y nítrico por colorimetría, con el Analizador de Inyección de Flujo (FIA).
- d. pH:** la muestra se secó a 80 °C, se molió y se pasó por una criba de 1 mm. Luego, se extrajo con agua ultrapura, en una relación muestra-extractante 3:50. La mezcla se dejó reposar por al menos 30 minutos y se determinó el valor potenciométricamente.

3.6. Análisis de resultados y recomendación de buenas prácticas

Los resultados de las encuestas y las entrevistas fueron analizados mediante estadística descriptiva, con la elaboración de gráficos que desplegaran la información de forma agrupada según el abordaje deseado, identificando los retos de la correcta gestión de los residuos orgánicos de la Feria del Agricultor de Oreamuno.

Por otro lado, para la evaluación de los métodos de compostaje, se compararon los resultados de las pruebas en laboratorio con los valores teóricos reportados en la literatura y se desarrolló una Matriz de Decisión de Pugh en Microsoft Excel, con el fin de considerar

todos los factores que incidían sobre el pretratamiento de los residuos y la elaboración del compost por cada técnica, así como los resultados obtenidos en los análisis de nutrientes. Esta es una herramienta de análisis multicriterio y comparación cuantitativa, donde se evalúa cada técnica según distintos criterios y se compara a una referencia establecida [27]. En este caso, las condiciones de operación normales del compostaje agrícola en Finca Páez fueron tomadas como referencia para la comparación de los métodos. Asimismo, se incluyeron los siguientes criterios:

- a. **Recurso humano requerido:** cantidad de personas necesarias para llevar a cabo el trabajo.
- b. **Tiempo de preparación:** tiempo que se tarda realizando las actividades (tiempo de escurrimiento de residuos, efectivo y de degradación de residuos).
- c. **Equipo y herramientas:** dependencia de maquinaria, equipo, herramientas, materiales e insumos específicos para llevar a cabo las actividades.
- d. **Riesgos:** situaciones que ponen en riesgo la ejecución de las actividades, como cortes de electricidad, obstrucciones y daño del equipo, y seguridad laboral.
- e. **Dificultad:** capacitaciones necesarias para realizar los procesos, experiencia en las actividades a realizar y habilidades.
- f. **Costo económico:** pago de colaboradores y la factura de electricidad, y costos de mantenimiento.
- g. **Consumo eléctrico:** impacto ambiental generado por el consumo de electricidad.
- h. **Infraestructura:** condiciones de espacio requeridas para el proceso.

Los criterios de evaluación tienen impactos diferentes sobre el proceso, por lo que a cada uno se le definió un peso en una escala de 1 a 5, con la colaboración de la Especialista Gina Borrero. Posterior a esto, se evaluaron las alternativas propuestas respecto a los criterios establecidos, asignándoles un puntaje de acuerdo con el método de referencia. Si el escenario propiciado por la alternativa era más favorable que el actual, se calificaba con un valor de 1; si era menos favorable, se calificaba con un puntaje de -1; y si era igual, se calificaba con un valor de 0. Seguidamente, se multiplicó el puntaje establecido por el peso de cada criterio y se sumaron los resultados obtenidos en los diferentes criterios para cada alternativa. El método con la calificación más alta corresponde a la alternativa más favorable [27].

A partir de esto, se seleccionó el método más eficiente y adecuado para las condiciones de la feria, y se realizó un listado de pasos y recomendaciones para el manejo de los residuos orgánicos generados en el campo ferial, así como para el desarrollo de la técnica de compostaje seleccionada. Esta lista, así como todos los resultados del proyecto, se presentaron al Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno y la alcaldía del cantón para su validación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de la situación actual en la Feria del Agricultor de Oreamuno

4.1.1. Primera visita

Se obtuvo que 19 de los vendedores entrevistados tienen más de 10 años de participar en la feria, y que los 24 producen lo que venden. Así mismo, 18 son de la provincia de Cartago, pero la mayoría es de zonas fuera de Oreamuno, como se muestra en la Figura 4.14, lo cual se debe tomar en cuenta para futuras capacitaciones o reuniones. Por otro lado, 20 identifican al administrador de la feria y parte de sus funciones, reconociendo además que hay otras organizaciones responsables del desarrollo de la feria, como la Municipalidad de Oreamuno y el CAC.

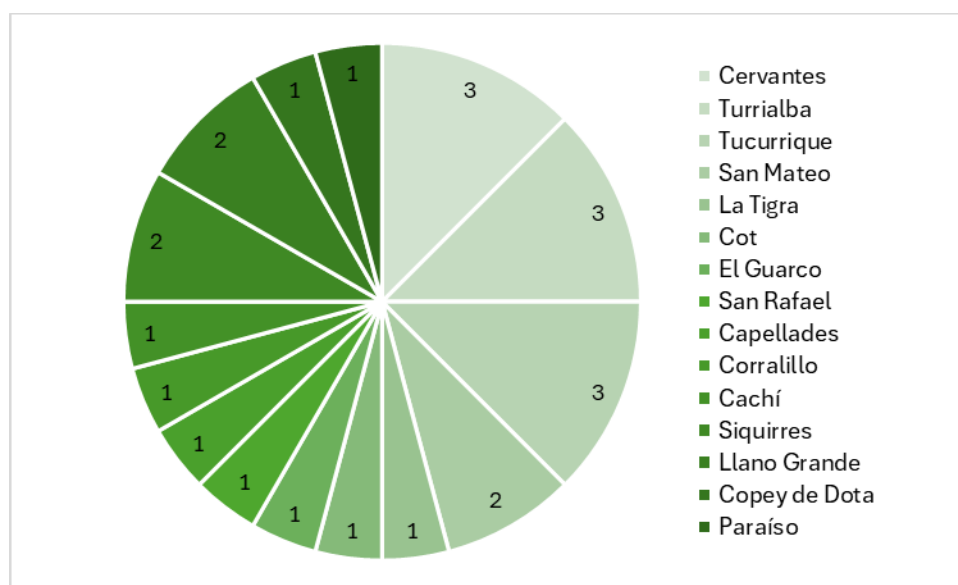


Figura 4.14. Lugar de origen de cada vendedor.

Sobre los residuos producidos, 4 agricultores no saben la cantidad que generan y 1 no produce del todo, ya que solo vende pan casero. Respecto al tipo de residuos, 10 personas mencionaron desechar productos en mal estado, 8 generan plásticos por bolsas, 6 hojas y cáscaras de frutas y verduras, 2 tienen residuos de cocos y 1 de tallos de flores, como se muestra en la Figura 4.15. Estos son producidos por el acondicionamiento y descarte de los productos, al igual que su empaquetado en bolsas plásticas.

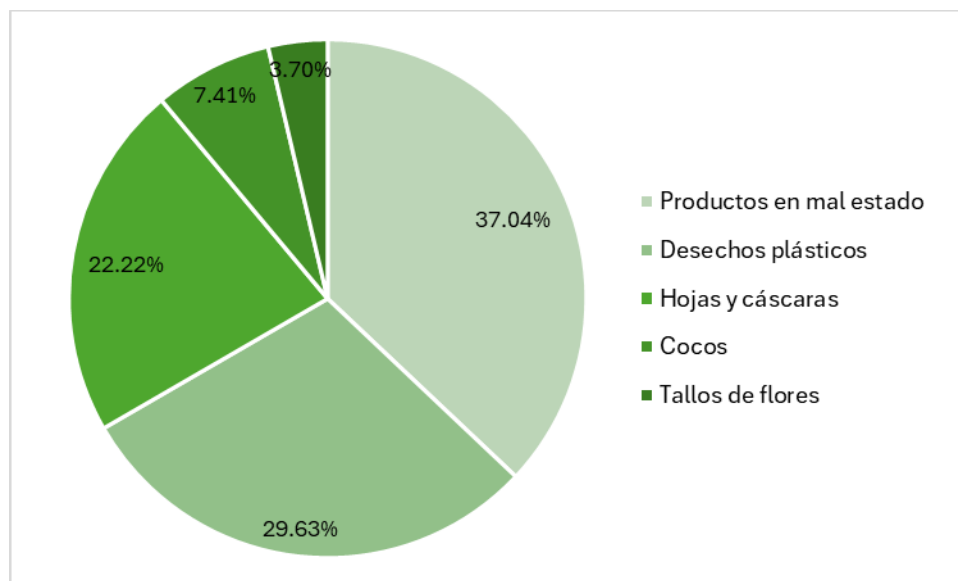


Figura 4.15. Porcentaje de agricultores que generan determinados tipos de residuos.

Para el almacenamiento, los agricultores mencionaron que la municipalidad no les da contenedores, por lo que la mayoría almacena sus desechos en cajas, sacos o bolsas propias. Sin embargo, 7 indicaron no tener ningún tipo de contenedor para residuos en su puesto.

La mayoría de los productores indicó que casi siempre venden todo en la feria. No obstante, cuando les quedan productos, 6 agricultores los regalan, 6 los venden en otros lugares (por ejemplo, en otras ferias), 3 se los llevan de vuelta, 3 los venden a un cliente específico, 2 los venden en la misma feria la siguiente semana, 1 los usa para abonar su tierra, 1 para alimentar animales y 1 se los da a una verdulería.

En cuanto a la separación de residuos, 12 vendedores separan lo orgánico, 7 de ellos para aprovecharlo y 5 por temas ambientales o solicitud de la municipalidad. Sin embargo, 6

no separan, ya que todos los residuos generados son del mismo tipo, 1 mencionó no separar porque no sabe la forma correcta de hacerlo, 1 porque solo tiene un contenedor y 1 porque todos sus residuos están contaminados (bolsas sucias de pollo crudo). Estos resultados se observan en la Figura 4.16.

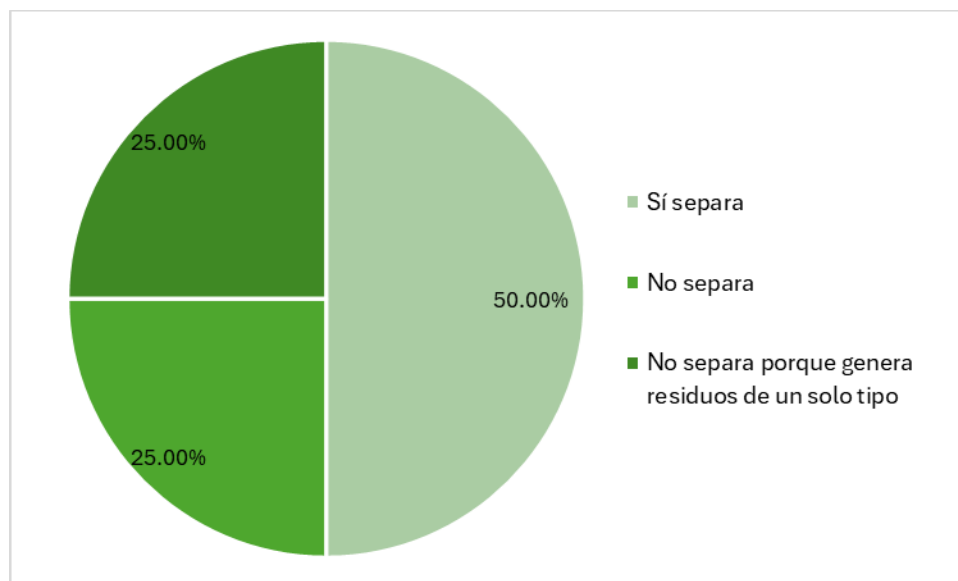


Figura 4.16. Agricultores que separan los residuos que generan en la feria.

La mayoría de los agricultores está dispuesta a seguir separando sus desechos o comenzar a hacerlo si se le ofrecen las condiciones adecuadas, 4 personas no lo harían, ya que todos sus residuos son del mismo tipo, y 1 mencionó no estar dispuesta a separarlos, pero indicó casi no producir, ya que vende plantas.

Respecto a la disposición final de los desechos, 16 agricultores mencionaron que los colaboradores de la municipalidad los recogen en cada puesto y 2 indicaron que los deben colocar en estañones destinados para este fin, ubicados en cada entrada del campo ferial. No obstante, solo 10 los dejan en la feria para que se los recojan, 5 regalan lo orgánico y el resto se los llevan para hacer compost, alimentar animales o venderlos. En la Figura 4.17 se observa el porcentaje de agricultores que dejan sus residuos en la feria y, por ende, deben ser tratados por la municipalidad.

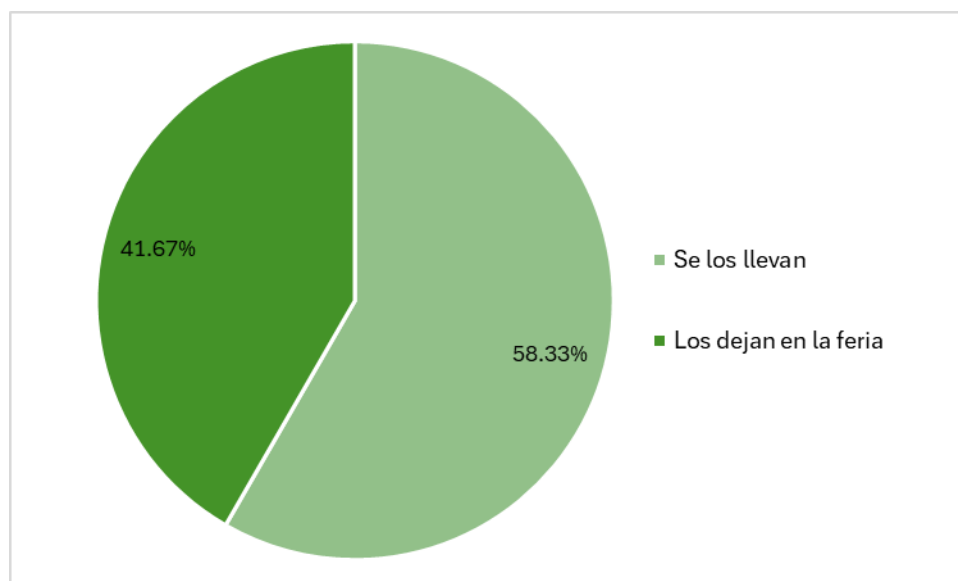


Figura 4.17. Porcentaje de agricultores que dejan sus residuos orgánicos en la feria.

A partir de este porcentaje, se realizó una proyección del número de agricultores que dejan sus residuos en la feria. Este resultado se muestra en el Cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Proyección de la cantidad de agricultores que dejan sus residuos en la Feria del Agricultor de Oreamuno.

Número de puestos en la feria	Agricultores que dejan los residuos en la feria (%)	Proyección de agricultores que dejan los residuos en la feria
170	41.67	71

Por otro lado, 10 productores saben que la municipalidad limpia el campo ferial, pero no saben la forma en que se realiza, y 4 personas indicaron no conocer sobre las labores de limpieza ni sus responsables. Asimismo, algunos comentarios adicionales mencionados por los agricultores son:

- i. Esperan que se coloquen contenedores limpios, ordenados, grandes y rotulados.
- j. Destacan la importancia de la iniciativa de compostar los residuos de la feria y recibir más información relacionada a educación ambiental.

4.1.2. Segunda visita

En la segunda visita, se obtuvo información sobre el proceso realizado al finalizar la feria del agricultor y la gestión de los residuos por parte de los encargados. Respecto al cierre de los tramos, se observó que cada agricultor lleva su propio toldo y demás estructuras para acomodar sus productos, por lo que ellos mismos lo deben desarmar. Al terminar las ventas, los vehículos pueden entrar al campo ferial para recoger las pertenencias de cada agricultor.

La administración indicó a los vendedores que cada uno debía dejar sus residuos en su espacio de la feria, separados en orgánicos y no orgánicos, en bolsas o sacos. No obstante, se notó que algunas personas los dejaban mezclados y a la intemperie. También se observó que muchos agricultores llevan sus residuos a los estañones destinados a la disposición de estos en las entradas al campo ferial, pero aquí los residuos se encontraban mezclados, ya que no hay indicaciones de distinción de los recipientes y el contenido que se debe colar en ellos.

Cuando la mayoría de los vendedores sale del lugar, los recolectores municipales recogen los residuos que se encuentran en el suelo y en los estañones, y los depositan en un camión de la municipalidad, tratando de separarlos en orgánicos y no orgánicos. Estos se trasladan al plantel municipal, donde se almacenan hasta el lunes, cuando los residuos orgánicos se llevan a Finca Páez, propiedad de la Municipalidad de Oreamuno, y los no orgánicos al relleno sanitario El Huazo, en el cantón de Aserri.

Asimismo, se conversó con el Sr. Laercio Cruz, administrador de la Feria del Agricultor de Oreamuno durante los últimos cuatro años. Se le informó sobre el objetivo del proyecto y el propósito de las visitas al lugar, y él explicó sobre su trayectoria y una reseña histórica de la administración de la feria. El Sr. Laercio comentó que en 2008 había trabajado en un proyecto de compostaje con los residuos orgánicos de las ferias de Zapote y Desamparados, donde se procesaban entre 8 y 10 toneladas de material por sábado, lo cual producía aproximadamente 2000 quintales de enmienda orgánica.

Igualmente, indicó que la Feria de Oreamuno tiene 40 años de existencia, genera alrededor de 1000 kg de residuos por semana y cuenta con 170 espacios, los cuales se alquilan a \$6000 cada sábado. La actividad cumple con lo establecido en el Reglamento de Ferias del

Agricultor, excepto por la distancia entre el campo ferial y otras ventas de productos, ya que un negocio que importa y vende frutas se encuentra detrás del lugar.

En relación con la jerarquización de las labores, el Sr. Laercio Cruz explicó que el Comité Regional es quien le asignó la administración de la Feria del Agricultor de Oreamuno al Centro Agrícola Cantonal, y que este proceso se debe actualizar cada dos años, pero que no suele suceder así. Sobre los gastos de la actividad, indicó que, de las ganancias, se entrega un 15% al Comité Regional, un 5% a la Junta Nacional de Ferias (donde participa un representante de cada comité), ¢1 000 000 por mes a la municipalidad por el alquiler del campo ferial y ¢70 000 por semana por la recolección de los residuos.

Por último, comentó que la empresa de consultoría ambiental Sostech tiene relación con la municipalidad, puesto que iniciaron un proyecto en conjunto entre octubre y noviembre de 2023, con el objetivo de compostar los residuos de la feria. De acuerdo con lo compartido por el administrador, este grupo recopiló información, capacitó a los vendedores sobre la separación adecuada de los residuos y se comprometió a colocar contenedores por tipo de residuo en el lugar; sin embargo, no llevaron estos últimos y no se informó más sobre el proceso.

4.1.3. Reuniones con Sostech y la Municipalidad de Oreamuno

A raíz de lo comunicado por el Sr. Laercio Cruz, se investigó más sobre el proyecto de compostaje desarrollado por la Municipalidad de Oreamuno y la participación de la empresa Sostech en las capacitaciones. Para esto, se organizó una reunión con la M.Sc. Paola Quesada, quien es el contacto directo de Sostech para el proyecto municipal.

En la reunión, la contraparte de Sostech informó que la empresa capacitó a los agricultores respecto a la separación de residuos y la elaboración de compostaje de forma casera, como parte de las labores del proyecto. Igualmente, indicó que la municipalidad debía colocar contenedores para la separación de los residuos orgánicos en la feria para compostarlos en Finca Páez (compostaje agrícola), pero no han sido colocados. A pesar de esto, la municipalidad continuó con el compostaje agrícola alrededor de junio de 2024. Sin embargo, la M.Sc. Paola Quesada expresó que los montículos de compost presentaban

humedad y temperaturas muy altas debido a que se almacenan bajo toldos, los cuales no impiden por completo que se mojen cuando llueve.

Asimismo, se indicó que el Máster Pablo Gómez, Encargado de Higiene y Ornato Ambiental en la municipalidad, es el responsable de los residuos en la feria y del camión para transportarlos a Finca Páez, mientras que la Licda. Jéssica Aguilar, Encargada de la Oficina de Agricultura y actualmente Encargada del Centro de Acopio, es también la responsable del material ya en la finca. Por último, la M.Sc. Paola Quesada comentó que este proyecto está financiado con fondos de la municipalidad.

Posterior a esto, se realizó una reunión con el MBA. Erick Jiménez, Alcalde de Oreamuno, la Sra. Karen Gamboa, Vicealcaldesa, la Licda. Jéssica Aguilar y el M.Sc. William Maroto, Encargado de Gestión Ambiental. La Licda. Jéssica Aguilar y el M.Sc. William Maroto aclararon que ellos han desarrollado las labores relacionadas a los montículos en Finca Páez junto con los colaboradores municipales, y que Sostech solo realizó alrededor de 4 visitas para revisar el proceso; por lo tanto, ambos son quienes ceden los permisos para el destino de los residuos de la feria. Adicionalmente, indicaron estar trabajando en la adquisición de contenedores para el almacenamiento adecuado de los residuos y explicaron el proceso de compostaje municipal en Finca Páez.

4.1.3.1. Compostaje municipal en Finca Páez

Este proceso consiste en trasladar los residuos orgánicos de la feria al plantel municipal cada sábado en la tarde, y del plantel a Finca Páez cada lunes en la mañana, donde son procesados por los colaboradores municipales, quienes han sido capacitados para el desarrollo correcto de las actividades. Primero, separan la fibra de coco y la caña, trituran todos los residuos excepto la caña (se recalca que no se suele encontrar desechos de caña) y colocan una capa de fibra de coco ya triturada en una zona de concreto cubierta por toldos. Sobre esta, colocan una capa de residuos orgánicos y otra de material secante (chips de madera), resultando en un montículo, al cual se le añade inóculo de MM como insumo para acelerar la descomposición de materia orgánica.

Cada semana durante 4 semanas, los montículos se voltean, se les realiza la prueba del puño, se les determina la temperatura con un termómetro de espiga larga y se les agrega una nueva capa de residuos orgánicos, otra de material secante e inóculo de MM. Cada lunes se elabora un nuevo montículo.

4.1.4. Tercera visita

En la tercera visita, se obtuvo información sobre las prácticas de gestión de los residuos de 127 agricultores. En las entrevistas aplicadas, casi la mitad de los vendedores indicaron haber sido capacitados respecto a la separación adecuada de residuos sólidos (Figura 4.18).

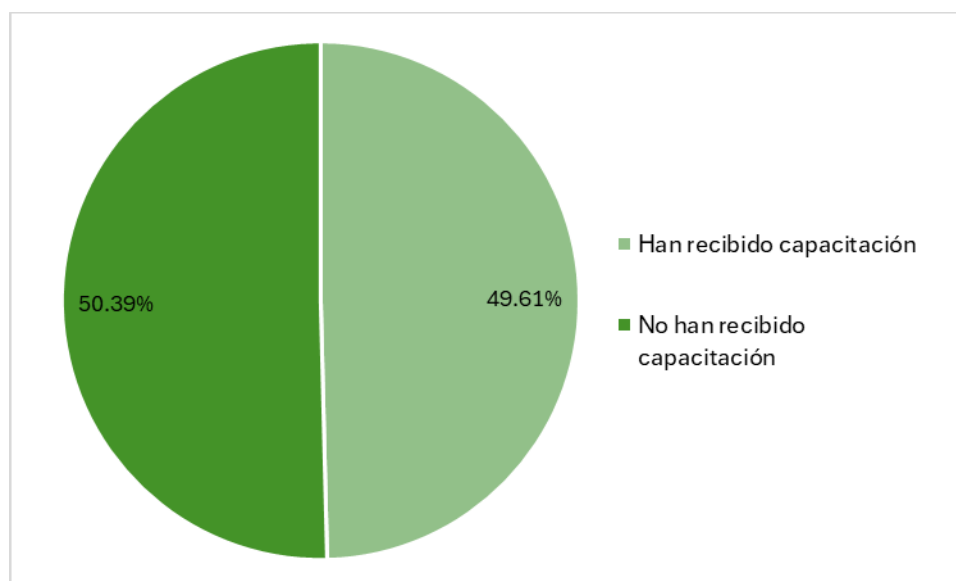


Figura 4.18. Porcentaje de agricultores capacitados en separación de residuos.

Asimismo, se preguntó a los agricultores si estaban dispuestos a separar los residuos orgánicos para que estos fueran compostados. A este cuestionamiento, solo 6 personas mencionaron no estar dispuestas a hacerlo (Figura 4.19).

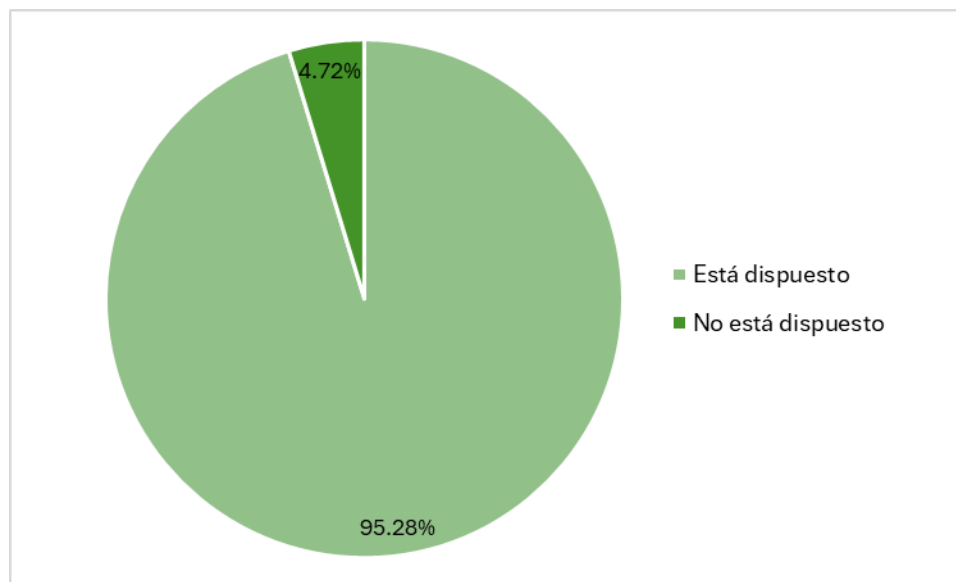


Figura 4.19. Porcentaje de agricultores dispuestos a separar los residuos orgánicos.

4.1.5. Residuos recolectados

En la primera recolección se recogieron 55 bolsas de orgánicos de las 75 entregadas, ya que, como se evidenció, no todos los vendedores los dejan en la feria. Asimismo, se determinó que la mayoría de los agricultores necesita una bolsa para almacenar sus residuos orgánicos durante el día de venta. En el Cuadro 4.5 se presenta la proyección de residuos que debe tratar la municipalidad, asumiendo que cada agricultor entregó una bolsa de orgánicos.

Cuadro 4.5. Proyección de residuos orgánicos que la Municipalidad de Oreamuno debe tratar.

Bolsas recolectadas	Residuos orgánicos recolectados (kg)	Agricultores que dejan los residuos en la feria	Residuos orgánicos por tratar (kg)
55	370.27	71	477.24

En la segunda y tercera recolección de residuos, se recogieron 300.00 kg y 303.80 kg, respectivamente. Además, se obtuvo que los agricultores separan de forma adecuada los residuos, ya que solo se encontraron unos pocos artículos plásticos en las bolsas. Por último, se recalca la disposición de colaborar y el agradecimiento de los participantes por el desarrollo de un proyecto similar permanente en la feria.

4.2. Evaluación de métodos de compostaje

4.2.1. Compostaje en hilera

La elaboración del compostaje en hilera tomó alrededor de 8.5 semanas, considerando desde la preparación de la hilera hasta el inicio de su maduración. En el Cuadro 4.6 se observa una comparación entre los tiempos teóricos y los obtenidos para cada etapa, los cuales fueron muy similares. Asimismo, se comparan los datos de temperatura y pH. Se observa que el pH obtenido en la segunda etapa mesofílica fue mayor al reportado en la literatura, lo cual se pudo deber al descarte de una alta cantidad de residuos ácidos a la hora de elaborar la hilera.

Cuadro 4.6. Comparación de valores teóricos y experimentales (Exp.) obtenidos en el compostaje en hilera.

Etapa	Cantidad de semanas		Temperatura (°C)		pH	
	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.	Teórico	Exp.
Mesofílica	1	1.5	20 – 50	28 – 50	4 – 7	
Termofílica	1 – 3	3	50 – 70	42 – 61	7 – 9	4.41
Mesofílica	2 – 5	4	20 – 50	28 – 40	7 – 8	9.32

Por otro lado, se determinó una reducción significativa de la masa del material empleado. La hilera se elaboró con 313.19 kg de residuos orgánicos y, luego del tamizaje, se obtuvieron 31.15 kg de compost, lo cual representa un 9.95% del valor inicial, y una reducción del 90.05%. En la Figura 4.20 se observa el producto final del compostaje en hilera.



Figura 4.20. Compost obtenido del compostaje en hilera.

Además, se destaca la ausencia de riesgos adicionales a los que se mantienen en las condiciones del compost agrícola de Finca Páez, ya que solo se detectó el riesgo por cortaduras al picar los residuos, proceso que es menos peligroso que el uso de la trituradora actual. No obstante, sí existe un grado más elevado de dificultad, debido al requerimiento de capacitación a los encargados del control del proceso, con el fin de medir el pH de forma correcta y determinar la adición de inóculo líquido o material secante según la humedad del material, y no de forma permanente cada semana, como se realiza en los montículos.

De la misma forma, se identificaron condiciones necesarias de infraestructura, las cuales corresponden a un espacio no solo cementado, sino también bajo un techo fijo y lo suficientemente grande para el almacenamiento de todas las pilas de compost y su volteo durante el tiempo de elaboración, así como para el almacenamiento del producto durante su maduración, con el objetivo de que este no se moje ni guarde una alta humedad. Se destaca también que el costo económico del proceso no es mayor que el actual.

4.2.2. Compostaje en compostera automatizada

La cantidad de material utilizada para el tratamiento en la compostera automatizada ubicada en el MADI fue de 303.80 kg. Este se redujo a 187.64 kg debido a la eliminación del agua por la trituración y extrusión previa al proceso de tratamiento, lo que equivale a un 61.76% del valor inicial. Asimismo, a esa cantidad de residuos se le agregaron 9.38 kg pellets de madera y 4.00 kg de inóculo, dando un total de 201.02 kg, que se convirtieron en 76.00 kg de compost al terminar el ciclo de la máquina, lo cual representa un 37.81% del valor inicial agregado a la compostera y una reducción del 62.19%.



Figura 4.21. Compost obtenido del compostaje en compostera automatizada.

Respecto a los riesgos del proceso, se evidenciaron situaciones que interfieren en las actividades, que corresponden a cortes de electricidad, obstrucciones y daño del equipo, y riesgos de seguridad laboral por cortaduras al picar los residuos y por el uso de la extrusora. También existe una mayor dificultad para realizar este proceso, debido a las capacitaciones necesarias para el uso adecuado de los equipos. Además, se determinó una agilización en el proceso gracias a la experiencia del colaborador del MADI en el uso de los aparatos.

Igualmente, se identificó la necesidad de un espacio no solo cementado, sino también bajo un techo fijo, con canales para el escurrimiento, que permita la ventilación y lo suficientemente grande para colocar los equipos y almacenar el producto durante su maduración. Por otro lado, se resalta que el gasto económico del proceso es mayor que el actual, debido al mantenimiento de las máquinas y el pago de la electricidad. En el Cuadro 4.7 se muestra el consumo energético de la compostera para esa prueba en específico.

Cuadro 4.7. Consumo eléctrico de un ciclo de 24 horas de la compostera automatizada.

Medición inicial (kWh)	Medición final (kWh)	Consumo total (kWh)
5226.00	5346.20	120.20

En el Cuadro 4.8 se expone el monto por pagar, según la tarifa F de JASEC, vigente para el 2025, la cual se aplica a actividades agrícolas que no sean sistemas de bombeo de agua para riego y que consuman menos de 3000 kWh por mes. De esta forma, se muestra el peor escenario en cuanto al costo económico del consumo eléctrico de la compostera, debido a su mayor costo en comparación a otras tarifas [28]. Se destaca también que esta técnica involucra un mayor impacto ambiental a causa del uso de energía.

Cuadro 4.8. Precio de la energía consumida por la máquina compostera.

Aspecto	0 – 30 kWh	31 – 200 kWh
Cantidad (kWh)	30.00	90.20
Precio por kWh (₡)	-	92.36
Precio diferenciado (₡)	2770.80	8330.87
Precio total (₡)	11 101.67	

4.2.3. Resultados de las pruebas en laboratorio

En el Cuadro 4.9 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas en laboratorio para el análisis de nutrientes y otros parámetros que inciden en la calidad del producto, para las muestras del compost en hilera, en compostera automatizada y en montículos en Finca Páez. Los datos más favorables se encuentran subrayados en color verde y los menos favorables en color rojo. Asimismo, se retoman los valores teóricos que fueron presentados en el apartado 2.5 sobre la calidad del compost.

Cuadro 4.9. Resultados del análisis químico para las diferentes muestras de compost.

Método	Maduración (semanas)	% masa			mg/kg		%	H ₂ O	Relación
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	Humedad	pH	C/N
Teórico	-	1.50	1.00	1.50	-	-	30 - 40	6.50 - 8.56	10 - 15
Montículo	Desconocido	2.72	0.96	3.58	92.00	696.00	64	8.80	13
Hilera	7	2.13	1.47	3.31	14.67	357.97	31	9.20	16
Máquina	10	2.22	0.10	3.12	61.15	8.14	38	9.00	20

Se observa que el método con los mejores resultados corresponde al de montículos en Finca Páez, ya que posee los valores más adecuados para todos los parámetros medidos, a excepción de la concentración de P₂O₅, que no alcanza el valor promedio teórico, lo cual es desfavorable debido a que el fósforo disponible en el suelo es insuficiente para el desarrollo correcto de las plantas, por lo que se deben aplicar fertilizantes fosforados con el fin de suplir esta deficiencia [29]. Igualmente, la humedad es mayor que el límite superior definido, lo cual se pudo deber a que el compost no se encuentra bajo un techo fijo y lo suficientemente amplio durante su elaboración, por lo que se puede mojar cuando llueve. Esta presencia excesiva de agua aumenta el peso del compost, afectando también sus posibles costos de traslado a otros lugares y los cálculos de la cantidad efectiva a aplicar en suelos y cultivos.

Por el contrario, el compost en hilera a las 7 semanas de maduración presenta la concentración más alta de P₂O₅. Sin embargo, para esta muestra se reportan los valores más bajos de nitrógeno total (pero igual mayor que el promedio teórico) y amonio, lo cual es

perjudicial, porque el NH_4^+ es una de las formas moleculares solubles en la solución del suelo y en las que las plantas son capaces de absorber el nitrógeno. Asimismo, la muestra tiene un pH demasiado alcalino, lo cual se pudo deber al descarte de una gran cantidad de residuos ácidos el día de elaboración de la hilera. No obstante, esto no significa necesariamente un problema, ya que un 46.81% del territorio costarricense corresponde a suelos del orden ultisol, que poseen una alta acidez y deben ser fertilizados con productos que aumenten su alcalinidad [30].

Por último, el producto de la compostera automatizada obtuvo el mejor porcentaje de humedad, pero presenta las concentraciones más bajas de P_2O_5 (menor que el promedio teórico), lo cual, como se mencionó anteriormente, no es beneficioso para el crecimiento vegetal. De la misma forma, esta muestra posee la concentración más baja de K_2O , que es una sustancia fundamental en la síntesis de carbohidratos y proteínas en las plantas, y aumenta la tolerancia de estos seres ante la posible escasez de agua [25]. Además, este método presentó un bajo valor de NO_3^- y una relación carbono – nitrógeno más alta de lo común, que corresponden a indicios de inmadurez en el compost [31], a pesar de ser la muestra más longeva (10 semanas de maduración). Esto también puede generar problemas en cuanto al crecimiento y la reproducción de los cultivos [32].

4.2.4. Comparación de métodos

Seguidamente, se presenta la herramienta de evaluación utilizada para el análisis multicriterio de los métodos de compostaje desarrollados en la investigación, manteniendo la técnica de montículos de Finca Páez como referencia, así como los pesos asignados a cada criterio establecido. Igualmente, se muestran los resultados obtenidos para las etapas de pretratamiento y elaboración, y los de las pruebas en laboratorio. Por último, se observa la calificación global obtenida por cada alternativa.

Etapa	Criterio	Peso	Hilera		Máquina	
			Valor	Resultado	Valor	Resultado
Pretratamiento	Recurso humano requerido	5	0	0	0	0
	Tiempo de preparación	2	0	0	-1	-2
	Equipo y herramientas	5	0	0	-1	-5
	Riesgos	3	1	3	-1	-3
	Dificultad	3	0	0	-1	-3
	Costo económico	5	0	0	-1	-5
	Consumo eléctrico	3	0	0	-1	-3
	Infraestructura	2	0	0	0	0
Calificación			3		-21	
Elaboración	Recurso humano requerido	5	0	0	0	0
	Tiempo de preparación	4	-1	-4	1	4
	Equipo y herramientas	5	0	0	-1	-5
	Riesgos	3	0	0	-1	-3
	Dificultad	3	1	3	1	3
	Costo económico	5	0	0	-1	-5
	Consumo eléctrico	5	0	0	-1	-5
	Infraestructura	4	-1	-4	0	0
Calificación			-5		-11	
Pruebas en laboratorio	N	3	-1	-3	0	0
	NH ₄ ⁺	4	-1	-4	0	0
	NO ₃ ⁻	4	0	0	-1	-4
	P ₂ O ₅	3	1	3	-1	-3
	K ₂ O	3	0	0	-1	-3
	pH	4	-1	-4	0	0
	% Humedad	2	1	2	1	2
	Relación C/N	4	0	0	-1	-4
Calificación			-6		-12	
Calificación global			-3		-15	

Figura 4.22. Matriz de Decisión de Pugh.

Al evaluar cada criterio considerado en la Matriz de Decisión de Pugh, según las etapas de pretratamiento, elaboración y pruebas en laboratorio para cada alternativa de compostaje, la técnica con hilera obtuvo una calificación de -3, mientras que el método con

compostera automatizada alcanzó un puntaje de -15. Asimismo, el compostaje en hilera obtuvo el valor más alto en cada etapa individual.

Esto significa que el método más favorable de los desarrollados en este proyecto corresponde al método tradicional de compostaje en hilera, ya que se adecúa mejor a las condiciones actuales para el tratamiento de los residuos orgánicos de la Feria del Agricultor de Oreamuno. Los criterios que más influyeron en el resultado obtenido fueron la dependencia de equipo y herramientas para llevar a cabo las actividades, el costo económico del proceso, el tiempo de elaboración del compost y la necesidad de infraestructura. Sin embargo, este método posee una calificación negativa (-3), lo cual indica no adecuarse por completo a dichas condiciones, por lo que la técnica de montículos en Finca Páez continúa siendo la más adecuada en la actualidad. No obstante, se insta a realizar mejoras en el proceso, como se muestra en el siguiente apartado.

4.3. Estrategia de gestión de residuos orgánicos para la Feria del Agricultor de Oreamuno

A continuación, se presenta la propuesta de la Estrategia de Gestión de Residuos Orgánicos en respuesta a las condiciones de la Feria del Agricultor de Oreamuno, desde la preparación de parte de la municipalidad hasta el tratamiento de los residuos mediante la técnica de compostaje en hilera. Esta responde a una combinación del método de compostaje en montículos realizado en Finca Páez y la técnica tradicional en hileras, que obtuvieron los mejores resultados en la comparación de alternativas.

4.3.1. Preparación

La municipalidad debe prepararse para tener una infraestructura adecuada para el tratamiento de los residuos orgánicos. El espacio destinado a la elaboración del compost y su almacenamiento debe estar en concreto y bajo un techo fijo amplio, con un sistema de canalización para el escurrimiento de lixiviados y que permita la ventilación, con el fin de que los residuos en tratamiento estén protegidos de la lluvia y no guarden una alta humedad ni malos olores. Por otro lado, se debe asegurar la disponibilidad de la trituradora para reducir

el tamaño de los residuos grandes, palas para el volteo, guantes para los colaboradores, termocupla para la medición de temperatura, pHímetro para la determinación de pH e inóculo de MM para el rocío del compost.

Además, se recomienda el diseño e impresión de panfletos informativos sobre la separación correcta de residuos, con imágenes que ejemplifiquen los residuos orgánicos y los no orgánicos comunes en la feria (platos, vasos y cubiertos desechables, servilletas, botellas plásticas). Estos deben ser entregados tanto a vendedores como a compradores, para que todas las personas estén atentas a la clasificación adecuada de los residuos y colaboren en esta actividad. Asimismo, se recomienda colocar dicha información en cada entrada del campo ferial.

4.3.2. Acumulación

En la Figura 4.16 se evidencia que la mayoría de los agricultores separa sus residuos o produce únicamente un tipo de residuos, y en la Figura 4.19 se observa que un 95.28% de los vendedores está dispuesto a separar. Además, en las recolecciones de residuos realizadas se determinó que los participantes de la feria separan muy bien los desechos.

En respuesta a lo anterior, se sugiere que la acumulación de los residuos se realice de forma separada por cada agricultor en su puesto de venta. Para esto, se debe solicitar a los agricultores que agrupen los residuos en sus puestos en orgánicos y no orgánicos, en contenedores que ellos tengan disponibles, como sacos, bolsas, cajas, entre otros. La ventaja de realizar el proceso tal y como se menciona es la reducción de tiempos de trabajo de los colaboradores municipales en la separación de residuos durante el sábado por la tarde en el campo ferial.

4.3.3. Almacenamiento

Para el almacenamiento de todos los residuos en la feria, se propone colocar un estañón con bolsa para orgánicos y otro para no orgánicos en cada entrada y en el medio del campo ferial, los cuales deben ser de diferentes colores y estar rotulados según su clasificación. Al finalizar la actividad comercial, los vendedores deben llevar sus residuos

separados a los estañones respectivos, depositando solo los desechos en el estañón de orgánicos, sin la bolsa o recipiente donde los estaban acumulando. Si alguna persona no puede trasladar sus residuos a los estañones debido a impedimentos físicos, los debe dejar ya separados en su puesto de venta para que los colaboradores municipales los recojan. Igualmente, los encargados de la recolección en el lugar cargarán las bolsas en el camión municipal para su traslado.

4.3.4. Transporte

Las bolsas con residuos orgánicos recolectadas en la feria se trasladarán el mismo sábado por la tarde a Finca Páez, donde los colaboradores de la municipalidad las descargarán para su pronto tratamiento.

4.3.5. Compostaje

4.3.5.1. Pretratamiento

Se recomienda que el pretratamiento de los residuos orgánicos se dé el mismo día de su generación para que este sea más fácil, ya que los residuos aún no estarán tan descompuestos y son más manejables. Como primer paso, se deben abrir las bolsas y verificar que no haya desechos no orgánicos; si hubiese, estos se deben clasificar para su correcta valorización o disposición final. Además, se deben separar los residuos duros, como semillas de aguacate y de jocote, al igual que los residuos de alta fibrosidad, como la fibra de coco y la caña, que se pueden utilizar como mulch. Posteriormente, los residuos se deben triturar o picar en trozos de 5 cm aproximadamente.

4.3.5.2. Elaboración

Los residuos ya picados se deben agrupar en un cúmulo de 1 m de altura, ya sea en forma de hilera o montículo, según su cantidad, en un espacio cementado y bajo techo. A estos se les agregará inóculo de MM, con el propósito de iniciar su descomposición, y una

capa de material secante para evitar una humedad muy alta en el material, la atracción de insectos y malos olores.

Se sugiere voltear la pila de residuos una vez por semana, así como medir la temperatura, pH y humedad mediante la prueba del puño, para definir la adición de inóculo de MM si está muy seco o material secante si está muy húmedo. Se debe llevar un registro de estos parámetros (ver el Apéndice 6 como guía). Cuando la temperatura del compost indique que este ha entrado en etapa de maduración (aproximadamente a las 8 semanas), se detendrá la adición de insumos y solo se mantendrá el volteo durante al menos un mes para garantizar la aireación del material. Posterior a esto, se puede almacenar en sacos y se dejará madurar durante al menos dos meses más antes de su uso. No se deben agregar residuos frescos a un montículo que ya inició su proceso de compostaje.

4.3.6. Evaluación del proceso

Por último, se sugiere realizar pruebas en laboratorio al primer lote ya maduro para verificar los niveles de nutrientes del producto obtenido. Si los resultados son adecuados respecto a los parámetros teóricos de compost urbano, se puede continuar con el mismo procedimiento. No obstante, si los resultados no son favorables, se debe revisar el cumplimiento de los pasos de forma correcta para determinar si hubo un error o si el proceso se debe modificar, para lo cual se recomienda la consulta a especialistas en compostaje.

Esta estrategia fue presentada y aprobada por los integrantes del Centro Agrícola Cantonal encargado de la administración de la Feria del Agricultor de Oreamuno, y por la alcaldía del cantón. En la Figura 4.23 se muestra un diagrama del proceso sugerido.

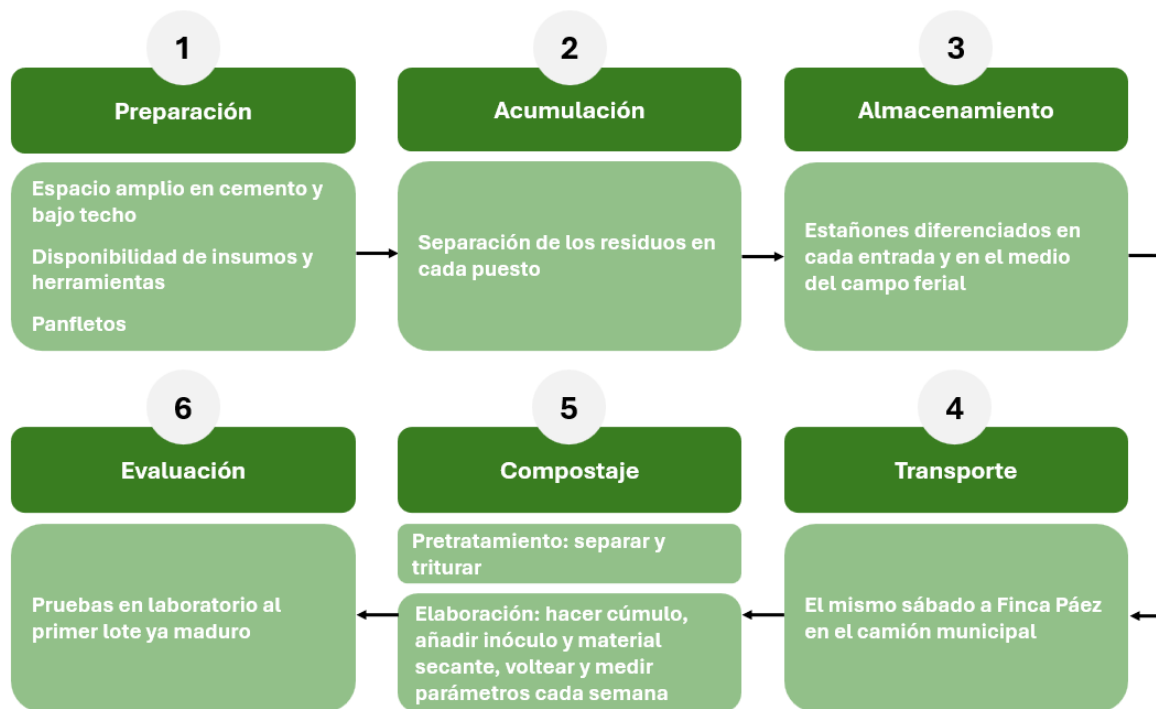


Figura 4.23. Estrategia de gestión de residuos orgánicos propuesta para la Feria del Agricultor de Oreamuno.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Del estudio se determinó que la mayoría de los residuos sólidos generados en la feria son consecuencia del acondicionamiento y descarte de los productos por vender, de modo que corresponden a desechos orgánicos compostables. Por otro lado, un 95.3% de los vendedores está dispuesto a separar los residuos para que estos sean compostados, y alrededor de un 50% ya los separa en bolsas, sacos o cajas que ellos mismos llevan, debido a que la municipalidad no les ha proveído contenedores oficiales para hacerlo.

Se recalca que un 49.6% de los encuestados ha sido capacitado sobre la separación de residuos sólidos. A pesar de haber un 50.4% que no ha sido capacitado en el tema, en las recolecciones realizadas se evidenció que todos los vendedores lo hicieron de forma adecuada, y que la mayoría de ellos no necesita más que una bolsa grande para almacenar los residuos que genera. Además, se proyectó una cantidad de 477.24 kg de residuos orgánicos por tratar cada semana.

Al comparar las técnicas de compostaje, se definió que el método con los mejores resultados para las condiciones actuales de la feria es el de montículos en Finca Páez, ya que posee los valores más adecuados para los parámetros de N, K₂O, NH₄⁺, NO₃⁻, pH y la relación C/N, siendo además un procedimiento simple de aprender y realizar. No obstante, la concentración de P₂O₅ no alcanza el valor promedio teórico y la humedad es mayor que el límite superior, lo cual se pudo deber a las condiciones de infraestructura bajo las que se encuentra el compost. También se recalca que los resultados de las concentraciones de nutrientes y otros parámetros pueden variar debido a las cantidades y tipos de residuos recolectados cada semana.

Asimismo, se destaca la satisfacción y disposición de los vendedores por el desarrollo del proyecto. Desde la primera visita, los agricultores fueron colaborativos e indicaron estar de acuerdo con la separación y recolección de los desechos orgánicos para que estos no sean enviados al relleno sanitario. Por último, se recalcan los esfuerzos de parte de la municipalidad y el CAC; sin embargo, también se evidencian puntos de mejora, como la colocación de contenedores para separar los residuos de forma adecuada en el campo ferial.

5.2. Recomendaciones

Ya que muchos agricultores no viven en el cantón de Oreamuno, se sugiere que las actividades necesarias para el seguimiento del proyecto tomen lugar en momentos y espacios favorables para ellos, con la finalidad de tener una participación adecuada de estos actores fundamentales. También se propone que el proceso de separación de residuos sea realizado por cada agricultor en sus respectivos puestos y en los estañones por colocar, y no por los colaboradores municipales al finalizar la feria. Asimismo, se recalca tomar en cuenta la proyección de residuos orgánicos que se dejan en el campo ferial cada semana, para la compra de los contenedores y las bolsas para el almacenamiento de los residuos en la feria.

De la misma forma, se recomienda el desarrollo de infraestructura que permita las condiciones adecuadas para la elaboración y almacenamiento del compost. Adicionalmente, se insta a llevar un control más estricto de los parámetros de calidad del producto, incluyendo la medición de pH, y crear un sistema de indicadores para visualizar posibles patrones a lo largo del año.

Igualmente, se invita a las autoridades a considerar un plan de bonificación o incentivos para motivar la participación en los procesos de separación de residuos y compostaje. Además, se recomienda desarrollar un plan de educación constante dirigido a los colaboradores municipales, vendedores y clientes de la feria, que integre la entrega de información, capacitaciones sobre la implementación de buenas prácticas, entre otras medidas. También se propone evaluar posibles opciones de negocios con los productos orgánicos usualmente recolectados como residuos, pero que aún tienen potencial para ser consumidos; por ejemplo, la elaboración de salsas a partir de tomates que se golpearon.

Por otro lado, se sugiere entablar conversaciones con el Equipo Técnico del I Plan Nacional de Compostaje para analizar el escalamiento del proyecto a otras municipalidades. Por último, se aconseja mantener una comunicación estrecha y clara entre la Municipalidad de Oreamuno, el Centro Agrícola Cantonal, el administrador de la feria del agricultor y los agricultores.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] X. Cao et al., “Municipal solid waste compost: Global trends and biogeochemical cycling,” *Soil & Environmental Health*, vol. 1, no. 4, pp. 2-14, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100038>
- [2] F. Nannoni, R. Santolini, y G. Protano, “Heavy element accumulation in Evernia prunastri lichen transplants around a municipal solid waste landfill in central Italy,” *Waste Management*, vol. 43, pp. 353-362, Jun. 2015, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.013>
- [3] Dirección de Cambio Climático, “Portafolio de Acciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a Escala Cantonal de Costa Rica. Tema: Gestión de los residuos,” Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica, 2021. [En línea]. Disponible: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/08/MRV-gestion-residuos.pdf>
- [4] Secretaría Técnica, “I Plan Nacional de Compostaje 2020-2050,” Consejo Nacional Ambiental, Costa Rica, 2020. [En línea]. Disponible: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2021/05/Plan-Nacional-de-Compostaje-2020-2050.pdf>
- [5] Objetivos de Desarrollo Sostenible en Costa Rica. “Objetivo 12.” Objetivos de Desarrollo Sostenible. Consultado: 1 Mar. 2024. [En línea]. Disponible: <https://ods.cr/es/objetivo/objetivo-12>
- [6] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (24 Jun. 2010). *Ley N° 8839, Gestión Integral de Residuos*. [En línea]. Disponible: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300
- [7] S. Kaza, L. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden, “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050,” Banco Mundial, Estados Unidos, 2018. [En línea]. Disponible: <https://hdl.handle.net/10986/30317>
- [8] M. Noufal, L. Yuanyuan, Z. Maalla y S. Adipah, “Determinants of Household Solid Waste Generation and Composition in Homs City, Syria,” *Journal of Environmental and Public Health*, vol. 2020, pp. 11-26, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/7460356>

- [9] M. Trejos, “Balance de Armonía con la Naturaleza 2019,” Estado de la Nación, Costa Rica, 2019. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.conare.ac.cr/server/api/core/bitstreams/b3c1fcc3-1740-4730-830c-f6049370ee6c/content>
- [10] K. Parvez y M.M. Ahammed, “Effect of composition on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid wastes: A review,” *Bioresource Technology Reports*, vol. 25, pp. 02-09, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101777>
- [11] A.U. Abidin, F.B. Maziya, S.H. Susetyo, M. Yoneda y Y. Matsui, “Heavy metal air pollution in an Indonesian landfill site: Characterization, sources, and health risk assessment for informal workers,” *Environmental Advances*, vol. 15, pp. 02-29, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2024.100512>
- [12] J.F. Artiola, “Industrial Waste and Municipal Solid Waste Treatment and Disposal,” en *Environmental and Pollution Science*, M.L. Brusseau, I.L. Pepper y C.P. Gerba, Eds., Arizona, Estados Unidos: Academic Press, 2019, pp. 377-391.
- [13] H.B. Atinkut, T. Yan, Y. Arega y M.H. Raza, “Farmers’ willingness-to-pay for eco-friendly agricultural waste management in Ethiopia: A contingent valuation,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 261, pp. 03-21, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121211>
- [14] A. Randazzo et al., “Volatile organic compounds (VOCs) in solid waste landfill cover soil: Chemical and isotopic composition vs. degradation processes,” *Science of The Total Environment*, vol. 726, pp. 04-08, Abr. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138326>
- [15] D. Huang et al., “Carbon and N conservation during composting: A review,” *Science of The Total Environment*, vol. 840, pp. 05-30, May. 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156355>
- [16] Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica. (18 Jul. 2006). *Ley N°8533, Regulación de las Ferias del Agricultor*. [En línea]. Disponible: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=57820&nValor3=63389

- [17] M. Toledo, J.A. Siles, M.C. Gutiérrez y M.A. Martín, “Monitoring of the composting process of different agroindustrial waste: Influence of the operational variables on the odorous impact,” *Waste Management*, vol. 76, pp. 03-31, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.042>
- [18] R. Cáceres, K. Malińska y O. Marfà, “Nitrification within composting: A review,” *Waste Management*, vol. 72, pp. 11-15, Nov. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.049>
- [19] M.S. Ayilara, O.S. Olanrewaju, O. Babalola y O. Odeyemi, “Waste Management through Composting: Challenges and Potentials,” *Sustainability*, vol. 12, no. 11, pp. 05-30, May. 2020, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/su12114456>
- [20] Z. Kong et al., “Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff,” *Journal of Environmental Management*, vol. 207, pp. 11-27, Nov. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.023>
- [21] F. Michel, T. O’neill y R. Rynk, “Contained and in-vessel composting methods and methods summary,” en *The Composting Handbook*, R. Rynk, Ed., Estados Unidos: Academic Press, 2022, pp. 271-305.
- [22] 360 Soluciones Verdes. “Compostera automatizada.” 360 Soluciones Verdes. Consultado: 17 Dic. 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.360-sv.com/compautomatizada>
- [23] G. Borrero González, comunicación personal, Oct. 2024.
- [24] J. Fuchs, “Guía para el compostaje de residuos orgánicos procedentes de la recolección municipal,” Swiss Resource Centre and Consultancies for Development, Pérez Zeledón, Costa Rica, 2022. [En línea]. Disponible: https://skat.ch/wp-content/uploads/2022/09/Composting-of-organic-waste_sp.pdf
- [25] P. Román, M.M. Martínez y A. Pantoja, “Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina,” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Santiago, Chile, 2013. [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/4/i3388s/i3388s.pdf>

- [26] R.N. Roy, A. Finck, G.J. Blair y H.L.S. Tandon, “Plant nutrition for food security,” Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, 2006. [En línea]. Disponible: https://www.fao.org/fileadmin/templates/soilbiodiversity/Downloadable_files/fpnb16.pdf
- [27] A. Comesaña, “Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico,” Tesis de Doctorado, Dep. Dis. Ing., Univ. de Vigo, Vigo, España, 2013. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/11093/203>
- [28] “Detalle de tarifas vigentes 2025,” Junta Administrativa del Servicio Eléctrico Municipal de Cartago, Cartago, Costa Rica, 2025. [En línea]. Disponible: <https://www.jasec.go.cr/wp-content/uploads/2021/04/TARIFAS-ELECTRICAS-2025.pdf>
- [29] M. Fehr, “Confirming decentralised composting as a definite option in urban waste management,” *International Journal of Environmental Technology and Management*, vol. 7, no. 3-4, pp. 274-285, Sep. 2007, doi: <https://doi.org/10.1504/IJETM.2007.015145>
- [30] M.J. Elizondo, “Suelos de Costa Rica. Orden Ultisol,” Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria, San José, Costa Rica, 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1604.PDF>
- [31] G. Soto y G. Meléndez, “Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos,” *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, no. 72, pp. 91-97, 2004. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5911/A1909e.pdf>
- [32] E. Campos, “Modelo de gestión para el compost doméstico en el cantón de Belén de Heredia,” Tesis de Licenciatura, Esc. Ing. Amb., Inst. Tec. de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 2022. [En línea]. Disponible: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14265/TF9433_BIB309294_Elena_Campos_Matarrita.pdf?sequence=1&isAllowed=y

APÉNDICES

APÉNDICE 1: ENCUESTA A 24 VENDEDORES DE LA FERIA DEL AGRICULTOR DE OREAMUNO

Factores que afectan el manejo de los residuos orgánicos generados en la Feria del Agricultor de Oreamuno

La siguiente encuesta se desarrolló con el objetivo de servir como herramienta para realizar una investigación de carácter académico del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esta tiene como fin identificar las prácticas de gestión de los residuos (desechos) generados en la Feria del Agricultor de Oreamuno. Las y los colaboradores de ella tienen un papel sumamente importante en el manejo de esos residuos, por lo que queremos hacerlos partícipes e invitarles a colaborar en esta encuesta, que, a su vez, dará a conocer al gobierno local los principales retos que afrontan y la posibilidad de dar propuestas de mejora para lograr la meta, a nivel país, de aumentar el porcentaje de tratamiento y contribuir con la reducción de la huella de carbono de esa actividad. Por esta razón, la información de ustedes es valiosísima y, además, de carácter confidencial, en caso de que así se solicite.

Información general

Nombre de la persona que responde	
Número de teléfono (optativo)	
Correo electrónico	
Tiempo de vender en la feria	

¿Autoriza colocar su nombre en el informe que se desarrollará a partir de esta encuesta?

Sí No

1. ¿Es usted productor? Sí No

2. Lugar de donde viene _____

3. ¿Quién es el administrador de la feria y qué hace? _____

4. ¿Quiénes son otros responsables de las actividades que se realizan en la feria?

5. ¿Sabe usted la cantidad de desechos que produce? (Una estimación que puede ser en bolsas, cajas, volumen, peso) _____

6. ¿Qué tipos de desechos produce?

Desechos de vegetales (verduras en mal estado, limpieza de repollo, brócoli, lechuga, maíz, entre otros) _____

Desechos de frutas (frutas en mal estado, limpieza de ellas, banano, pipas, mango, entre otros) _____

Desechos de material de empaque (bolsas plásticas, cartón, papel, cajitas de plástico, entre otras) _____

Desechos de botellas de plástico o de Tetrapak _____

Otros _____

7. ¿Por qué cree que se producen esos desechos? _____

8. ¿Qué hace con los productos que no vende? _____

9. ¿Tiene basureros en su puesto? Sí No Tipo en caso de tener _____

10. ¿Separa los desechos? Sí No ¿Por qué? _____

11. ¿Estaría dispuesto a separar sus residuos? Sí No ¿Por qué? _____

12. ¿La municipalidad le entrega recipientes para recolectar los residuos? Sí No

13. ¿Cuál es el periodo del año en el que se producen más residuos? _____

14. ¿Ustedes tienen que llevar los desechos a algún punto o se los recogen? _____

15. ¿Quiénes limpian después de que la feria termina y cómo lo hacen? _____

16. ¿Conoce los problemas que causa el desperdicio de alimentos? Sí No

17. ¿Cuáles problemas conoce? _____

18. ¿Qué hace con sus residuos?

Los regala. ¿A quién o para qué? _____

Se los lleva para la casa. ¿Qué hace con ellos? _____

Los deja en la feria para que se los recojan.

Otro _____

19. ¿Tiene interés en reducir la cantidad de residuos que produce? Sí No ¿Por qué?

20. Algún comentario adicional _____

APÉNDICE 2: PANFLETO INFORMATIVO SOBRE EL PROYECTO Y LA SEPARACIÓN ADECUADA DE RESIDUOS

Separación de residuos

Estimados señores y estimadas señoras:



Tecnológico de Costa Rica

La Municipalidad y el Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno siguen en su afán de dar una solución a los residuos de la feria, distinta que llevarlos al botadero de basura. Próximamente, se les entregarán dos bolsas de distinto color para separar los residuos en ordinarios y orgánicos. En las imágenes de abajo les indicamos los materiales a entregar en la bolsa de orgánicos. Los materiales plásticos, ya sean platos, tenedores, cucharas, vasos, pajillas, bolsas, entre otros, irán en la otra bolsa.

Cáscaras de frutas o de verduras		Residuos de comida sin incluir el plato, cucharas o materiales plásticos	
Hojas de repollo, lechuga, brócoli, coliflor, entre otros			Materiales de papel, flores, ramas, tallos y raíces
Verduras o frutas en mal estado			

Se realizará una rifa entre los y las vendedoras que separen bien los residuos, en presencia de todos y todas la siguiente semana a la que se recoja el material.

APÉNDICE 3: ENTREVISTA A 127 VENDEDORES DE LA FERIA DEL AGRICULTOR DE OREAMUNO

Visita a feria

La Municipalidad de Oreamuno y el Centro Agrícola Cantonal están buscando una solución para el manejo de los residuos de la feria, distinta que llevarlos al botadero de basura. Para esto, se está desarrollando un proyecto en conjunto con el TEC, en el cual es muy importante su participación. Próximamente, se le entregarán dos bolsas de basura de colores diferentes, para que por favor nos colabore separando los residuos que genere en su puesto durante la feria, en orgánicos y ordinarios. Entre las personas que separen correctamente los residuos, se rifarán tres premios. La siguiente encuesta se desarrolló con el objetivo de organizar la actividad, por lo que agradecemos mucho sus respuestas.

1. Nombre del vendedor

2. Número de puesto

3. ¿Ha sido capacitado sobre la gestión de residuos?

4. ¿Está dispuesto a separar los residuos para el proyecto?

5. ¿Qué residuos genera?

6. ¿Cuántos residuos genera?

7. ¿Asiste a la feria todos los sábados?

APÉNDICE 4: PANFLETO INFORMATIVO SOBRE LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS PARA LA RECOLECCIÓN

SEPARACIÓN DE RESIDUOS

Estimados señores y estimadas señoras:

La Municipalidad y el Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno, en conjunto con el TEC, siguen en su afán de dar una solución a los residuos de la feria, distinta que llevarlos al botadero de basura. Por esto, hoy les entregamos bolsas para que por favor coloquen los residuos ordinarios en la bolsa negra y los residuos orgánicos en la amarilla. En las imágenes de abajo les indicamos ejemplos de los materiales a entregar en cada bolsa. **Se realizará una rifa entre los y las vendedoras que separen bien los residuos, en presencia de todos y todas.**

ORDINARIOS



ORGÁNICOS



APÉNDICE 5: HOJA DE CONTROL PARA LA ENTREGA DE BOLSAS

Paula

Encuestador	Pasillo	Vendedor	Número de puesto	Tipo de residuos	Tamaño de bolsa	¿Hay que recoger los residuos en el puesto?
Paula		José Luis Mora	33	Piña, yuca, frutas malas	1 grande	
Paula		Cristian Moya	35	Cáscaras y bananos malos	1 pequeña	
Paula		José Miguel Serrano	36	Chiles, tomate, vainica mala	1 mediana	
Paula		Valentín Jiménez	37	Sobras de aguacate	1 grande	
Paula		Bertalía Solano Sánchez	62	Hojas de lechuga, tomillo, orégano	1 pequeña	
Paula		Pedro Montero	63	Papayas y otras frutas que se ponen malos	1 mediana	
Paula		Cristian Álvarez Chacón	65	Hojas de repollo, zanahorias y papas malas, tallos de zapallo	1 grande	
Paula	3	Ana Lía y Alex Ureña	164 y 165	Cáscaras y frutas malas	1 mediana	
Paula	3	Lesly Jiménez Ramírez	161	Cáscaras y plástico	2 grandes	
Paula	3	María Gómez	169	Hojas de lechuga y remolacha	1 grande	
Paula	3	Julio Cordero	156	Fresas malas, hojas de repollo	1 grande	
Paula	3	Hugo Guillén Calvo	154	Hojas y tomates	1 grande	
Paula	3	Mauricio Rojas Marín	153	Hojas de lechuga	1 grande	
Paula	3	José Miguel Sánchez	158	Residuos de remolacha y apio	1 mediana	
Melissa		Jorge Ramírez	Sin #	Únicamente orgánicos	2 grandes	
Melissa	3	María Gamboa Serrano	135	Orgánicos y plástico	1 pequeña	

APÉNDICE 6: HOJA DE SEGUIMIENTO PARA EL COMPOSTAJE EN HILERA

Proyecto de Residuos Orgánicos en la Feria del Agricultor de Oreamuno

Hoja de seguimiento para el compostaje en hilera

Composición de la hilera

Altura: 30 cm (inicial), 80 cm (17/10)

Largo: 330 cm

Ancho: 115 cm

Material inicial total: 313.19 kg

Control del proceso

Fecha	T antes del volteo (°C)	T después del volteo (°C)	pH	Humedad	Observaciones
12/10					Se elaboró la hilera con las siguientes medidas: 30 cm de altura, 330 cm de largo y 115 cm de ancho.
14/10					Se agregó un saco de compost del MADI como inicio del inóculo para el compostaje. No obstante, es un compost viejo, por lo cual puede no ser eficiente.
16/10					Visita al INA en Esc. De agricultura orgánica y nos atendió Gina Borrero, especialista en compostaje. Nos entregó inóculo anaeróbico y aeróbico. El inóculo de aproximadamente 5 kg se mojó en un estafón de XXX galones o XX litros, junto con 1 galón de melaza y se llenó de agua. Se sumergió el inóculo a manera de bolsa de té y se dejó activar hasta que se observe el crecimiento de levaduras y con esto se rociará cada vez que se necesite agregar humedad.
17/10	32	28			Se tomó la temperatura con la hilera construida inicialmente Posteriormente, agregamos capa de inóculo seco (XXX), capa de boñiga y aserrín, y finalmente chips de madera para secar. La hilera se convirtió en una de menor tamaño, con altura de aproximadamente 80 cm.
22/10	46	50			
23/10	58	38			Se tomó la temperatura antes del volteo. Luego, se extendió el compost y se le agregó MM anaeróbico activo y chips de madera para secar. Se volvió a colocar el compost a modo de cúmulo, alcanzando una altura aproximada de 1 metro. Por último, el cúmulo se cubrió con chips de madera.
26/10	61				Solo se midió temperatura. No se volteó el compostaje.
28/10	56			Bien	Solo se midió temperatura. No se volteó el compostaje.
30/10	51	34		Bien	Antes del volteo T 51 Celsius, se volteó y quedó en 34 Celsius. Además, se hizo la prueba de humedad con la mano y se determinó que estaba en estado óptimo.