

SEDE CENTRAL

LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN SALUD OCUPACIONAL Y

AMBIENTE

Diseño de propuesta para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables en los residenciales registrados en la Municipalidad de Esparza, a partir de las pruebas realizadas en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael

Sustentantes:

Eder Méndez Campos 115840659

Raquel Salas Chaves 603810454

Proyecto de Graduación sometido ante el Tribunal Examinador de la UTN sede Central, para optar al grado de Licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente

Noviembre, 2021

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mis padres, quienes han dado todo el esfuerzo por mi crecimiento; y a mis hermanos, que me han apoyado.

Eder Méndez Campos

Dedico este proyecto de graduación a mi hija, Amelie Raquel Bonilla Salas, pues fue la personita a la que le quité tiempo para poder cursar la licenciatura. Te amo, princesa.

Raquel Salas Chaves

Agradecimiento

Gracias a Dios, por poner la lámpara que ha alumbrado mi camino para seguir adelante.

Gracias al tutor Javier Chacón Barrantes, por sus amables orientaciones durante el desarrollo del proyecto y su tiempo para revisión de cada uno de los avances.

Gracias a mis padres, quienes han sido base fundamental de mi vida.

Eder Méndez Campos

Gracias a Dios, por permitirme cumplir cada una de las metas que me he propuesto.

Gracias al tutor Javier Chacón Barrantes, por sus aportes y tiempo dedicado a la revisión y orientación de nuestro proyecto de graduación.

Gracias a mi esposo, a mi hija y a mis padres, por todo su apoyo.

Raquel Salas Chaves

Tabla de Contenidos

Resumen	7
Tabla 1. Acrónimos	9
Capítulo 1. Introducción	10
Área de estudio del problema y justificación	11
1.1 Definición y delimitación del problema (Planteamiento del problema)	11
Figura 1. Jerarquía en el Manejo de los Residuos	14
1.2 Justificación	14
1.3 Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
1.4 Estado del Arte	16
Capítulo 2. Fundamento Teórico	21
Tabla 2. Categoría Residuos Orgánicos Biodegradables	22
Tabla 3. Composición final residuos según procedencia	23
Tabla 4. Separación de residuos por categoría principal y subcategoría	24
Tabla 5. Disposición Final de Residuos Esparza	31
Gráfico 1. Comparación de población de Esparza	32
Figura 2. Evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración	38
Tabla 6. Parámetros de temperatura óptimos	39

Tabla 7. Parámetros de pH óptimos	39
Figura 3. Tipos de Recipientes usados como Compostera Recipientes usados como Compostera	41
Figura 4. Compostaje final	45
Figura 5. Flujo Operacional del Método de Compostaje Takakura	46
Capítulo 3. Marco Metodológico	49
3.1 Tipo de Investigación	49
3.3 Diseño de la Investigación	50
3.4 Población en estudio	50
3.5 Sujetos y fuente de investigación	51
Figura 6. Ubicación del condominio La Mallorca, Esparza	51
3.6 Instrumentos y Técnicas de Recolección	52
3.7 Operación de Variable	53
Tabla 8. Variable de investigación acorde a cada objetivo específico	53
Capítulo 4. Descripción del Caso	55
Tabla 9. Tipos de residuos y cantidad generada	58
Tabla 10. Generación de Residuos Orgánicos Biodegradables en el condominio La Mallorca con población de 30 familias	61
Figuras 7, 8 y 9. Recolección de Residuos Orgánicos Biodegradables	61
Figuras 10 y 11. Revisión del Centro de Acopio Comunitario	62

Capítulo 5. Selección del Método de Valorización	62
Figuras 12 y 13. Revisión del Centro de Acopio Comunitario	63
Tabla 11. Selección método de compostaje	64
Figuras 14 y 15. Revisión del Centro de Acopio Comunitario	68
Figura 16. Revisión de Temperatura del Compostaje Takakura	69
Figura 17. Mezcla del Compostaje Takakura	70
Figura 18. Compostaje Desintegrado Takakura	70
Capítulo 6. Resultados de la factibilidad del Método de Compostaje Takakura	72
Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones	77
Referencias Bibliografía	81
Apéndice 1. Procedimiento Operacional Diseño de Plan de Compostaje Takakura para las Comunidades y Residenciales.	87
Apéndice 2. Diagrama de Causa – Efecto	103
Apéndice 3. Cuestionario de Salida. Prueba de Compostaje del Método Takakura	55
Anexo 1. Carta de Aceptación de la Organización para el Proyecto de Graduación	56

Resumen

Según la Ley de Gestión Integral de Residuos N° 8839, los municipios deben valorizar y gestionar apropiadamente los residuos sólidos. Sin embargo, el punto más débil ha sido la gestión de los residuos orgánicos biodegradables, constituidos por la mayoría que se descartan en las viviendas y centros de comercio. La Municipalidad de Esparza no ha sido la excepción a esta problemática, pues diariamente traslada al relleno sanitario más cercano, una importante cantidad de dichos residuos orgánicos biodegradables, mezclados en la basura (Tecnoambiente). La municipalidad paga anualmente para la gestión de grandes cantidades de residuos ordinarios, incluyendo los orgánicos biodegradables, que representan cerca del 44% de los residuos que llevan al relleno sanitario.

Debido a esto, surge la necesidad, a nivel municipal, de iniciar con pruebas para establecer un método de compostaje que se pueda replicar en las residencias del cantón, de modo que la cantidad de residuos sólidos llevados al relleno sanitario sea cada vez menor; esto implicará un aprovechamiento óptimo de los recursos, con el apoyo en las diversas familias del cantón. Por otra parte, se busca la valorización de los residuos biodegradables en cumplimiento de la jerarquía de gestión de la Ley Integral de Gestión de Residuos N°8839.

El presente proyecto tiene como tema el diseño de propuesta para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables en barrios, residenciales y urbanizaciones que le pertenecen a la Municipalidad de Esparza.

Se realizaron pruebas a partir de los residuos orgánicos biodegradables generados en el condominio La Mallorquina, del distrito de San Rafael de Esparza, pues actualmente el municipio asume retos ambientales y uno de ellos es el aprovechamiento de los residuos, para que estos puedan ser tratados de una manera eficiente y se produzca el menor impacto

ambiental. Con apoyo de la Municipalidad de Esparza se logra trabajar con uno de los condominios del cantón donde se recolecta, caracteriza, pesa y prueba el compostaje con el método Takakura y con orientación de las indicaciones de la Ley N° 8839 de Gestión Integral de Residuos. Se realiza la caracterización de los residuos y se trabaja con un grupo de familias del condominio La Mallorquina, dispuestas a colaborar y a contribuir con el ambiente.

Se realizan las pruebas con el método Takakura a los residuos del condominio La Mallorquina; se confecciona un procedimiento paso a paso para la implementación del método de compostaje y se facilitan al municipio los resultados del proceso. Se identifica en el condominio organización comunal para atacar la problemática con los residuos orgánicos biodegradables, lo cual permite desarrollar el método de compostaje Takakura con los residuos generados durante dos semanas.

Se logra desarrollar una propuesta para la Municipalidad de Esparza. Esta podrá solicitar, por medio de los permisos de construcción en los residenciales y condominios, la instalación de un centro para el desarrollo de compostaje comunitario y así evitar que todos estos residuos orgánicos biodegradables sean enviados al relleno sanitario, donde terminan afectando el medio ambiente.

Tabla 1. Acrónimos

CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
GEI	Gases de efecto invernadero
GIR	Gestión Integral de Residuos
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
kg	Kilogramo
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Actions
ONG	Organización no gubernamental
pH	Potencial de hidrógeno
UCR	Universidad de Costa Rica
UNA	Universidad Nacional

Fuente: Elaboración propia

Capítulo 1. Introducción

A nivel nacional se debe mejorar el aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables. De acuerdo con la Ley de Gestión integral de Residuos, son los gobiernos locales quienes deben impulsar campañas de aprovechamiento diverso, en todos los tipos de residuos generados principalmente en los hogares costarricenses. Esta problemática afecta al medio ambiente y aumenta cada vez más los gastos operativos de los distintos municipios, por la cantidad de residuos ordinarios dispuestos en los rellenos sanitarios.

Sobre gestión integral de residuos, las municipalidades serán responsables de la gestión integral de los residuos generados en su cantón; para ello deberán: dictar los reglamentos en el cantón para la clasificación, recolección selectiva y disposición final de residuos, promover la creación de una unidad de gestión ambiental, bajo cuya responsabilidad se encuentre el proceso de la gestión integral de residuos, con su respectivo presupuesto y personal, garantizar que en su territorio se provea del servicio de recolección de residuos en forma selectiva, accesible, periódica y eficiente para todos los habitantes, así como de centros de recuperación de materiales (Ley 8839, 2010, p.9)

Por lo anterior y debido a la jerarquización en la gestión integral de residuos, las municipalidades, en cuenta el municipio de Esparza, deben valorizar los residuos orgánicos biodegradables y no enviarlos al relleno sanitario. Al ser recolectados pueden y deben ser aprovechados, ya sea por un tercero o por la propia municipalidad, como abono orgánico para el mantenimiento de parques recreativos entre otros; aparte de ello, actualmente la institución incurre en altos costos operativos, derivados de su recolección y disposición final en el relleno sanitario.

De acuerdo con el Estudio de caracterización de los residuos sólidos del cantón de Esparza (2018), “por día se envían en promedio 25 toneladas de residuos ordinarios al relleno sanitario, de los cuales el 41.89% son residuos orgánicos biodegradables” (p.14).

Con este trabajo se busca establecer un plan de acción modelo para la municipalidad del cantón de Esparza. Lo anterior, con el fin de lograr que los residuos orgánicos biodegradables puedan ser valorizados, se minimicen los impactos ambientales negativos que puedan generar estos residuos si se continúan disponiendo en un relleno sanitario y de esta manera, cumplir lo estipulado en la Ley de Gestión Integral de Residuos, relativo a la jerarquía en el manejo de residuos.

El plan de acción será realizado en un residencial, considerando la dificultad de ejecutar un abordaje total del cantón; la idea es que la municipalidad tome este proyecto como un piloto de abordaje para que pueda ser replicado e ir aumentando la cobertura poco a poco, hasta aumentar los porcentajes de residuos orgánicos biodegradables que se valorizan y disminuir los que van a un relleno sanitario.

Área de estudio del problema y justificación

1.1 Definición y delimitación del problema (Planteamiento del problema)

Esparza es el cantón número 2 de la provincia de Puntarenas, el cual contiene 6 distritos y un área de 216.8 km². La municipalidad tiene sus propias cuadrillas de recolección de residuos sólidos; trabajan 3 cuadrillas. Los residuos recolectados son trasladados al relleno sanitario Tecnoambiente, ubicado en Miramar, Puntarenas. Este servicio tiene una cobertura del 95% de la población del cantón de Esparza, de acuerdo con los datos suministrados por la municipalidad y el 5% de la población restante no goza del servicio, por la lejanía de los lugares con respecto al centro del cantón. Según los estudios actuales, no es rentable el servicio público por la cantidad de familias contribuyentes que residen en las zonas alejadas.

El Estudio de caracterización de los residuos sólidos del cantón de Esparza (2018, p.14), señala que por día se envían, en promedio, llegan 25 toneladas de residuos ordinarios al relleno sanitario, de los cuales el 41.89% corresponde a residuos orgánicos biodegradables.

Lo anterior, hace evidente que la problemática en la gestión de los residuos del cantón corresponde a los residuos orgánicos biodegradables, pues representan la mayor cantidad de estos y, por su naturaleza, generan lixiviados y olores. Además, pueden provocar problemas de salud a sus habitantes. En consecuencia, la institución podría disminuir los eventuales altos costos operativos, con la valorización de estos residuos y generación de abono orgánico.

Asimismo, se presenta un incumplimiento del artículo 4 de la Ley de Gestión Integral de Residuos 8839 (jerarquía de la gestión) por la disposición final de residuos con potencial de valorización, como el caso de los biodegradables. Incluso, se podría utilizar como abono orgánico en las cosechas de cultivos del cantón, como el aguacate, mango y otros.

Se ha comprobado también que muchos centros urbanísticos en el mundo presentan la misma problemática en la gestión de los residuos orgánicos. Lo anterior, debido a la incorrecta disposición de los residuos sólidos a través de los años, el aumento de los procesos industriales y los hábitos de consumo de los individuos.

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque cada vez son más, asunto asociado al incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos.

(Jaramillo y Zapata, 2008, p.20)

Por tanto, es conveniente realizar el estudio porque la municipalidad no cuenta con programas para valorización de residuos orgánicos biodegradables, lo que actualmente genera un impacto ambiental, social y de salud pública, además de un alto costo operativo;

además, existe una población cada vez más exigente con el deseo contribuir al ambiente. Por lo anterior, se requiere de más apoyo por parte del gobierno local para ayudar en la adecuada disposición de los residuos.

La situación actual, en relación con la inexistencia de programas para valorización de residuos orgánicos biodegradables en la Municipalidad de Esparza, representa un incumplimiento a la gestión de la jerarquía de los residuos orgánicos, mencionada en la Ley de Gestión Integral de Residuos 8839, en su artículo 4. Obsérvese:

Jerarquización en la gestión integral de residuos, la cual las municipalidades deben de ejecutar esfuerzos para disminuir la disposición final de cualquier tipo de residuos a un relleno sanitarios, gestionándolo a otras alternativas como: reducir al máximo la generación de residuos en su origen, reutilizar los residuos generados ya sea en la misma cadena de producción o en otros procesos, valorizar los residuos por medio del reciclaje, el coprocesamiento, el reensamble u otro procedimiento técnico que permita la recuperación del material y su aprovechamiento energético. Se debe dar prioridad a la recuperación de los materiales sobre el aprovechamiento energético, según criterios de técnicos, tratar los residuos generados, antes de enviarlos a disposición final y disponer la menor cantidad de residuos, de manera sanitaria, así como ecológicamente adecuada (Ley 8839, 2010, pp. 3-4).

Es importante considerar que las municipalidades del Costa Rica y sus habitantes deben adoptar las buenas prácticas la pirámide de jerarquización de los residuos que detalla la ley para la Gestión Integral de Residuos 8839, pues cada una de las etapas, al ir de menos a más, reduce el impacto ambiental. Dichas actividades se realizan paulatinamente, empezando por la primera experiencia del presente proyecto; se busca que la municipalidad opte por las buenas prácticas que se implementarán en el condominio La Mallorca y así expandir este

proceso a otras localidades. El cumplimiento, eventualmente, escalará en la jerarquía de la gestión para los residuos orgánicos biodegradables (subiendo desde la disposición final hacia el valorizar).

Figura 1. Jerarquía en el manejo de los residuos



Fuente: Ley para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021.

1.2 Justificación

La jerarquía de la gestión para los residuos orgánicos biodegradables actualmente se incumple, pues un residuo con potencial de valorización se está disponiendo en relleno sanitario en su totalidad. Estos residuos representan grandes cantidades y un alto impacto ambiental; por tal razón, se pretende validar la factibilidad de la valorización de tales residuos orgánicos biodegradables, a través de un proyecto piloto en el condominio La Mallorquina, ubicado en el distrito de San Rafael de Esparza. Se busca generar una herramienta metodológica para la Municipalidad de Esparza, la cual pueda ser replicada en otros poblados; con esto, además del cumplimiento con la jerarquía de la gestión, se logran beneficios ambientales, e incluso, una eventual incursión de economías circulares.

Este proyecto aporta a la disminución del impacto ambiental generado por los residuos orgánicos biodegradables y también evita el inadecuado manejo de estos, de forma que no

puedan impactar a la salud humana, el agua, el suelo y el aire. El presente trabajo es un inicio para la ejecución de la propuesta de la gestión de residuos orgánicos en esta comunidad y hasta otras áreas urbanas de Esparza; el objetivo es “promover la gestión integral de residuos en el ámbito municipal y local, fomentando las soluciones regionales” (Ley 8839, 2010, p.2).

Se deben brindar soluciones oportunas a la problemática de la investigación, pues se sabe que estos materiales son aprovechables en diferentes alternativas sostenibles, para evitar su constitución en contaminantes y generadores de problemas en un relleno sanitario. Además, una vez implementada esta propuesta en el condominio La Mallorquina, se ejecutará la misma gestión en otras áreas, incluso la comercial; en un mediano plazo se podrá reducir el porcentaje de generación de residuos, lo cual significaría disminución de los costos operativos y recuperar la inversión por parte de la Municipalidad de Esparza. A las familias del condominio La Mallorquina se les darán a conocer las distintas formas de aprovechar sus residuos orgánicos biodegradables y se les sensibilizará respecto del beneficio que obtendrá el ambiente con esta nueva práctica.

1.3 Objetivos

Objetivo General:

Diseñar una propuesta para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables en los residenciales registrados en la Municipalidad de Esparza, a partir de las pruebas realizadas en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael.

Objetivos Específicos:

1. Diagnosticar la situación actual de los residuos orgánicos biodegradables en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.
2. Seleccionar un método para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.

3. Ejecutar el plan de acción de mejora para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables del condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.

4. Analizar los resultados del plan de acción implementado y plantear un procedimiento operacional de implementación para la Municipalidad de Esparza.

1.4 Estado del Arte

Nuestro país cuenta con la Ley 8839, cuyo objeto es regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación. Además, “esta ley es de cumplimiento obligatorio para todas las personas, físicas o jurídicas, públicas o privadas, generadoras de residuos de toda clase, salvo aquellos que se regulan por legislación especial” (Ley 8839,2010, p.1y3).

El Ministerio Ambiente, Energía y Telecomunicaciones es el encargado de fiscalizar el cumplimiento de la Ley orgánica del ambiente. Esta ley indica la obligación de evitar contaminación del suelo por manejo inadecuado de desechos. Obsérvese: “Estableciendo que, para prevenir y controlar la contaminación del ambiente, el estado, las municipalidades y las demás instituciones públicas, darán prioridad, entre otros, al establecimiento y operación de servicios adecuados en áreas fundamentales para la salud ambiental” (Ley 7554, 1995, p.19).

Por ley, en el caso de Suecia, deben existir estaciones de reciclaje en cada zona residencial, pues la mayoría de los suecos separan todos los residuos reciclables en sus casas y los depositan en contenedores especiales en sus viviendas, que luego se llevan a estas estaciones de reciclaje. Estos residuos son aprovechados en la industria como material combustible y los residuos orgánicos se reutilizan, reciclan o son usados como abono.

Fernández (2016) afirma:

Cebú (Filipinas). Tras Manila, con casi un millón de habitantes, Cebú es el centro económico más importante del país asiático. En 2005 diseñó un plan de gestión sostenible de residuos junto al sector privado y ONG locales, con separación de residuos biodegradables, reciclables y orgánicos en origen, campañas de educación ambiental, voluntarios o un sistema de multas e incentivos, que ha reducido la basura un 30% en 2012 y generado unos 200 empleos verdes.

Daca (Bangladés). Es una de las ciudades más pobladas del mundo, con sus más de 14 millones de habitantes. Ante la acumulación de basura en la calle, activistas de la sociedad civil comenzaron exitosas campañas de recogida, apoyadas después por instituciones y agencias internacionales de desarrollo que se han replicado en otras partes de Asia. Entre ellas destaca un sistema puerta a puerta en hogares y mercados de verduras para su posterior compostaje.

Malmö (Suecia). Ha integrado un "modelo de eco-ciclo" que incluye separación en origen, instalaciones que generan energía de la basura, reutilización, reciclaje y compostaje a partir de restos de comida y jardín. Gracias a ello los residuos que llegan al vertedero han pasado del 22% en 2001 al 0,7% en 2013; se cubre el 60% de las necesidades de calefacción de Malmö y el área de Burlöv, evitando combustibles fósiles; y se producen 25.000 toneladas anuales de biofertilizante, 10.000 toneladas de compost, biogás equivalente a dos millones de litros de gasolina y varios metales, incluidos preciosos.

Milán (Italia). Con 1.300.000 habitantes, es la primera ciudad de Europa con un sistema intensivo de separación en origen de residuos orgánicos, que supone hasta el 30% del total. Tras implantarse en

2012, a mediados de 2014 se había extendido a toda la población, con beneficios ya visibles: se recogen unos 91 kilos de residuos orgánicos per cápita al año y se recuperan vía compostaje y/o digestión anaeróbica 120.000 toneladas (un 18% del total de la basura generada) anuales que ya no van a vertederos, además de que se reducen emisiones de GEI. Singapur (Asia). Esta ciudad-estado de 5,5 millones de habitantes ha pasado de tirar la basura en los pantanos, en la década de los 60 del siglo pasado, al actual plan de gestión centrado en la idea de que los residuos son recursos. Para ello se utilizan el aprovechamiento de la basura como energía (proporciona el 3% de la electricidad de la urbe), la recogida puerta a puerta y diversos programas de educación ambiental o de reducción de residuos de envases (p.1).

A ese mismo respecto: “En Costa Rica se reconoce el trabajo de la valorización de residuos biodegradables las municipalidades de Jiménez en el distrito primero Juan Viñas y San Rafael de Heredia” (Chacón, 2018). Desde 2006, en Juan Viñas y Pejibaye comenzó a implementarse el programa de reciclaje que se convertiría en el mejor de Costa Rica. Al principio, el cantón no tenía dónde tirar sus desechos; no había cultura de separación en las viviendas y la producción de composta a partir de desechos biodegradables era muy lenta. En el año 2010, la Universidad de Costa Rica comenzó a colaborar con autoridades y vecinos de Jiménez a través del proyecto «Manejo Ecológico de Desechos Sólidos».

Rueda (2014, s.p.) afirma que el cantón de San Rafael de Heredia, de acuerdo con datos del Ministerio de Salud, es el número uno a nivel nacional en manejo de residuos sólidos y sirve como ejemplo para que otras comunidades implementen el plan. Rudín, Soto & Linnenberg (2019), plantean que “tiene 3 años de haber iniciado el tratamiento de los residuos

orgánicos municipales” (p.31). El primer informe sobre la Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos señala que en Costa Rica se recolectan 700 kilos por semana, de 250 viviendas y se reciben todo tipo de residuos orgánicos, menos carnes y huesos crudos. Afirma que el producto es 95% puro y han comprobado su calidad con exámenes de laboratorio y de emisiones. Lo venden o lo utilizan en campañas de reforestación. Rueda (2014, s.p.) afirma que la municipalidad de San Rafael de Heredia vende la mitad de los desechos recolectados cada mes y el centro de acopio procesa 60 toneladas de residuos valorizables cada mes.

Por otra parte, la Municipalidad de San José, en febrero 2021, inició talleres virtuales sobre la creación de huertas domiciliarias, aprovechando los residuos orgánicos biodegradables generados en el hogar; esto genera una economía circular donde los alimentos que se compran se consumen y lo que queda se aprovecha como base para hacer una caja compost con el método Takakura y la creación de huertas domiciliarias. Por medio de la plataforma de Facebook, han logrado que muchas familias conozcan del método de la forma práctica y gratis; así mismo, la Municipalidad de Curridabat, en enero 2021, por medio de sus redes sociales, promocionó sus cursos para que los contribuyentes del cantón se motiven a aprender sobre el método Takakura, para hacer compostaje en espacios pequeños.

También, otro municipio ejemplar en la valorización de los residuos orgánicos biodegradables está en el cantón de Jiménez. Obsérvese:

Este municipio cuenta con una finca ubicada de en el Colegio Técnico Hernán Vargas, para lo cual tienen un convenio para el uso del terreno entre ambas instituciones. La extensión de la compostera es de 544 m² y se procesan aproximadamente 45 toneladas por mes; se vende por saco a 1.500 a 1.800 colones. (Rudín et al., 2019, p.29)

Lo anterior señala casos de eventos en donde diferentes municipios ejecutan buenas prácticas para la gestión de residuos orgánicos biodegradables, lo cuales son proyectos exitosos que contribuyen al ambiente. Se considera oportuno aplicar soluciones ambientales en el cantón de Esparza, mediante la colaboración de las familias del condominio La Mallorquina, como un plan de acción de mejora ante la problemática y replicar esta labor en otras localidades del cantón, así como en zonas comerciales, en un mediano a largo plazo; además, contribuye con la Municipalidad en la gestión de residuos y en sus costos operacionales.

En Bandung, Indonesia, la mejora del centro de compostaje fue parte de la “Gestión de residuos”, proyecto de apoyo hacia una sociedad de reciclaje de recursos sostenibles, como colaboración entre la ciudad de Kawasaki y la de Bandung, financiado por Japón; este proyecto perteneció a la Agencia de Cooperación Internacional (JICA). (K. Hibino et al., 2020, p.1).

Durante los años 2017-2020 se utilizó el método de compostaje Takakura y los detalles técnicos. K. Hibino et al (2020) afirman: “El Dr. Koji Takakura, el inventor del método brindó orientación a través de múltiples coaching y talleres” (p.1).

Capítulo 2. Fundamento Teórico

Los residuos sólidos han ocasionado una problemática a nivel mundial, ha impactado los ecosistemas y agotado los suelos destinados para rellenos sanitarios. La Ley de Gestión Integral de Residuos define el residuo como: “material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él, y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” (Ley 8839, 2010, p.6). La definición de residuo corresponde a un elemento que perdió un valor y puede aprovecharse en un producto transformado que se reincorpora al ciclo económico con valor comercial.

También, el proyecto de Ley Marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Producto (2013), define *residuo* como: “Sustancia u objeto que su poseedor desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo con la normativa vigente” (p.17).

Existen diferentes maneras de clasificar residuos: por su naturaleza, orgánico e inorgánico, reciclable no reciclable. Para efectos de este proyecto se clasifican los residuos como ordinarios, peligrosos y especiales, de acuerdo con la Ley 8839 de Gestión Integral de Residuos.

La Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios (2012), señala que “los residuos orgánicos biodegradables se separan por categoría principal y subcategoría” (p.37).

Tabla 2. Categoría residuos orgánicos biodegradables

Categoría principal (obligatorias)	Sub-categoría (voluntarias)	Descripción
Biodegradable	Cáscaras de frutas, legumbres etc.	Se hace la separación para contar con datos para la elaboración de composta. Madera proveniente del jardín
	Jardín	
	Otros	

Fuente: Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios 2012.

De acuerdo con el estudio de caracterización (2018), del cantón de Esparza, se puede observar que los residuos orgánicos biodegradables ocupan el mayor porcentaje de generación, a nivel de todos los residuos recolectados semanal, mensual y anualmente.

Tabla 3. Composición final residuos según procedencia

Composición final de residuos según procedencia (Esparza, 2018)		
Tipo de material	Comercio	Viviendas
Biodegradable	26,82	41,89
Papel	6,46	2,47
Cartón	18,54	2,8
PET	3,70	2,04
Bolsas plásticas	6,70	8,64
HDPE	0,99	1,42
Otros plásticos	5,23	2,91
Vidrio	0,16	2,28
Aluminio	1,18	0,82
Metales	0,82	2,89
Textiles	0,82	3,27
Poli-laminados	2,49	1,97
Peligrosos	0,73	1,11
Eléctrico/electrónicos	0,55	0,64
Higiénicos	3,33	9,94
Estereofón	1,55	1,15
Otros	19,92	13,76
Totales:	100 %	100%

Fuente: Estudio de caracterización de residuos sólidos (Esparza, 2018).

2.1 Clasificación de Residuos

Actualmente los residuos sólidos se conocen como desechos; sin embargo, este término no es el apropiado, pues los residuos son aquellos materiales con un valor intrínseco que debe ser aprovechado; por tanto, un residuo debe ser valorizado. De acuerdo con el tipo de residuos habrá diferentes mecanismos de procesamiento requeridos para ello. Por el contrario, los desechos son aquellos objetos que han perdido su vida útil total y no se pueden valorizar o recuperar. A continuación, se definirán los términos de la clasificación de los residuos.

La Ley 8839 (2010), define el residuo como “material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él y que puede o debe ser

valorizado o tratado responsablemente o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” (Art, 06).

Los residuos se clasifican de diferentes maneras, de acuerdo con su naturaleza y otras características. Pillado (2020) señala que “según la ley de cualquier país, hace referencia a cualquier material que es considerado desecho y que es necesario eliminar. Esta eliminación tiene como objetivo evitar problemas sanitarios o medioambientales, entre otros”. Sin embargo, a continuación, se presenta la clasificación con base en la ley GIR.

La Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios (2012), señala que “los residuos se separan por categoría principal y subcategoría” (p.37 y 38).

Tabla 4. Separación de residuos por categoría principal y subcategoría

Categoría principal (obligatorias)	Sub-categoría (voluntarias)	Descripción
Biodegradable	Cáscaras de frutas, legumbres etc.	Se hace la separación para contar con datos para la elaboración de composta. Madera proveniente del jardín
	Jardín	
	Otros	
Papel/Cartón	Papel blanco y de color	Papel blanco, de color, periódico, cartón liso y corrugado, papel china, papel de regalo, etc
	Periódico	
	Cartón	
	Cartoncillo	
	Otros Papeles	

Plástico	PET	Envases, bolsas, elementos elaborados en plástico, recipientes.
	HDPE	
	LDPE	
	Otros Plásticos	
Metales	Aluminio	Aluminio, latas de alimentos, trozos de varillas, alambres, chatarra en general
	Ferroso	
	No Ferrosos	
Textiles	Textiles	Retazos de tela y cuero, piezas de ropa, bolsos, zapatos de cuero, hule en general
Polilaminados (tetras)	Polilaminados	Envases tetrabrik
Peligrosos generados en el hogar	Peligrosos	Baterías secas, restos de medicamentos, envases de productos de limpieza, envases de pintura, cartuchos y tóner de impresora, envases de lubricantes, insecticidas, bombillos.
Eléctricos y electrónicos	Eléctricos y electrónicos	Monitores, pantallas planas, computadoras, baterías de computadoras, celulares o UPS, cargadores, escáner, teléfonos celulares, impresoras, cámaras fotográficas, calculadoras, y otros similares.
Otros componentes	Otros	Material fino como polvo de barrido, residuos sanitarios (papel higiénico, pañales), inertes, escombros, madera, empaques metalizados, estereofón, residuos voluminosos.

Fuente: Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios 2012.

2.1.1 Residuos ordinarios: La Ley de Gestión Integral de Residuos señala que los residuos ordinarios corresponden a los de carácter doméstico, generados en viviendas y en cualquier otra fuente y presentan composiciones similares a los hogares. De estos residuos ordinarios

se excluyen los residuos de manejo especial o peligroso (Ley 8839). Dentro de los residuos ordinarios se incluyen los residuos orgánicos biodegradables.

2.1.2 Residuos Peligroso: El artículo 3 del Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos define los residuos peligrosos como aquellos que, por su reactividad química y sus características tóxicas, explosivas, corrosivas, radioactivas, biológicas, bioinfecciosas e inflamables, ecotóxicas, o de persistencia ambiental, o por su tiempo de exposición, puedan causar daños a la salud o al ambiente.

2.1.3 Residuos Especiales: El artículo 3 del Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial, define el desecho especial como aquel residuo que, por su composición, necesidades de transporte, condiciones de almacenaje, volumen de generación, formas de uso o valor de recuperación, o por una combinación de esos, implica riesgos significativos a la salud y degradación sistemática de la calidad del ecosistema, o bien, beneficios por la reducción de impactos ambientales a través de su valorización, por lo que requiere salir de la corriente normal de residuos (Reglamento 38272-S).

2.2 Materia Biodegradable

Se define como el grado de eficacia de un producto para ser degradado por diferentes microorganismos en el ambiente, como bacterias, hongos, protozoarios o algas. Este proceso puede tardar horas, días o incluso años y está determinado principalmente por la estructura química del producto (F. Soto et al. 1998, Jones et al. 2008).

Los productos o sustancias con alto grado de degradación microbiana, bajo condiciones ambientales naturales, son denominados *biodegradables*, e indican que se convierten o descomponen para formas moleculares más sencillas, mediante procesos de transformación química. Por otro lado, a aquellas sustancias que no cumplen con dicha

propiedad y que por el contrario, permanecen en el medio por muchos años o décadas, se les llama recalcitrantes (Kalwasinska et al. 2011, Vasdev 2011).

En el periódico digital El Financiero, García, S. (2016, s.p.), menciona que: “La Sociedad Americana para Pruebas y Materiales define el término biodegradable como una degradación (degeneración) causada por la actividad biológica, especialmente por la acción enzimática ("enzima es la proteína que actúa como catalizador de las reacciones bioquímicas del metabolismo"), dando lugar a un cambio significativo en la estructura química de un material". En el periódico digital El Financiero afirma que: “La Unión Europea considera que un material es biodegradable si se descompone o abate en su mayor parte con agua, dióxido de carbono y materia orgánica en un plazo de tiempo no mayor de los seis meses”.

2.2.1 Residuos Biodegradables

Según la Universidad Nacional de Colombia, corresponden a los residuos naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. Entre estos se encuentran restos de frutas y verduras, hortalizas y sus cáscaras, cáscaras de huevo, granos, entre otros, como restos de alimentos preparados. También, son residuos biodegradables los restos de poda de jardines, pasto, ramas, hojarasca y excretas de animales sanos como bobinaza, equinaza, gallinaza y mezclas de excretas con otro tipo de material vegetal, como aserrín, viruta de madera y bosorola de café y té (UNA, 2014, s.p.).

Al respecto, también obsérvese:

“Se procesan generalmente por alguna técnica de compostaje y provienen de hogares, industrias, plantas de tratamiento, la agricultura, la horticultura y la silvicultura, entre otros. La cantidad, composición y características físicas de los residuos vegetales se ven influidos por numerosos factores tales como el origen, proceso de producción, la

preparación, la estación, el sistema recolector, estructura social y la cultura” (Jördenin y Winter, 2005, p.333 y 334).

Los residuos orgánicos que no son separados de los desechos comunes van a parar a los rellenos sanitarios y causan problemas ambientales debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. La Comisión para la Cooperación Ambiental, en un estudio de la caracterización y gestión de residuos orgánicos de América del Norte, indica que, al descomponerse los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios, la materia orgánica genera GEI, dióxido de carbono y metano; estas emisiones contribuyen al cambio climático mundial. También, estas emisiones afectan la calidad del aire y se le asocia a la problemática de salud pública, al ocasionar asma (CCA 2017, p.37).

2.3 Problemática de la gestión de los residuos orgánicos biodegradables

2.3.1. Rellenos sanitarios

“En Costa Rica, un 94 % de los desechos sólidos terminan en rellenos sanitarios, vertederos controlados o botaderos a cielo abierto” (UCR, 2018, s.p.).

Según un abogado ambientalista una de las mayores consecuencias de un mal manejo de un relleno sanitario podría ser la contaminación de las fuentes de agua superficiales y subterráneas (UCR, 2018, s.p.).

El agotamiento de los rellenos sanitarios aumenta por no tener una adecuada cultura de reciclaje a nivel país. Esto hace que la vida útil de los rellenos sanitarios se reduzca. Las municipalidades deben trabajar en educar al contribuyente en el tema de los residuos sólidos. Nuevamente se sigue usando la palabra “basura”, aun cuando en la Ley 8839 define explícitamente el concepto de “residuo sólido” (La Nación, 2014, s.p.).

Tras la pesadilla de residuos sólidos en los años 90, hizo que el país tomara consciencia de las consecuencias, aunque tuvieron que pasar 20 años para tener una ley que obliga a

responsabilizarse de los residuos sólidos. La realidad es que sin la Ley 8839, muchos rellenos sanitarios del país estarían saturados y fuera de operación; esto si no se hubiese trabajado en el inicio del reciclaje desde las municipales, por las grandes toneladas que reciben los rellenos sanitarios (La Nación, 2014, s.p.).

Malos olores en rellenos sanitarios mal tratados generan molestias en los vecinos aledaños. En 2017 el alcalde del cantón de Belén, Horacio Alvarado, aseguró que su municipio no es responsable de la situación de malos olores, ya que el cantón que dirige no cuenta con relleno sanitario ni botadero de basura; la generación de malos olores la debe controlar la Municipalidad de San José. El problema es que como está tan mal manejado, el viento se trae los malos olores y afecta a las comunidades de Belén, esto lo ha generado el relleno sanitario ubicado en la Carpio el cual colinda con el río Virilla (La Nación, 2017, s.p.).

Según la presidenta de la Asociación de Desarrollo Residencial Cariari, Melissa Flores, indica que este problema de malos olores es usual, pero se agrava durante la época lluviosa. La Asociación realizó la gestión y llevaron a cabo un estudio junto con la Universidad Nacional, el cual determinó que sí hay malos olores y afectación. Tales resultados se entregaron a la Municipalidad de San José y al Ministerio de Salud para que ellos tomaran cartas en el asunto (La Nación, 2017,s.p.).

Pérdida de plusvalía de propiedades aledañas a los rellenos sanitarios, es un problema evidente de los residenciales que se han topado con la ubicación de un relleno sanitario de vecino. Ya se sabe que en algún momento que se genere un fallo técnico la presencia de malos olores se presentará, como les ocurre actualmente a los vecinos del relleno sanitario ubicado en La Carpio. Se asegura que los fuertes olores les generan una mala calidad de vida, problemas de salud como alergias y vómitos. Ya ni siquiera es de interés para los vecinos

perder la plusvalía de las casas, es un tema de salud. La contaminación en ríos, por colapso de estructuras en rellenos sanitarios al exceder su vida útil, es otra problemática de los rellenos sanitarios (La Nación, 2017, s.p.).

Actualmente la municipalidad traslada los residuos sólidos al **Relleno Sanitario Parque Eco-industrial Miramar** que administra la empresa Tecnoambiente y situado en el distrito Miramar, cantón de Montes de Oro. Este sitio de disposición final de residuos funciona desde el 2011 y se encuentra sólo a 16 km del centro de Espíritu Santo sobre la Ruta 1- Carretera Interamericana Norte. Según la información obtenida, los residuos de la población esparzana se exportan al vecino cantón desde el año 2013, por medio de contrataciones periódicas. La más reciente fue en noviembre 2020, cuando se adjudicó la **Licitación 2020LN-000001-0004700001 *tratamiento y disposición final de los residuos sólidos ordinarios y de manejo especial generados en el cantón de Esparza modalidad***, con una validez de 1 año, prorrogable hasta por tres periodos iguales: cuatro años más (PGIR Municipalidad Esparza, 2021, p.85).

2.3.2. Costos operativos para el municipio

De acuerdo con el Plan de Gestión de Residuos Sólidos (2021) de la Municipalidad de Esparza se trasladan al relleno sanitario Tecnoambiente, ubicado en Miramar, un total anual de 8580 toneladas métricas de residuos ordinarios. El mismo estudio refleja que el 41,89% de estos residuos son orgánicos biodegradables; quiere decir que equivale a 3595 toneladas métricas anuales de residuos orgánicos biodegradables, trasladados al relleno sanitario por un costo de 11500 colones por tonelada métrica, una cifra económica muy alta para el municipio (p.107).

Tabla 5. Disposición final de residuos Esparza

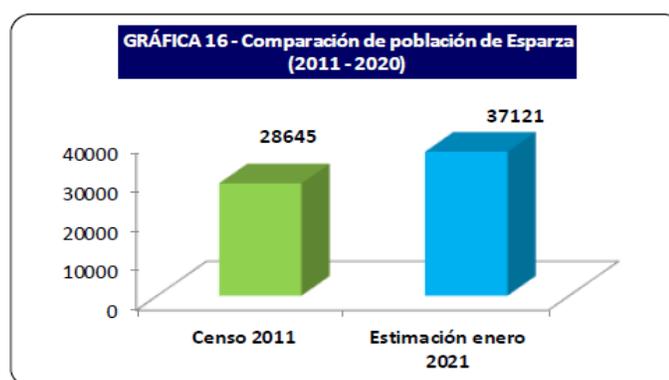
TABLA 34- Disposición final de residuos - Esparza (Relleno sanitario Miramar, 2020)		
	Mes	Total (TM)
1	Enero	732,88
2	Febrero	626,26
3	Marzo	665,59
4	Abril	645,89
5	Mayo	650,87
6	Junio	806,08
7	Julio	782,82
8	Agosto	728,44
9	Setiembre	717,88
10	Octubre	706,00
11	Noviembre	725,04
12	Diciembre	792.07
	Total:	8.580

Fuente: Estudio de caracterización de residuos sólidos (Esparza, 2018).

Los camiones recolectores se dañan constantemente. A este respecto se señala: “Los camiones de basura deben estar en perfectas condiciones para no ir dejando a su paso los lixiviados o líquidos que desprenden los desechos. Así lo ordenaron los magistrados de la Sala Cuarta al declarar con lugar el recurso de amparo de un ciudadano de apellidos Carrillo Baltodano, vecino de Puntarenas, contra el gobierno local de esta provincia” (Diario La Extra, 2009). Esto obliga al gobierno local de Esparza a presupuestar anualmente recursos para el mantenimiento preventivo y correctivo de los camiones recolectores, para evitar denuncias por la contaminación y malos olores, generados por los lixiviados al quedar dispersos en las diversas calles del cantón.

Al aumentar la población en el cantón de Esparza, la municipalidad ha debido contratar más personal para brindar el servicio de recolección de residuos sólidos semanalmente. En la actualidad se cuenta con tres cuadrillas de trabajo; cada cuadrilla de cuatro personas incluye un chofer y tres peones encargados de la recolección de residuos sólidos. El siguiente gráfico refiere un aumento en la cantidad de personas que se han asentado en el territorio de Esparza, lo cual se relaciona con el aumento de la gestión de los residuos sólidos gradualmente, conforme la población aumenta.

Gráfico 1. Comparación de población de Esparza



Fuente: Plan de gestión de residuos sólidos (Esparza, 2021).

2.3.3 Generación de Lixiviados

Problemática de los lixiviados: La descomposición de la materia orgánica en los rellenos sanitarios produce gases y líquidos contaminados que se filtran por el suelo y pueden comprometer al acuífero. El grado en que el suelo reduce la carga de contaminación dependerá de sus características físicas y químicas, tales como porosidad, capacidad de intercambio de iones, así como su habilidad para absorber y precipitar los sólidos disueltos. No todos los contaminantes son retenidos o filtrados por el suelo. Por ejemplo, aniones como cloruro y nitrato pasan fácilmente a través de la mayoría de los suelos sin atenuación. Los suelos arcillosos y con humus tienen mayor poder de retención de contaminantes que los

suelos arenosos. Bajo ciertas condiciones hidrológicas la filtración de los líquidos percollados (lixiviación), puede pasar a través del suelo no saturado, que se halla debajo de los rellenos y contaminar las aguas subterráneas (Ulloa, 2006, p.2).

A este respecto, considérese:

Problemática en la generación del gas metano: En los rellenos sanitarios existe el riesgo de accidentes y desastres por explosiones, debido a la acumulación del gas metano, producido por la descomposición natural o putrefacción de los desechos sólidos en forma anaeróbica. El gas metano tiende a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno y puede migrar a las áreas vecinas con el consiguiente peligro de explosión. Estos riesgos deben evaluarse y abordarse con planes de contingencia apropiados que consideren la construcción de un sistema de drenaje para liberar los gases a la atmósfera (Ulloa, 2006, p.3).

2.4 Legislación Ambiental Vigente

Con la publicación de la Ley General de Salud en 1973, se buscó regular el tema del manejo y disposición final de los residuos sólidos, la cual establece la obligación de los generadores de mantener en forma higiénica los residuos mientras son retirados por los recolectores; se entiende que son las municipalidades quienes deben realizar las recolecciones de residuos sólidos. En Costa Rica existe un reglamento que regula la construcción de los rellenos sanitarios, lo cual busca lograr que impacten lo menos posible el ambiente y técnicamente se considera como la alternativa más conveniente de disposición.

En el año 2010 se decreta la Ley 8839, que “tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación” (Art.1). Las municipalidades deben liderar, a nivel cantonal, que los residuos sólidos no se dispongan de manera incorrecta, además de aplicar la pirámide sobre la jerarquización en la gestión integral de residuos, quienes deben buscar estrategias para la evitar la generación de residuos sólidos como pilar principal de la ley.

Parte de los principios generales que fundamentan la gestión integral de residuos se encuentra la responsabilidad compartida donde se demuestra que es una corresponsabilidad compartida entre todos los involucrados a nivel comunal en la generación, tratamiento y disposición de residuos sólidos, responsabilidad extendida del productor quien vende artículos que se convierten en residuos especiales tienen la obligación de recuperar y tratar amigablemente con el ambiente los residuos, internalización de costos, prevención en la fuente, precautorio, el acceso de la información de la comunidad sobre el tema de manejo de residuos, deben informar a la población los riesgos e impactos negativos relacionados con la gestión integral de residuos y la participación ciudadana en los temas relacionados con la protección del ambiente (Ley 8839, 2010).

Por otra parte, el Ministerio de Salud, dentro de los lineamientos generales para permisos de funcionamiento, solicita los planes de desechos sólidos, de acuerdo con la categoría otorgada según el Código CIU. En estos documentos se deben involucrar las etapas de separación, recolección, almacenamiento, transporte y disposición final de los residuos que genera la actividad, con el fin de no impactar el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos refiere la jerarquización en la gestión integral de los residuos, cuyo objetivo es “Evitar la generación de residuos en su origen como un medio para prevenir la proliferación de vectores relacionados con las enfermedades infecciosas y la contaminación ambiental” (Ley 8839, 2010. Art. 4). Esta jerarquía menciona, con prioridad, reducir al máximo la generación de los residuos desde su origen; en caso de no poderse llevar a cabo, solicita reutilizar los residuos generados. De no ser posible lo anterior, se aborda el siguiente eslabón de valorizar los residuos por medio del reciclaje, para la recuperación del material y su aprovechamiento energético, lo cual significa la fabricación de cada uno de los insumos de un artículo. Sin embargo, en caso de no ser posible, se tratan los residuos generados antes de enviarlos a disposición final, para manejar la menor cantidad posible de estos. La jerarquización definida en este artículo de la Ley 8839 define la priorización para evitar la nueva generación de residuos y el aprovechamiento máximo de los residuos. Para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables se tiene preferencia por la valorización, a través de alternativas de tratamiento de residuos orgánicos, en el siguiente punto.

2.5 Alternativa de tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables

La recuperación, reutilización y/o transformación de los residuos en insumos útiles para los sectores productivos es una opción con varias posibilidades. Las alternativas existentes para el tratamiento y uso de los residuos orgánicos son principalmente procesos biológicos y térmicos. Dichos procesos biológicos permiten la producción de biogás y compostaje (Valderrama, 2013).

Asimismo, las alternativas que se han manejado con mejor resultado para la reutilización y/o reconversión han sido los residuos como: fuentes de alimento animal,

fuentes de energía y como materia prima para la producción de abonos orgánicos (Sztern, 2008).

El aprovechamiento debe realizarse siempre y cuando sea económicamente viable, técnicamente factible y ambientalmente conveniente. Su destino es el aprovechamiento, ya sea de manera directa o como resultado de procesos de tratamiento, reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje, incineración con producción de energía, entre otros (Jaramillo y Zapata, 2018, p.34).

2.6 Compostaje

Sztern, A. y Pravia (2005) definen compostaje como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica. La biodegradación es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición (p.2).

La importancia de gestionar correctamente los residuos orgánicos es para evitar los impactos ambientales negativos, afectación en la salud de los seres humanos, fauna y flora. Román, Martínez y Pantoja (2013), definen compostaje como: “es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas” (p.23).

En el proceso de compostaje se lleva a cabo ante la presencia de microorganismos que aprovechan el nitrógeno y carbono presente en la materia orgánica, bajo condiciones aeróbicas o en presencia de oxígeno, para producir el abono orgánico. Este proceso genera calor y un sustrato sólido llamado compostaje (Román et al., 2013, p.23).

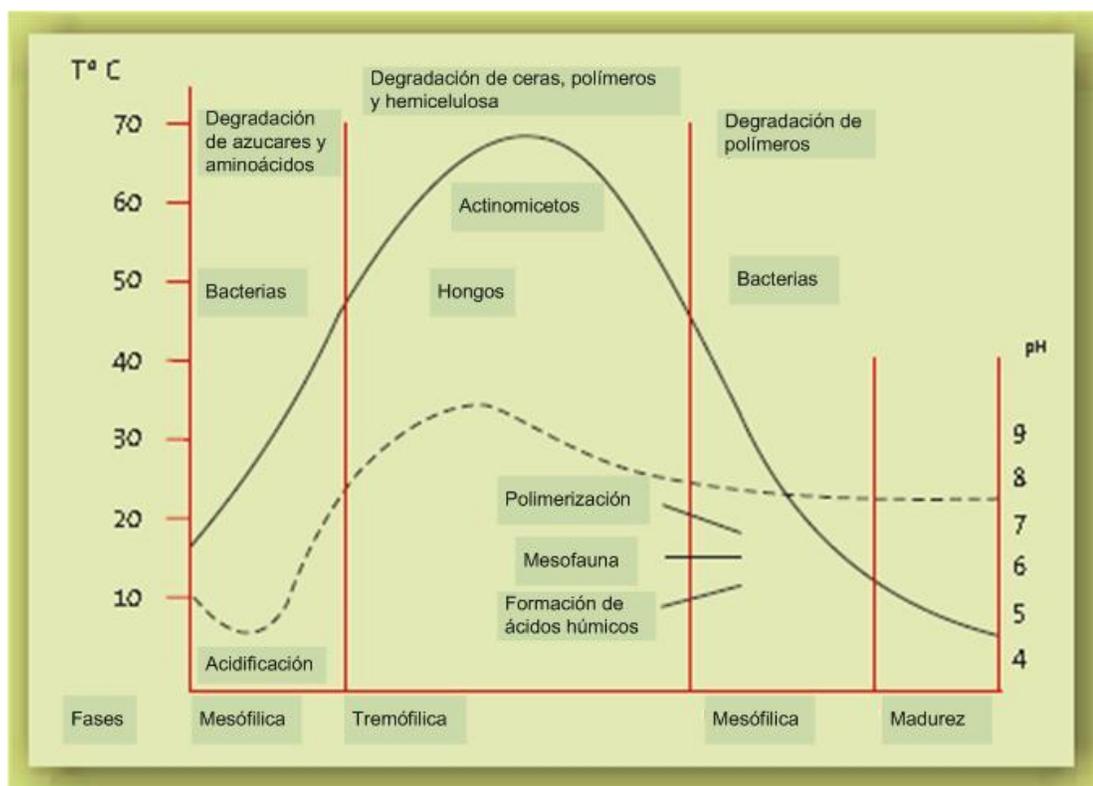
En otras palabras, el compostaje consiste en la transformación de la parte orgánica de los residuos sólidos mediante una fermentación aerobia de un material llamado compost, que

puede ser utilizado como fertilizante orgánico y como regenerador del suelo. En términos generales, todos los tipos de compostaje requieren una base de material vegetal con los microorganismos suficientes para producir la fermentación y la actividad aeróbica.

Para reconocer las etapas del compostaje, se debe considerar la temperatura del proceso a través de sus fases., según lo propuesto por Román et al., (2013, p.23).

- **Fase Mesófila:** Esta fase es el inicio del compostaje, desarrollado entre los dos y ocho primeros días, que empieza con temperatura ambiente de hasta los 45°C. Los compuestos solubles como azúcares producen ácidos orgánicos al descomponerse y, por lo tanto, la disminución del pH hasta 4.0.
- **Fase Termófila:** En esta etapa los microorganismos se desarrollan a temperaturas medias, cuando superan los 45°C; los microorganismos producidos permiten la degradación de celulosa y la lignina, pues son compuestos que contienen más fuentes de C. Esta fase también recibe en nombre de higienización, ya que el calor generado (hasta los 60°C) destruye bacterias y contaminantes de origen fecal.
- **Fase de Enfriamiento:** Una vez que se agotan las fuentes de nitrógeno y carbono, la temperatura del compostaje desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En esta fase se continua con la degradación de polímeros como la celulosa y se puede confundir con la última fase.
- **Fase de Maduración:** Este proceso puede demorar hasta 6 meses y se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

Figura 2. Evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración



Fuente: <https://proyecto3r.webcindario.com/organicos.htm>.

2.7 Parámetros de un sistema de compostaje

Se citan los parámetros para un sistema de compostaje, según Román et al., (2013, p.27).

- **Humedad:** La humedad es un parámetro vinculado con los microorganismos, pues usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor de los 55%; si la humedad está por debajo del 45%, la actividad microbiana disminuye; si la humedad es demasiado alta, del 60%, el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

- **Temperatura:** La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase de proceso, Lo anterior, de acuerdo con las fases mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración. Se presenta un cuadro con las variaciones de temperaturas, sus causas asociadas y soluciones, ante algún hallazgo durante el proceso de compostaje.

Tabla 6. Parámetros de temperatura óptimos

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Fuente: (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

- **PH:** El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso, desde 4.5 hasta 8.5. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. En la siguiente tabla se determinan las causas asociadas en caso de que el pH disminuya del 4.5 y supere el 8.5 y sus soluciones.

Tabla 7. Parámetros de pH óptimos

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas , liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Fuente: (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Román, Martínez y Pantoja (2013, p.29) aportan sobre el compostaje:

- **Oxígeno:** “El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono a la atmósfera”

- **Relación Carbono – Nitrógeno (C: N):** La relación C: N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales por compostar. Esta relación también varía a lo largo del proceso y es una reducción continua desde 35:1 hasta 15; 1.

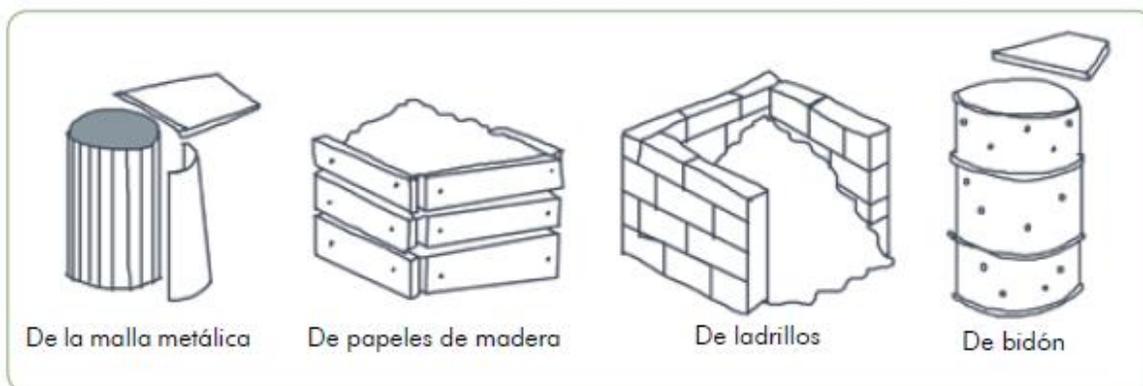
- **Tamaño de partícula:** La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

2.8 Tipos de sistemas y técnicas de compostaje

- **Sistemas Abiertos o en pilas:** Se recomienda este tipo de sistemas cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos.

- **Sistemas Cerrados:** “Este método es frecuente usado a nivel familiar. La técnica del recipiente tiene una serie de características que favorecen su replicación: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores (ratones, aves) y evita el acceso al material en descomposición por personal no autorizado y animales de la finca”.

Figura 3. Tipos de recipientes usados como compostera



Fuente: (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

2.9 Alternativas de Compostaje de Residuos Orgánicos Biodegradables: De acuerdo con lo anterior, existen diferentes tipos de compostaje cuya duración podría variar en cada una de las metodologías. Algunos de estos son el Bocashi, la lombricultura, la creación del biocombustible, el compostaje Takakura, entre otros. Obsérvese:

Bocashi: Receta japonesa mediante la cual aprovechan los residuos orgánicos de una forma similar al compostaje, el producto final se denomina también abono orgánico, la técnica es a través de volteos frecuentes y temperaturas por debajo de los 45-50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material. Se considera un proceso de compostaje incompleto. Algunos autores lo han considerado un abono orgánico “fermentado”, sin embargo, es un proceso enteramente aeróbico (Jaramillo y Zapata, 2008, p.43).

Lombricompost o Lombricultivo

Es la técnica de criar lombrices en cautiverio, logrando obtener una rápida y masiva producción y crecimiento en espacios reducidos, utilizando para su alimentación materiales biodegradables de origen agrícola, pecuario, industrial y casero,

produciendo como resultado la transformación de los desechos en biomasa y humus (abono orgánico) de alta calidad (Jaramillo y Zapata, 2008, p.43).

Biocombustible

Jaramillo y Zapata (2008), afirman: “Es cualquier tipo de combustible líquido, sólido o gaseosa, proveniente de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal)”.

Este término incluye:

- Bioetanol (o alcohol carburante)
- Metanol
- Biodiesel
- Diesel fabricado mediante el proceso químico de Fischer-Tropsch
- Combustibles gaseosos, como metano o hidrógeno (p.43).

Takakura

Honobe (2013) afirma: “El método Takakura es un tipo de compost que utiliza microorganismos que descomponen la basura orgánica y la hace en menor tiempo. Esta alternativa reduce la cantidad de desechos orgánicos que se producen en los hogares ciudadanos y en las labores que se realizan en el campo” (p.7). El Dr. Koji Takakura, de nacionalidad japonesa, es el creador del método de compostaje Takakura.

En el método de compostaje Takakura, las sustancias orgánicas son sometidas al compostaje con los medios de cultivo de microorganismos que se adaptan al suelo y están comúnmente disponibles en el ambiente natural; sirven para eliminar los microorganismos indeseables. Sobre todo, los microorganismos fermentativos juegan un papel central en el compostaje, pues los microorganismos fermentativos se adaptan perfectamente al compostaje descubriéndose y cultivando. El uso efectivo de los microorganismos fermentativos posibilita la producción de gran cantidad de

compostaje en un espacio pequeño y en un período corto de tiempo. Además, el método es seguro y económico, debido a que solo se requieren materiales disponibles inmediatamente (IGES, 2009, p.12).

Para iniciar un compostaje Takakura, inicialmente se debe desarrollar la mayor cantidad posible de los microorganismos. Esto se logra a través de un compost semilla, el cual cuenta con dos mezclas: la dulce y salada. Para ello se preparan dos soluciones de fermentación.

La primera: en un medio dulce se colocan alimentos fermentados (yogurt natural y levadura, ambos aportan los hongos). La segunda solución: en un medio salado se incorporan hojas de hortalizas y la piel de frutas y verduras. Luego, se tapan con un material semiabierto (gasa, tul) con el fin de permitir la salida de los vapores que se generan en los procesos fermentativos. Al pasar 3-5 días los microorganismos ya están listos (IGES, 2009, p.14).

Paralelo a la fermentación se va preparando el lecho de esta, que consiste en mezclar tierra con nutrientes, aserrín o cáscara de arroz. Al lecho de fermentación se le agregan los líquidos de fermentación (mezcla dulce y salada) y se amalgama bien para que el líquido de fermentación se mezcle uniformemente; la idea es que la tierra afloje, quede suelta. Así: “Es importante que los materiales y el compost deben estar entre 40 y 60% de humedad, agregando la solución de fermentación y agua” (Anónimo, s.f., s.p). El lecho de fermentación se cubre con un tejido transpirable para evitar que lleguen los insectos. La cama del compostaje semilla estará listo cuando los

microorganismos hayan proliferado en la superficie, cuando se observe un moho blanco superficial, entre los días 5 y 7.

Se debe mantener el lecho de fermentación bajo techo; a la intemperie se ve amenazada la humedad por factores naturales como la lluvia. Para agregar los residuos orgánicos se recomiendan triturarlos en trozos pequeños con ayuda de un cuchillo de cocina; una vez listos, finamente se mezclan bien con el lecho de fermentación. Si la descomposición de los residuos orgánicos se produce como se espera, debe tomar alrededor de un mes para que el contenedor pequeño (caja plástica o compostera individual) se complete, considerando la producción de residuos orgánicos biodegradable que se genera en un hogar. Una vez lleno, parte del compost debe ser eliminado; entiéndase como abono utilizado en el jardín. No se debe retirar todo el abono, el compostaje restante seguirá actuando como lecho de fermentación. Así es más eficiente, porque se pueden acortar los pasos iniciales de preparación, cuando se repite el proceso.

Parte del éxito del método Takakura es dedicar unos minutos diarios para mezclar todos los componentes dentro del recipiente; con esto se suministra el aire que requieren los microorganismos para mantenerse activos, trabajando eficientemente y también evitar malos olores.

Figura 4. Compostaje final



Fuente: <http://febeabio.com/capacitacion-en-manejo-de-residuos-organicos-compostaje/>

El producto generado se denomina compostaje semimaduro, donde las sustancias orgánicas no han sido totalmente descompuestas. Por lo tanto, los microorganismos fermentativos se mantienen activos después de la aplicación del compostaje. Se necesita estabilizar la mezcla durante 2-3 semanas antes de su utilización, para que se logren eliminar los microorganismos fermentativos. Ahora ya se tiene un abono energético y libre de patógenos, apto para aplicarse en todo tipo de cultivo, que aporta elementos nutritivos, aumenta la retención hídrica y la aireación del suelo y que, con un bajo costo, mejora física, química y biológicamente el suelo (IGES, 2009, p.20).

Figura 5. Flujo operacional del método de compostaje Takakura



Fuente: compostaje para la reducción de residuos, IGES (2010).

Nota: Dispersar en el suelo con una anticipación de más de dos semanas antes de la plantación.

2.10 Tipos de ejecución del compostaje

2.10.1. Compostaje Familiar

El compostaje doméstico se realiza a nivel familiar, en el jardín, terraza, huerta o cualquier otro lugar apropiado, a partir de cantidades pequeñas de residuos y mediante los sistemas más sencillos. Empezar la práctica de realizar compostaje doméstico significa una aportación individual importante de cara a la preservación del medio y sin duda, una satisfacción personal, porque nos permite cerrar el ciclo de la materia orgánica y colaborar en uno de los aspectos más conflictivos del tratamiento de residuos. Desarrollando esta actividad, somos consecuentes con la problemática creciente de generación de residuos (Alcolea y González, 2000, p.18).

Las dos formas más comunes de realizarlo en los hogares costarricenses es por medio de compra o confección de compostera o excavando huecos en la tierra, principalmente en las zonas habitacionales rurales o campestres.

2.10.2. Compostaje Comunitario

Se puede considerar una opción intermedia entre el compostaje industrial y el doméstico, tanto a nivel de volumen de residuos compostados, como del número de personas que intervienen. Acostumbra a realizarse en espacios o jardines comunes de viviendas, centros cívicos, escuelas y otros. Este tipo de compostaje representa una práctica social interesante y educativa, aunque implica una cierta organización de recursos y personas. El compost elaborado se puede emplear para el mantenimiento y cuidado de las propias zonas comunitarias (Alcolea y González, 2000, p.17).

Debe existir toda una logística a nivel comunal o residencial, pues se requiere dar mantenimiento al compostaje, al ser diaria la generación de residuos orgánicos biodegradables.

2.10.3 Residuos orgánicos biodegradables industriales

Residuos orgánicos biodegradables industriales son aquellos generados en empresas y que fueron parte de sus procesos productivos. En algunas oportunidades los aprovechan, como, por ejemplo, los ingenios que utilizan el vástago de la caña para alimentar las calderas. En otras empresas como las que procedan mariscos, utilizan sus residuos orgánicos biodegradables para hacer harina de pescado y venderla como materia prima de producción para alimento de consumo animal.

Alguna parte de estos residuos industriales se pueden compostar y muchos aportan gran cantidad de nutrientes, por lo tanto, las empresas normalmente ya cuentan con algún

programa ambiental para el aprovechamiento de estos residuos, que se convierten en materia prima de otros subprocesos.

2.11 Ventajas

Hay disminución de los residuos transportados al relleno sanitario; mejoran las condiciones higiénicas en los hogares; disminuyen los malos olores en los residuos sólidos ordinarios y se fomenta la separación de los demás residuos sólidos que pueden ser llevados a un proceso de reciclaje. Se logran comunidades más atractivas; aumento en la plusvalía; oportunidad de participación en programas ambientales como Bandera Azul Ecológica; calles más limpias como resultado del compostaje y separación de residuos sólidos. Se da también la oportunidad de adquirir nuevos ingresos por la venta del abono y fomento en el cultivo de frutas, verduras y plantas, sin aplicación de productos químicos y sintéticos.

2.12 Implicaciones

Desarrollar un proyecto de compostaje requiere un compromiso familiar o comunitario para su adecuado desarrollo, buena organización y disciplina para que el proceso no se pierda, los microorganismos vivos crezcan y no mueran. Los recursos no son muchos ni de alto costo, pero es fundamental cada uno de estos para la obtención de buenos resultados en el abono, pues los materiales usados son para establecer la semilla que proporciona el inicio de microorganismos. El tiempo de maduración debe ser monitoreado y necesita de recurso humano que esté al menos una vez al día realizando proceso de mezclado y toma de temperatura. El éxito del compostaje se fundamenta en el cambio de cultura, creer que funciona y mantener la disciplina de aplicarlo.

Capítulo 3. Marco Metodológico

3.1 Tipo de investigación

Los diversos tipos de compostaje que existen permitieron la elección del método más adecuado para realizar las pruebas en el condominio La Mallorquina. Esto se logra explorando el manejo de residuos, estratos socioeconómicos, interés del condominio con respecto al tema de residuos orgánicos biodegradables y explicando cómo aplicar el método Takakura en una guía, paso a paso, con exposición de los beneficios que conlleva desarrollar el compostaje en casa, tanto de manera familiar como comunitaria.

Hernández, Baptista y Fernández (2008) afirman: “Estudios correlacionales asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población” (p.93).

Los estudios explicativos generan un sentido de entendimiento y por lo general son muy estructurados y van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales (Hernández et al., 2008, p.95).

Se realizan pruebas con el condominio La Mallorquina, donde hay un involucramiento de las familias e interés en gestionar responsablemente estos residuos, para impactar lo menos posible el ambiente; además, este condominio año con año participa en el Programa Bandera Azul Ecológica, porque los temas de mejoramiento ambiental son de su interés.

3.2 Enfoque de la investigación

La presente investigación cuenta con un diseño de enfoque mixto. Lo anterior, con base en la recolección y análisis de datos e información obtenida del condominio La Mallorquina, durante el proceso de estudio, para definir una propuesta de diseño en la gestión de residuos

orgánicos biodegradables en un residencial; desde la caracterización de estos, su análisis e implementación del plan para el tratamiento y disposición final adecuada.

3.3 Diseño de la investigación

El objetivo del estudio es el diseñar una propuesta para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables para los residenciales de la Municipalidad de Esparza, por ello se llevará a cabo bajo un diseño no experimental que se aplicó de manera transversal.

Hernández et al. (2008), señalan: “Estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (p.152). Estos autores refieren que los diseños de investigación transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único; su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

La población seleccionada pasará por un proceso de aprendizaje acerca de la teoría de los diferentes residuos ordinarios generados en el hogar y el impacto negativo de los residuos orgánicos al ser depositados en las bolsas que van al relleno sanitario. Este proceso implica un trabajo de acompañamiento por parte de los autores de este proyecto de graduación y por parte de la municipalidad, institución que por ley debe gestionar y valorizar los residuos para el menor impacto ambiental.

3.4 Población en estudio

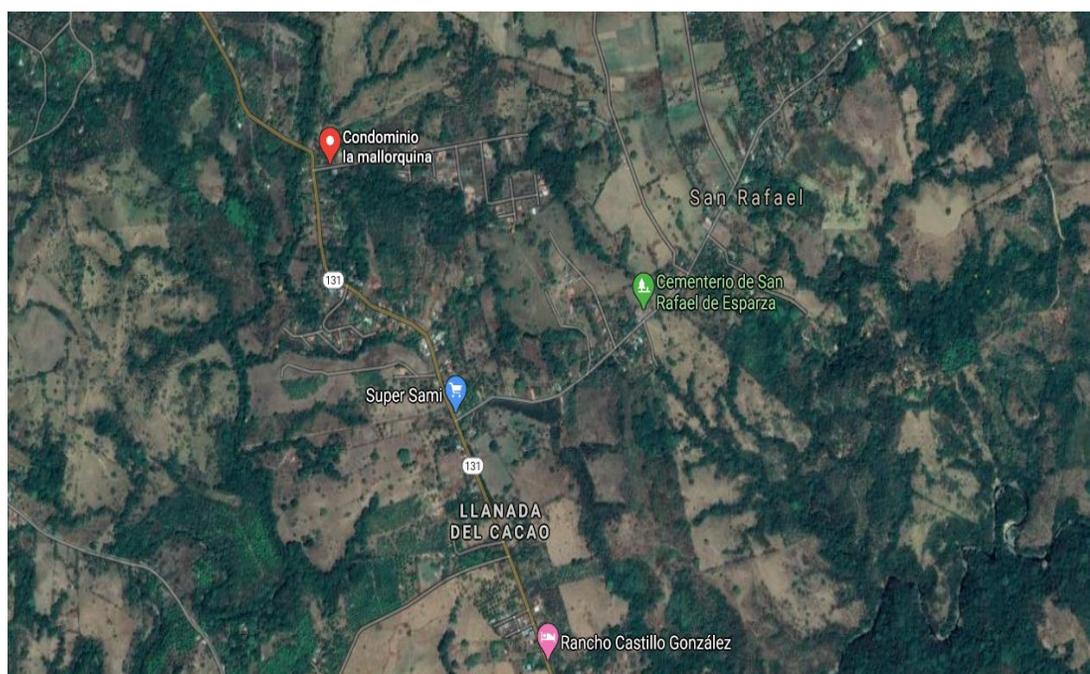
Para efectos de este estudio se trabajará en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza, compuesto por treinta familias de clase media y alta, con deseos de colaborar, participar y formar parte del modelo de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables que se propondrá. Los residuos serán recolectados dos veces por semana por parte de la municipalidad, en horas de la mañana, durante dos semanas, para establecer la

prueba del método de compostaje Takakura, de acuerdo con las características de los residuos orgánicos biodegradables.

3.5 Sujetos y fuente de investigación

Se incluyen las treinta familias del condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza, Puntarenas, pues se destacan como ciudadanos comprometidos con las actividades ambientales, quienes podrían colaborar en la realización del proyecto de la valorización de los residuos biodegradables, como plan piloto para la Municipalidad de Esparza. Cada familia tiene un mínimo de 3 y un máximo 5 miembros. Dentro de sus principales actividades diarias hay residentes que salen a trabajar y algunos hijos asisten a los centros educativos. Unos hogares cuentan con trabajadora doméstica quien permanece diariamente por más de 7 horas en su trabajo; durante ese tiempo y las horas pico del día es cuando más se generan residuos orgánicos en cada una de estas familias.

Figura 6. Ubicación del Condominio La Mallorquina, Esparza



Fuente: Google Maps

3.6 Instrumentos y técnicas de recolección

Para el desarrollo de este proyecto se seguirán las recomendaciones de la Guía de Interpretación de la Metodología para la Realización de Estudios de Generación y Composición de Residuos Ordinarios, orientada a la determinación de la composición física de los residuos sólidos, en especial, la caracterización de residuos orgánicos. Esta guía está en conformidad con la Ley 8839, sobre Gestión Integral de Residuos y esta guía es oficializada con el decreto N°37745-S.

Se realizará el primer acercamiento, para informar a cada una de las familias interesadas en el proyecto ambiental sobre el proceso de trabajo por seguir y también para capacitar sobre la importancia de separación de los residuos orgánicos biodegradables y poder llevar a cabo la valorización de estos residuos.

Actualmente la municipalidad cuenta con un fortalecido programa de reciclaje de aquellos residuos valorizables más comunes, producidos en los hogares y el comercio. Se imparten capacitaciones y se da información constante de las rutas de recolección para todos los residuos valorizables.

Lo anterior es un proyecto que se le entregará a la Municipalidad de Esparza, quien estaría a cargo de la continuidad al plan de acción de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables, para cumplir en esta localidad con la legislación nacional vigente, como plan piloto para expandir el proyecto en otras comunidades del cantón. Con esto, se podrán replicar estas acciones en comunidades de Esparza, de manera progresiva, uniendo esfuerzos entre el gobierno local y sus habitantes, por sectores.

3.7 Operación de Variable

Tabla 8. Variable de investigación acorde con cada objetivo específico

Objetivo	Variable	Indicador	Técnica de Recolección	Resultados Esperados
1. Diagnosticar la situación actual de los residuos orgánicos biodegradables en el condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.	Cantidad de residuos orgánicos biodegradables generados en el periodo de tiempo y cantidad de hogares participantes.	Cantidad de residuos por persona por día y porcentaje que representa la fracción biodegradable dentro la totalidad de los residuos.	La guía de estudios de caracterización de residuos ordinario, especialmente en biodegradables - Encuestas sobre la aceptación de participación. - Generalidades de los hogares del residencial y sus participantes.	- Generación diaria per cápita y composición de los residuos. - Cantidad de hogares participantes e información de cada uno de ellos.
2. Seleccionar un diseño para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables en condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.	Método de valorización por implementar y aceptación del método tanto de los participantes, como del municipio.	Respuestas positivas de los participantes y el municipio a la propuesta de valorización elegida.	Investigación sobre alternativas al manejo de residuos biodegradables, ponderación de las alternativas a la luz del caso y selección, encuesta de factibilidad (aprobación) de la alternativa con el municipio y participantes.	Método de valorización de residuos biodegradables por aplicar y visto bueno de la municipalidad y los participantes del condominio La Mallorquina.

3. Ejecutar el plan de acción de mejora para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables del condominio La Mallorquina del distrito de San Rafael de Esparza.	Cantidades gestionadas de residuos biodegradables por periodo de tiempo por participante y evaluación del grado de cumplimiento, compromiso y satisfacción de cada uno.	Número de participantes activos, cantidad de residuos biodegradables gestionados por participante por día y grado de satisfacción.	Seguimiento semanal de los participantes, por cuatro meses, para determinar la cantidad de residuos gestionados, grado de satisfacción y compromiso, mediante encuestas, pesajes y otros.	Seguimiento de cada participante y evolución a través del periodo de evaluación.
4. Analizar los resultados del plan de acción implementado y plantear un procedimiento operacional para la Municipalidad de Esparza.	Factibilidad de la propuesta.	Análisis de cantidades gestionadas, nivel de participación y grado de satisfacción durante el periodo evaluado.	Análisis de cantidades gestionadas, nivel de participación y grado de satisfacción durante el periodo evaluado.	Análisis del pilotaje llevado a cabo, evaluación de su factibilidad y guía de implementación para el municipio para su aplicación en otras zonas.

Fuente: Datos del cuadro de variables (elaboración propia).

Capítulo 4. Descripción del Caso

4.1. Municipalidad de Esparza

Esparza es el cantón número 2 de la provincia de Puntarenas, administrado por el gobierno local de la Municipalidad de Esparza, quien realiza la gestión de residuos, en cumplimiento del artículo 8 de la Ley 8839 de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, donde se definen las funciones de las municipalidades. La Ley 8839 (2010) menciona: “Tiene como objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación” (p.1). Lo anterior compete a las municipalidades en cuanto a los esfuerzos para brindar la mejor recolección separada de los residuos en el cantón.

Se agrega que: “De acuerdo con las proyecciones, para el año 2016 fue de 35 988 personas las que son beneficiadas por el servicio de recolección de residuos, lo que representa el 95% de la población del cantón de Esparza” (INEC, 2017, p.25). Como dato adicional, por día se envían en promedio 25 toneladas de residuos ordinarios al relleno sanitario Tecnoambiente, ubicado en Miramar de Puntarenas; de estas toneladas enviadas, el 41.89% corresponde a residuos orgánicos recolectados en viviendas y 26.82% a residuos orgánicos recolectados del sector comercio. Estos residuos provienen de las residencias, el comercio como supermercados, centros comerciales, locales donde se venden bebidas frutales, fruterías, sodas, restaurantes, entre otros.

Actualmente en Costa Rica no se cuenta con una cultura para que los habitantes de una zona realicen una correcta disposición de los residuos, los cuales se pueden reciclar para devolverles el valor inicial, mejor conocido por valorización, o también, reutilizándolos o transformándolos para otras actividades. Por otra parte, existen municipalidades que aún no han generado estrategias para la recolección de los residuos valorizables, en especial los residuos orgánicos, y por ello, la

población consiente de esta correcta gestión de residuos del hogar o del comercio, no puede segregarlos correctamente, pues los encargados de su disposición final mezclarían todo tipo de estos hasta convertirlos en basura.

El Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos 2016-2021, realizado por el Ministerio de Salud (2016) informa: “El manejo inadecuado de los residuos constituye uno de los principales problemas ambientales que enfrenta la sociedad costarricense” (p.13). También informa que, de acuerdo con un estudio realizado, en el año 2006 se generaron 2.7 veces más de residuos que lo producido en Costa Rica en el año 1991. Además, cada ciudadano que vive en áreas urbanizadas, por día desecha un aproximado de 1.1 kilogramos de residuo por día; lo anterior, correspondiente a 55% de residuos orgánicos, 15,5% de papel y cartón, y 11,5% de plásticos. Según estimaciones del Plan Nacional, se generan 4000 toneladas diarias durante el año 2014.

Considerando que más de la mitad de los desechos que los habitantes de Costa Rica descartan son de origen orgánico biodegradable, es necesario intervenir en propuestas para la disminución del impacto ambiental generado diariamente.

En el presente capítulo se explica la realidad actual de la Municipalidad de Esparza, del condominio La Mallorquina, su población, para conocer el proceso de gestión de los residuos generados valorizables, especialmente los orgánicos biodegradables.

4.2. Estado de condominio

El condominio La Mallorquina tiene actualmente 30 familias instaladas y otras propiedades en proceso de construcción. Las familias se encuentran organizadas través de la red social WhatsApp, aplicación que facilita la comunicación de los miembros y medios, por lo cual las personas se han estado informando sobre el proceso de diagnóstico para la gestión de residuos orgánicos biodegradables.

4.2.1 Gestión de sus residuos sólidos

El condominio La Mallorquina cuenta con centro de acopio común para los residuos reciclables y desechos ordinarios, en cual no se encuentra lo suficientemente bien organizado, pues se percibe que algunas familias no realizan la adecuada separación de estos. Lo anterior, debido a que poco a poco se van incorporando nuevas familias al condominio y desconocen el proceso de caracterización de los residuos. De acuerdo con lo que se informa, estos residuos se mezclan, se estropean y se convierten en residuos ordinarios; esto, aunado a la carencia del lavado de los residuos reciclables, lo cual permite la proliferación de malos olores, posibles plagas y lixiviados. Lo anterior hace perder los esfuerzos de los demás vecinos y debe llegar el camión municipal para descartar todo y llevarlo al relleno sanitario.

4.2.2 Caracterización actual de los residuos

El comité ambiental del condominio La Mallorquina llevó a cabo un censo para determinar la gestión de los residuos generados en la comunidad. Se censaron 28 familias de la comunidad a través de un cuestionario. De las familias censadas, solamente se contó con la participación de 21 de ellas que colaboraron brindando sus respuestas para el estudio. El siguiente cuadro presenta los resultados.

Tabla 9. Tipos de residuos y cantidad generada

Tipo de Residuo	Porcentaje
Familias que separan los residuos reciclables de los desechos comunes	95,2%
Familias que limpian los residuos reciclables (residuos limpios y secos)	71,4%
Familias que dejan los residuos reciclables al centro de acopio (ECOLONES / Comunitario)	100,0%
Familias que fabrican eco-bloques	23,8%
Familias que separan los residuos orgánicos de los desechos comunes	95,2%
Familias que usan una compostera familiar	30,0%
Familias que depositan en un hueco los residuos orgánicos biodegradables	50,0%
Familias que destinan sus residuos orgánicos biodegradables para un criadero de cerdos	20,0%

Fuente: Panorama de residuos condominio La Mallorca.

Adicionalmente, el censo realizado menciona oportunidades de mejora de la comunidad y sus habitantes, tales como:

- Exhortar a las familias para que no depositen residuos orgánicos en los desechos ordinarios.
- Buscar alternativas para que los desechos orgánicos no se mezclen con los materiales reciclables ni con la basura ordinaria.
- Reducir la cantidad de entrega de los residuos ordinarios al centro de acopio comunitario.

4.3. Caracterización de la generación del condominio La Mallorca

A través del gestor ambiental de la Municipalidad de Esparza, se logró contactar a una colaboradora de la comunidad, quien brindó ayuda en la realización del presente proyecto. Se visitó el condominio con el apoyo de la familia Bonilla Ballester, quienes ayudan y promueven

un ambiente organizacional positivo para que las familias trabajen en la correcta disposición de sus residuos, al margen de la ley. La familia Bonilla Ballesteros permitió que los suscritos investigadores conociéramos, al menos, once familias que participaron en el proceso de intervención para estudiar la generación de datos; entre estos, conocer la cantidad promedio de residuos orgánicos biodegradables que cada familia realiza por día. El proceso anterior se efectuó orientado a la guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios, del programa CYMA Competitividad y Medio Ambiente. Se contabilizan 28.6 kg de las once familias que participaron en la recolección de los residuos orgánicos biodegradables.

Durante este proceso se determinaron los siguientes tipos de residuos orgánicos:

- Cáscaras de huevo
- Gran variedad de cáscaras de frutas y verduras
- Hierbas
- Papel servilleta
- Restos de alimentos cocidos
- Bosorola de café
- Huesos de pollo.

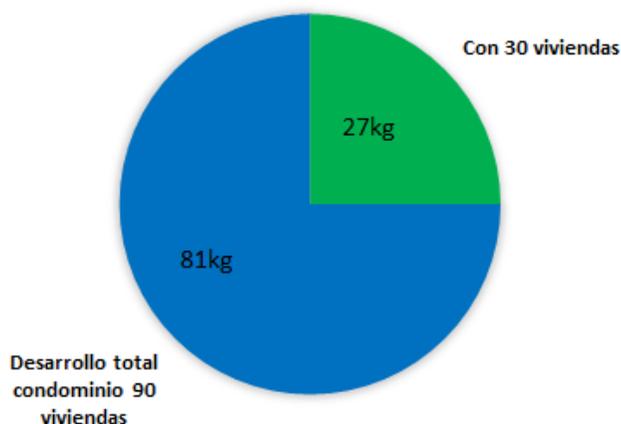
Al sumar a todas las familias en la separación de residuos ordinarios biodegradables se estima que por día puede haber una generación de 84 kg. Sin embargo, considerando que algunas familias cuentan con una compostera individual en sus casas, podría considerarse que se puede dar una generación diaria de 70 kg de residuos orgánicos biodegradables.

La recolección de los residuos ordinarios se realiza los miércoles, una vez por semana, por parte de la Municipalidad de Esparza. Durante una visita, los recolectores de residuos identificaron que el centro de acopio comunitario se encontraba lleno de estos y se lograron recuperar residuos reciclables. Sin embargo, al pesarlos en el plantel municipal (lugar donde se trasladaron), se

contabilizaron 622 kg para una semana. Lo anterior, al obtener los residuos de treinta familias y sumando los proyectos constructivos; lo cual es equivalente a 20 kg semanales por familia.

Posteriormente, se vuelve a visitar el condominio un sábado del mes de octubre del año 2020, para realizar la caracterización de residuos ordinarios biodegradables de tres días; en total, participaron once familias de las treinta contabilizadas. Se estima un promedio de 0.900 gramos de residuos biodegradables por día, por familia. Se proyecta una ocupación del 100% total del condominio La Mallorquina y se estaría estimando que la generación de los residuos orgánicos biodegradables, por día, podría ser de 81 kg.

Gráfico 2. Generación diaria de residuos orgánicos biodegradables en el condominio La Mallorquina



Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Generación de residuos orgánicos biodegradables en el condominio La Mallorca con población de 30 familias

Generación de residuos sólidos biodegradables condominio la Mallorca	
Mensual	756 kg
Semanal	189 kg
Diaria	27 kg
Fin semana	54 kg

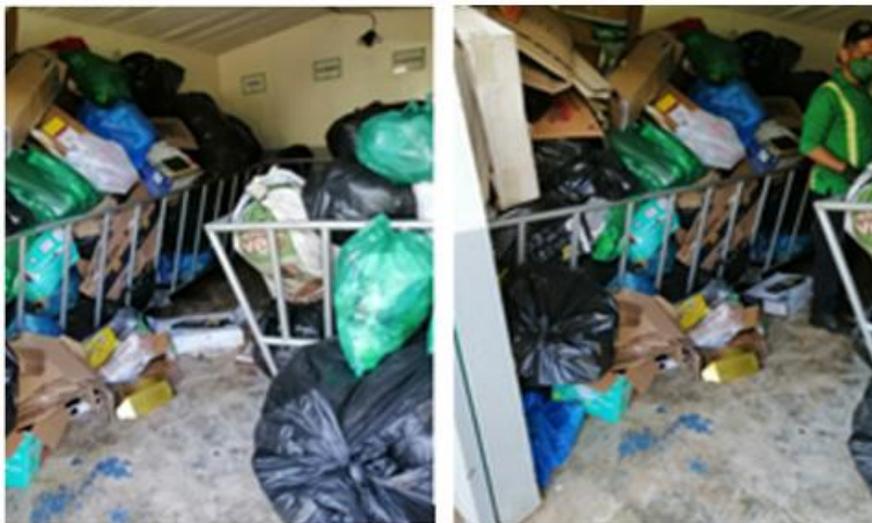
Fuente: Elaboración propia

Figura 7, 8 y 9. Recolección de Residuos Orgánicos Biodegradables



Fuente: Elaboración propia recolección y pesaje de residuos orgánicos biodegradables en condominio La Mallorca.

Figura 10 y 11. Revisión del centro de acopio comunitario



Fuente: Elaboración propia, pesaje de residuos sólidos ordinarios generados en ocho días.

Capítulo 5. Selección del Método de Valorización

5.1 Análisis y selección del método de valorización de residuos orgánicos biodegradables

Se requería de un método de compostaje ajustable a la realidad económica de un país como Costa Rica, donde hay variedad de clases sociales y situaciones económicas, considerando que el método sea de baja inversión, práctico y veloz.

De acuerdo con G. Fernández (2020, s.p.): “Takakura es un método de compostaje que consiste en inocular los residuos orgánicos con microorganismos fermentativos en un recipiente poroso que permita el intercambio de gases”.

Figura 12 y 13. Revisión del centro de acopio comunitario



Fuente: <https://www.360-sv.com/blog/tipos-de-compostaje>.

A continuación, se presenta la tabla utilizada para la selección del método de compostaje Takakura. Tiene siete variables y se detalla el significado de cada una.

Rapidez del proceso: *Uno*, corresponde a una lenta duración, más de tres meses; *dos*, duraciones entre dos/tres meses y *tres*, se asigna a un proceso rápido con duración de uno a dos meses.

Practicidad: *Uno*, significa que es complejo en su proceso; *dos*, fácil, pero con dificultades y *tres*, procesos de compostaje muy práctico para el desarrollo.

Área para la ejecución: *Uno*, significa que requiere más de 3 m³ de espacio para el desarrollo del proceso; *dos*, requiere más de 1m³ de espacio y menos de diez metros cuadrados y *tres*, que requiere menos de 1 m³ para iniciar la ejecución.

Facilidad de aplicación: *Uno*, refiere la aplicación compleja; *dos*, aplicaciones poco complejas y *tres*, muy fácil su aplicación, no se requiere del mayor esfuerzo.

Ausencia de olores: *Uno*, significa proceso de compostaje muy oloroso; *dos*, procesos de compostaje con generación de olores controlable y *tres*, compostajes sin presencia de olor ante una efectiva inspección y mezclas diarias.

Inversión inicial: *Uno*, significa proceso costoso; *dos*, procesos con inversión alcanzables y *tres*, procesos de compostaje muy económico.

Calidad del compostaje: *Uno*, significa compostaje de mala calidad; *dos*, compostajes con deficiencias en la calidad y *tres*, compostajes de buena calidad para utilizar en diversos tipos de cultivos.

G. Fernández (2020, s.p.), describe diversos métodos de compostaje y orienta al lector a elegir entre algunas de estas técnicas de compostaje estudiado.

Tabla 11. Selección método de compostaje

	Takakura	Bocashi	Compost Natural	Lombricompostera	Biocombustible
Rapidez del Proceso	3	3	1	1	1
Practicidad	3	1	1	1	1
Área para la Ejecución	3	3	2	2	1
Facilidad de Aplicación	2	1	2	1	1
Ausencia de olores	3	2	2	3	1
Inversión inicial	3	2	3	1	1
Calidad del Compostaje	3	3	3	3	3
Resultado	20/21	15/21	14/21	12/21	9/21

Fuente: Elaboración propia

Todo lo anterior, refiere que el método Takakura cumple con las expectativas, debido a que cuenta con las siguientes características:

- Rápido: Se completa en una o dos semanas para generar el compost semilla, el cual es requisito previo para el inicio y con una duración máxima de hasta tres meses para alcanzar la maduración.
- Fácil: El requisito es solo mezclar los materiales y revisar preferiblemente a diario el avance del proceso.
- Económico: La incorporación mecánica es solo realizar una adecuada trituración de los residuos sólidos biodegradables; este proceso se puede realizar manualmente.
- Microorganismos eficientes: La producción de Takakura se basa en el mantenimiento de microorganismos eficientes, que son capaces de procesar los residuos orgánicos en poco tiempo; es justamente la presencia de estos organismos lo que permite un proceso de compostaje rápido.
- Medianamente práctico: Al igual que las composteras, no se requiere invertir mucho tiempo al utilizar el método de Takakura. Sin embargo, es un poco más de trabajo, ya que se debe revolver el contenido de la caja manualmente para oxigenar la mezcla; se debe designar un roll familiar o dentro del condominio para mantener la aireación.

Para darle una correcta gestión a los residuos orgánicos biodegradables del condominio, de acuerdo con la generación de residuos, la herramienta que se elige son cajas plásticas utilizadas para el transporte de verduras, donde se inició un proceso de prueba con el método de compost Takakura, con la acumulación de residuos orgánicos biodegradables de dos semanas, con ocho familias que participaron en esta etapa.

Posteriormente a la prueba y al identificar los resultados a favor del método, se busca una compostera adecuada para procesar los residuos orgánicos biodegradables por medio del método Takakura.

5.1.2 Aprovechamiento de compostaje maduro como fertilizante natural

El compostaje maduro se puede aprovechar de dos formas: para el autoconsumo o para su comercialización. El autoconsumo del compostaje se dirige al uso en jardines de la casa y de las áreas comunes del condominio, o para la aplicación de fertilizantes para la jardinería de la localidad, lo que reduce el presupuesto municipal para el cuidado de jardinería y cultivos.

El compost también podría usarse de manera efectiva como una herramienta para incentivar la separación. Por ejemplo, de parte de la Municipalidad de Esparza, se puede proporcionar abono gratis a hogares, escuelas u otras entidades sociales, como una recompensa por la separación de residuos orgánicos biodegradables, y otras actividades ecológicas que podrían aumentar la conciencia y motivar más comunidades.

Cuando hay una sobreproducción de compostaje para el autoconsumo y estrategia de recompensa, se podría incursionar en la comercialización del producto a otras entidades a través de contratos bilaterales; que intercambien otros productos a cambio del abono orgánico. Esto se podría intercambiar entre la ciudad y algunas entidades confiables que requieren una gran cantidad de fertilizante orgánico y estén dispuestas a contribuir con los esfuerzos de ecologización de la ciudad. A cambio del abono orgánico con un precio razonable, la municipalidad podría proporcionar certificados para reconocer la contribución social de la entidad que adquiere este producto. La entidad puede entonces, utilizar el certificado para aumentar su imagen corporativa y potenciar aún más la responsabilidad social ambiental.

5.2 Ejecución del método de compostaje Takakura

Antes de la recolección de los residuos orgánicos biodegradables, se prepara el compost semilla. La primera caja de compostaje utiliza 2 kg de aserrín, 4 kg de tierra y 3 litros de la semilla de la preparación de la levadura con el yogurt fermentado, durante 7 días previos.

Día 1

El primer acercamiento con la comunidad del condominio La Mallorquina con residuos orgánicos biodegradables, se llevó a cabo del 07 de diciembre de 2020. A través de los colaboradores de la Municipalidad de Esparza se recolectan los residuos orgánicos biodegradables de las familias recuperados durante 3 días. Las familias participantes generaron en su primera recolección 10,2 kilogramos.:

- Soto Agüero, generación 3.18 kg
- Sotelo Chinchilla, generación 3.20 kg
- Rodríguez Mora, generación 2.16 kg
- Bonilla Ballestero, generación de 1.66 kg

Día 2

La segunda visita a la comunidad del condominio La Mallorquina se llevó a cabo el 10 de diciembre de 2021. Las dos familias participantes generaron, en conjunto, 2.12 kilogramos.

Figura 14 y 15. Revisión del centro de acopio comunitario



Fuente: Elaboración propia

Día 3

La tercera visita a la comunidad del condominio La Mallorquina se llevó a cabo el 14 de diciembre de 2021. Las tres familias participantes generaron, en conjunto, 9,92 kilogramos.

Familias participantes:

- Sotelo Chinchilla
- Salazar Molina
- Soto Agüero

Día 4

La cuarta visita a la comunidad del condominio La Mallorquina se llevó a cabo el 17 de diciembre de 2020. Se estudia que la recolección de residuos orgánicos biodegradables fue de dos días. Las dos familias participantes generaron en conjunto 4,64 kilogramos.

Familias participantes:

- Segura Barquero
- Sotelo Chinchilla

En esta fotografía se demuestra el proceso de compostaje en la caja con una temperatura de 33,7 grados Celsius.

Figura 16. Revisión de temperatura del compostaje Takakura



Fuente: Elaboración propia

Día 5

La quinta visita se llevó a cabo el 21 de diciembre del año 2020. Se estudia que la recolección de residuos orgánicos biodegradables fue de cuatro días; el último día se agregan residuos orgánicos a la prueba del compostaje Takakura. La siguiente fotografía demuestra el proceso de compostaje en la caja con una temperatura de 40,0 grados Celsius.

Figura 17. Mezcla del compostaje Takakura



Fuente: Elaboración propia

Todos los días se requirió revolver la tierra para que pudiera airearse, verificar la humedad y en ocasiones fue necesario agregar agua al compost para evitar que se secase. La temperatura máxima registrada fue de 40°C. Posteriormente, 15 días después se observan los residuos orgánicos biodegradables bien desintegrados en la mezcla inicial de tierra, aserrín y semilla de fermentación.

Figura 18. Compostaje desintegrado Takakura



Fuente: Elaboración propia

Duración del proceso de compostaje: El proceso de compostaje tarda una duración de 3 a 4 semanas para que los residuos orgánicos biodegradables se desintegren. Posterior a la anterior duración, la compostera de Takakura entra en un proceso de maduración necesario para que no se dañen las plantas que reciban el abono.

Temperatura: No se requirió tan alta temperatura, pero sí se alcanzaron los valores relativamente altos, según sugerencia de autores, para que se logre la desintegración de los residuos orgánicos biodegradables.

Capacidad: Se necesitan emplear, una caja plástica por día para la participación 30 de familias que generan en promedio 900 gramos de residuos orgánicos biodegradables. Eso quiere decir que con una caja plástica cada familia puede ir procesando sus residuos orgánicos biodegradables con este método Takakura, pues el promedio mensual es una generación de 27 kg por familia.

Ventaja: Una vez extraído el compost trabajado, no se requerirá realizar un compost semilla desde el inicio, sino, agregando nuevos residuos orgánicos biodegradables para continuar con la producción de abono orgánico, pues está enriquecido de microorganismos. Lo anterior, es un proceso autosustentable, por lo que se debe conservar la mezcla del proceso anterior, para alimentarlo con nuevos residuos orgánicos biodegradables.

Capítulo 6. Resultados de la factibilidad del método de compostaje Takakura

En el presente capítulo se analizan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el condominio Mallorquina, en conjunto con la Municipalidad del cantón de Esparza. La finalidad del proyecto es presentar una propuesta de gestión de residuos orgánicos biodegradables, para que se implemente en los futuros residenciales del cantón de Esparza, principalmente para que se puedan gestionar de una manera comunitaria. Lo anterior, en cumplimiento de la normativa legal vigente y con reducción de los costos operativos que representa la recolección semanal en las comunidades.

Capacidad: 1 por día para 30 familias o 1 caja por familia



Generación promedio diaria por familia: 900 g



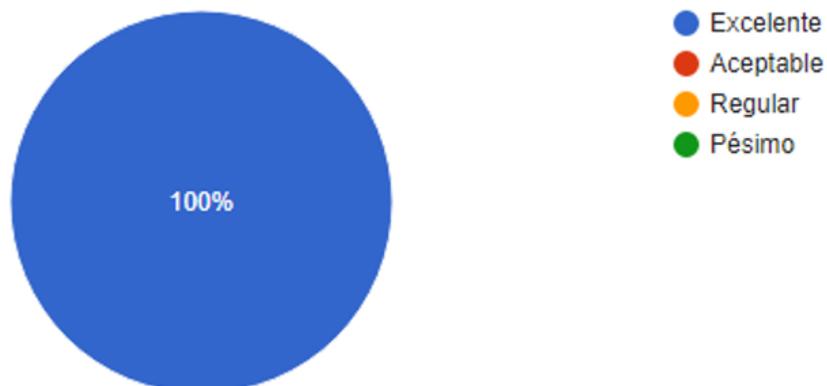
Eso quiere decir que con una caja plástica cada familia puede ir procesando sus residuos orgánicos biodegradables con el método Takakura, pues el promedio es de una generación de 27 kg por familia.

6.1 Costos asociados y duración para realizar el compostaje Takakura

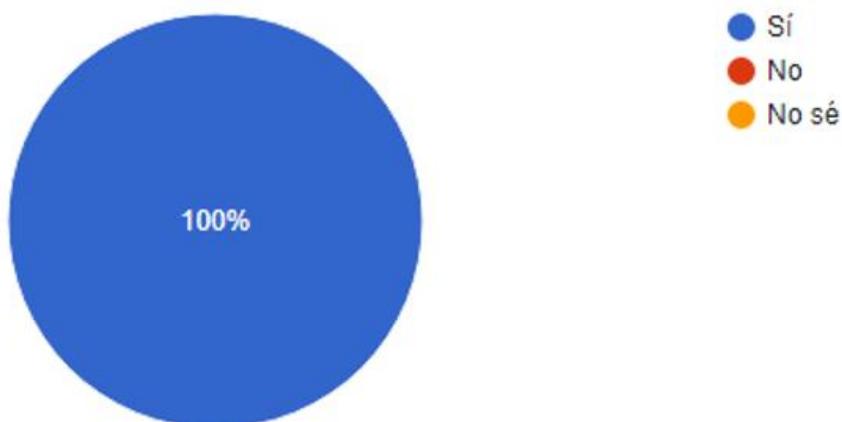
Se puede determinar que el compostaje Takakura es viable en costos y practicidad para desarrollarlo en un residencial o condominio. El tiempo del proceso es adecuado, pues su duración ha sido de 2 meses, tomando en cuenta los 10 días de preparación del compost semilla. Además, no genera mal olor si se mezcla diariamente y se controla el nivel de humedad. Por otra parte, no se requiere de un espacio mayor a 2m² para iniciar la implementación de un compostaje familiar o comunitario. Lo anterior, considerando que por esto se requiere un espacio reducido para iniciar, y conforme aumenten las familias, así irá creciendo el compostaje comunitario. Realizar el método en cajas plásticas resulta muy económico, pues las cajas se pueden reutilizar y se pueden comprar a bajo costo, menos de diez mil colones cada caja, o bien, conseguir en los centros de acopio de las mismas municipalidades.

6.2. Aceptación de la prueba de compostaje método Takakura

A las familias participantes de la prueba de compostaje se les ha solicitado contestar un cuestionario de aceptación y experiencia en el proceso de caracterización de los residuos, pesaje, separación de los residuos reciclables de los orgánicos biodegradables y la gestión de estos en abono orgánico, a través del método de Takakura. A continuación, se presentan los gráficos de satisfacción por criterios:

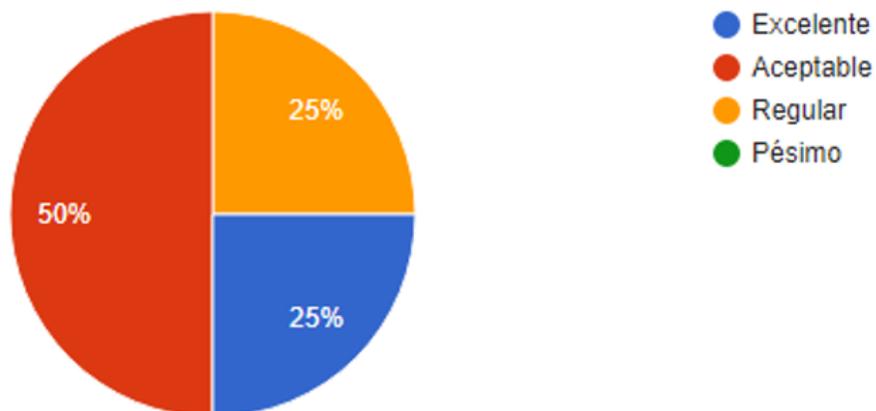
Gráfico 3. Experiencia en la recolección de residuos orgánicos

El 100% de la población expresó una aceptación total de la experiencia en la recolección de los residuos orgánicos biodegradables.

Gráfico 4. Disposición en la participación de compostaje comunitario

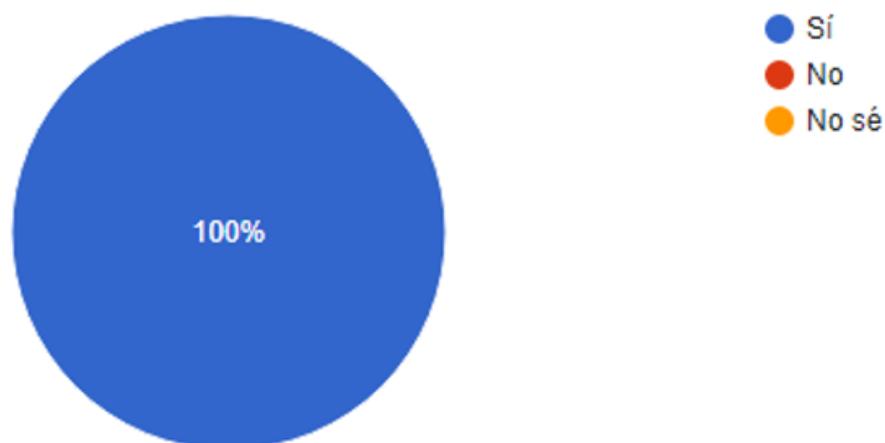
Toda la población indica que está dispuesta a participar de actividades con compostaje comunitario bajo el método Takakura.

Gráfico 5. Apreciación del manejo de los residuos sólidos en Esparza



La mitad de la población indica que es aceptable.

Gráfico 6. Disposición en la participación para la reducción de los residuos sólidos



Toda la población afirma en estar dispuesta a realizar actividades para la reducción de los residuos sólidos.

Tres cuartas partes de la población conocen la Ley de la Gestión Ingestión Integral de Residuos Sólidos, la cual impulsa la separación de los residuos sólidos por categorías.

Este cuestionario ha permitido conocer el interés de los habitantes del condominio La Mallorquina, para la implementación de un proceso de compostaje de los residuos orgánicos biodegradables en la comunidad, respaldado por la Municipalidad de Esparza. Lo anterior, de tal manera de que sirva como un modelo para otras comunidades a nivel cantonal.

El método Takakura cuenta con una serie de características que lo hacen factible para realizar compostaje en los distintos residenciales del cantón. Como ya se ha acotado, lo económico y práctico facilitan el desarrollo del compostaje por medio de Takakura; su facilidad en el proceso logra que las familias tomen interés y cada vez más de ellas quieran formar parte del compostaje comunitario. Lo anterior, considerando que se logró aplicar el método y obtener el compostaje.

Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. Dentro del proceso de intervención y exploración se concluye que el compostaje con el método Takakura es una alternativa para la transformación de los residuos orgánicos biodegradables, de manera accesible, con una duración de dos meses y una ocupación no mayor 2m² por familia. Debido a la gran cantidad de microorganismos generados desde la semilla de compostaje, se logra que el proceso sea relativamente rápido. Esto, respetando los pasos para generar las respectivas mezclas de la semilla de compostaje y la selección y trituración de los residuos orgánicos biodegradables, para que se puedan desintegrar rápidamente. El método Takakura se debe llevar a cabo en un espacio bajo techo, donde no reciba agua de lluvia y se permita la oxigenación. Si se humedece sin control, se afecta el proceso de degradación y puede generar malos olores. Es importante mencionar que, si hay suficiente compostaje maduro, se puede reutilizar como otra semilla y se evita el retroceso al tener que crear nuevamente otra semilla de compostaje.
2. Se concluye, de acuerdo con la vivencia experimentada en el proyecto, que una gran cuota para la generación de abono orgánico es la voluntad y participación de las familias en el proyecto. Lo anterior, porque si suceden problemas en la recepción, almacenamiento y el procesamiento de los residuos orgánicos e insumos, este proceso podría fallar, al generarse malos olores o no ver resultados.
3. El compostaje con el método del Takakura posee la ventaja de que no se necesita obtener nuevamente una semilla de compostaje desde el inicio, sino, agregando más residuos orgánicos biodegradables, para continuar con la producción de abono orgánico, pues está enriquecido por microorganismos vivos que esperan consumir más alimentos. Lo anterior,

es un proceso autosustentable, por lo que se requiere conservar la mezcla del proceso previo, para alimentarlo con nuevos residuos orgánicos biodegradables.

4. No se observó presencia de plagas durante la aplicación del método Takakura con los residuos orgánicos del condominio La Mallorquina.
5. Para obtener un abono orgánico se recomienda verificar los siguientes aspectos durante un proceso de compostaje Takakura.
 - Control de la temperatura: Observar que el nivel de temperatura sea superior a los 38°; esto permite obtener un compost cargado de nutrientes y un aumento en la aceleración de la desintegración de los residuos, que se convierten en abono orgánico en el menor tiempo posible.
 - Control de la humedad: La humedad se controla de una forma visual; no debe verse seco y desmoronarse en la palma de la mano, ni tan húmedo que gotee la mezcla del compostaje.
 - Cumplir un estricto rol de mezcla diario, para acelerar el proceso de descomposición de los residuos sólidos biodegradables.

7.2 Recomendaciones

1. Mayor involucramiento de las familias que viven en los residenciales y condominios del cantón de Esparza, donde se quiera llevar a cabo el inicio de compostaje comunitario por medio del método Takakura.
2. Convencimiento de involucrarse en temas ambientales, con miras a un aumento de la plusvalía en las propiedades; conciencia del impacto del compostaje en la solución del problema de los residuos orgánicos biodegradables y obtención de reconocimientos

ambientales por parte de la municipalidad o programas como Bandera Azul Ecológica, utilizados como la mercadotecnia para venta de propiedades en los condominios y residenciales.

3. La gestión de los residuos orgánicos biodegradables se debe promover en todos los residenciales y hogares del país, por parte de las municipalidades, para cumplir con lo estipulado en la jerarquía de la gestión de los residuos de la Ley 8839. Para poder llevar a cabo esta gestión de la mejor manera, se recomienda la generación de proyectos para la valorización de los residuos orgánicos biodegradables a nivel cantonal y que cada vez sea menos lo dispuesto para el relleno sanitario. El abono orgánico, producto del método de compostaje Takakura, se puede utilizar en sustitución de fertilizantes sintéticos en fincas productoras de frutas y verduras, para fomentar el consumo local y la agroecología, así como la disminución de la huella de producción de alimentos.
4. Se recomienda iniciar el compostaje Takakura en cajas plásticas utilizadas en el transporte de verduras, pues los costos no representan una inversión importante.
5. Se recomienda que la Municipalidad de Esparza utilice el procedimiento apéndice de la presente investigación, como una opción para realizar compostaje con el método Takakura y que sea replicado en los futuros residenciales y condominios del cantón, con el requisito de viabilidad municipal.
6. Se recomienda la creación de una compostera comunitaria en cada residencial, para uniformar y mantener el control de los procesos de compostaje de manera macro y no tener que dar seguimiento individualizado, por familias, de parte de la Unidad de Gestión Ambiental municipal.

7. Se recomienda impartir sesiones de sensibilización del método Takakura por parte de la municipalidad, a todos los residenciales, condominios y comercios del cantón de Esparza, de manera que conozcan el método de compostaje y sus beneficios, así como impulsar el inicio del compostaje familiar y comunitario.
8. Todo proceso de descomposición de residuos orgánicos biodegradables requiere de una buena cantidad de microorganismos. Además del método Takakura, se podrá también usar el humus del suelo del bosque o tierra de una granja, que contiene también microorganismos usados como una semilla de compostaje; además, se pueden incorporar nuevos residuos, sin olvidar la verificación de la humedad y la aeración del compostaje.

Referencias Bibliografía

1. Anónimo (2003). *Gestión y Tratamiento de los Residuos Urbanos / 1.1. Tratamiento de los materiales orgánicos*, España, UNED. Recuperado de: <https://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm#Cabecera>
2. IGES (2010). Compostaje para la reducción de residuos. Recuperado: https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf
3. Anónimo (2020). *Noruega y Suecia importan basura para producir energía*. Infobae. Recuperado de: <https://www.infobae.com/mix5411/2018/03/16/noruega-y-suecia-se-quedan-sin-basura-y-la-importan-para-producir-energia/> Plan para la Gestión Integral de Residuos 2016. Recuperado el 22 de febrero del 2020 desde: <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-el-ministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
4. Anónimo (2014). *Residuos Biodegradables*, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, recuperado de <http://oga.bogota.unal.edu.co/residuos-biodegradables/>
5. Alcolea, M., González, C. (2000). *Manual compostaje*, Recuperado: <http://www.resol.com.br/cartilhas/manual-compostaje-en-casa-barcelona.pdf>.
6. Bernal, César A. (2010). *Metodología de la Investigación*. Tercera edición. Pearson Educación: Colombia
7. CCA (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. Informe sintético*. Comisión para la Cooperación Ambiental Montreal. Recuperado desde: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD003593.pdf>

8. Chacón, T. (2018). *Este municipio de Costa Rica fue pionero en Reciclaje Inclusivo (y su estrategia fue un éxito)* DISTINTAS LATITUDES.NET desde <https://distintaslatitudes.net/oportunidades/este-municipio-de-costa-rica-fue-pionero-en-reciclaje-inclusivo-un-exito>
9. Espinoza, M. (2009). *Camiones recolectores no deben contaminar a su paso.* Recuperador desde https://actualidadjudicial.poder-judicial.go.cr/vol93/noticias_prensa/np21.htm
10. *Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterios derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica.* Recuperado 26 de enero 2020, desde: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/10114/12526>
11. Fernández, A. (2016). *Las ciudades con la mejor gestión de residuos del mundo.* España, Consumer Eroski Recuperado de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/las-ciudades-con-la-mejor-gestion-de-residuos-del-mundo.html>
12. G. Fernández (2020). *Tipos de compostaje.* Recuperado de <https://www.360-sv.com/blog/tipos-de-compostaje>,
13. Félix-Soto J., Gutiérrez-Castrejón T., Lemos-Pastrana A., Ortiz-Jiménez M., Pescador-Elizondo N. & Varela-Fregoso L. (1998). *Manual de laboratorio de ecología microbiana.* Instituto Politécnico Nacional, México, 179 pp.
14. Garita, N. y Rojas, J. (2014). *Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost.* UNA-Campus Sostenible Recuperado de

- <http://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Hernández S., Fernández C. (2014). *Metodología de la investigación, quinta edición*, Distrito Federal, México editorial McGraw-Hill Interamericana.
 16. Herrera, J., Rojas, J., Anchía, D. (2017). *Emisiones de gases efecto invernadero y contaminantes criterios derivados de diferentes medidas de mitigación en la gestión de residuos sólidos urbanos del cantón de San José, Costa Rica*. Revista de Ciencias Ambientales de la UNA. Vol 52 (1): 1-26, recuperado de: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/10114/12526>
 17. INEC (2017). *Estadísticas Vitales 2016 Población, Nacimientos, defunciones y matrimonios*. Recuperado de: <https://www.inec.cr/sites/default/files/documentos-biblioteca-virtual/replacestadvitales2016-1.pdf> (p.25)
 18. Jabiol, B., Zanella, A., Ponge, F., Sartori, G., Englisch, M., Delft, B., Waal, R., Le Bayon, R. (2013). *A proposal for including humus forms in the World Reference Base for Soil Resources (WRB-FAO)*. Geoderma, 1902: 286–294.
 19. Jaramillo, G; Zapata, L. (2008). *Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia*. Postgrado ambiental en la especialización en Gestión Ambiental Universidad de Antioquia de Colombia, recuperado de: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
 20. Jördenin, H., Winter, J. (2005). *Environmental Biotechnology*. Conceptos y Aplicaciones. WILEY-VCH VerlagGmbH., Co. KGaA, Weinheim. p: 333-354
 21. K.Hibino et al. (2020). *Operation Manual for Small-to-Medium Scale Compost Centres Using the Takakura Composting Method*. Recuperado de:

- https://www.iges.or.jp/en/publication_documents/pub/training/en/10774/Bandung_compost_manual_en.pdf.
22. Kalwasinska A., Keszy J., Wilk I. y Donderski W. (2011). *Neustonic versus epiphytic bacteria of eutrophic lake and their biodegradation ability on deltametrin*. *Biodegradation* 22, 699-707.
 23. Ministerio de Salud (2010). *Ley para la Gestión Integral de Residuos N°8839*. San José, Costa Rica, Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de:
https://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=68300
 24. Ministerio de Salud (2013). *Metodología para Estudios de Generación y Composición de Residuos Sólidos Ordinarios. N° 37745-S*. San José, Costa Rica, Sistema Costarricense de Información Jurídica. Recuperado de:
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=75341&nValor3=93371&strTipM=TC
 25. Ministerio de Salud (2016). *Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021*, San José, Costa Rica, Ministerio de Salud recuperado de:
<https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/biblioteca-de-archivos/sobre-elministerio/politcas-y-planes-en-salud/planes-en-salud/3025-plan-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-2016-2021/file>
 26. Morales, M. (2014). *Agotamiento de los Rellenos Sanitarios*. Recuperado desde:
<https://www.nacion.com/etiqueta/rellenos+sanitarios/>
 27. Morales, M. (2017). *Minae investiga colapso de pared de relleno sanitario junto al río Virilla*. Recuperado desde:
<https://www.nacion.com/el-pais/politica/minae-investiga-colapsodeparedderellenosanitariojuntoalriovirilla/WG5NNKKMEBGMJKGQGERV62OZMQ/story/>

28. Pillado, R. (2020). *Clasificación y reciclaje de Residuos*. Recuperado desde: <https://www.safetydoc.es/tipos-de-residuos-definicion-y-clasificacion/>
29. *Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial*. Recuperado desde: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/decreto_no_38272._reglamento_para_la_declaratoria_de_residuos_de_manejo_especial.pdf
30. Rueda, A. (2014). *Municipalidad de San Rafael de Heredia vende la mitad de los desechos recolectados cada mes*. Recuperado de: <https://www.ameliarueda.com/nota/municipalidad-de-san-rafael-de-heredia-vende-la-mitad-de-los-desechos-recol>
31. Rudín, V., Soto, S., & Linnenberg, C. (2019). *Primer informe Situación de la gestión de los residuos sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica*. San José, Costa Rica, Proyecto Acción Clima II. Recuperado de: <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/07/Primer-informe-Situaci%C3%B3n-de-la-Gesti%C3%B3n-de-los-Residuos-S%C3%B3lidos-para-la-determinaci%C3%B3n-de-la-NAMA-residuos-Costa-Rica.pdf>
32. Schnitman, G. 1992. *Agricultura Orgánica: experiencias de cultivo ecológico en la Argentina*. ECO-AGRO. Buenos Aires. p 349.
33. García, S. (2016). *¿Qué significa biodegradable?* Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/que-significabiodegradable/>
34. FAO, Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). *Manual del Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Recuperado desde: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

35. *Reglamento para la Declaratoria de Residuos de Manejo Especial*. Recuperado desde: http://www.digeca.go.cr/sites/default/files/decreto_no_38272._reglamento_para_la_declaratoria_de_residuos_de_manejo_especial.pdf
36. CCA (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético*. Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, recuperado desde: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD003593.pdf>
37. Ulloa, J. (2005). *Los Rellenos Sanitarios*. La Granja. Revista de Ciencias de la Vida. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca, Ecuador. Recuperado desde: <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>
38. Umaña, P. (2018). *Rellenos Sanitarios: ¿una bomba de tiempo para el ambiente?* UCR. Recuperado desde: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2018/11/13/rellenos-sanitarios-una-bombadetiempoparaelambiente.html#:~:text=%E2%80%9CCosta%20Rica%20est%C3%A1%20lleno%20de,y%20quebradas%E2%80%9D%2C%20explic%C3%B3%20Sago>

t

Apéndice 1. Procedimiento operacional diseño de plan de compostaje takakura para las comunidades y residenciales

Registro de revisiones de este procedimiento

Fecha	Revisión	Encargados	Descripción de la modificación a la versión anterior
04-04-2021	01	Raquel Salas Chaves y Eder Méndez	Creación del documento para el Sistema de Gestión de Ambiental para la Municipalidad de Esparza.

Copia Controlada

Copia No Controlada

Revisado y Aprobado por:

Revisado y Aprobado por:

Alcalde Municipal
Firma: _____
Fecha: _____

Encargado de Gestión Ambiental
Firma: _____
Fecha: _____

1. Propósito

Establecer una guía para llevar a cabo la implementación de un compostaje con el método de Takakura en centros poblacionales.

2. Alcance:

El presente procedimiento aplica para los hogares y comunidades donde se requiera implementar y mantener un proceso de compostaje para la gestión de los residuos orgánicos biodegradables producidos en la comunidad, bajo la supervisión de la Municipalidad de Esparza.

3. Conceptos

Para efectos del presente procedimiento, a continuación, se presenta un conjunto de términos y sus respectivas definiciones, para que el lector comprenda, a lo largo de la lectura, algunos términos ambientales.

Compostaje: “Es una mezcla de desechos orgánicos en forma organizada que se han descompuesto en forma natural, por la acción de organismos y el oxígeno hasta la transformación en humus, que provee fertilidad química y estructura grumosa al suelo” (Schnitman, 1992, p.349).

Generador: “Persona física o jurídica, pública o privada, que produce residuos al desarrollar procesos productivos, agropecuarios, de servicios, de comercialización o de consumo” (Ley 8839, 2010, p.5).

Gestión Integral de Residuos: “Conjunto articulado e interrelacionado de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, de planificación, monitoreo y evaluación para el manejo de los residuos, desde su generación hasta la disposición final” (Ley 8839, 2010, p.6).

Ley para la Gestión Integral de Residuos: “Ley que tiene por objeto regular la gestión integral de residuos y el uso eficiente de los recursos, mediante la planificación y ejecución de acciones regulatorias, operativas, financieras, administrativas, educativas, ambientales y saludables de monitoreo y evaluación” (Ley 8839, 2010, p.1).

Residuo: “Material sólido, semisólido, líquido o gas, cuyo generador o poseedor debe o requiere deshacerse de él, y que puede o debe ser valorizado o tratado responsablemente

o, en su defecto, ser manejado por sistemas de disposición final adecuados” (Ley 8839, 2010, p.6).

Residuos Biodegradable: Corresponden a los residuos naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente.

Separación: “Procedimiento mediante el cual se evita desde la fuente generadora que se mezclen los residuos, para facilitar el aprovechamiento de materiales valorizables y se evite su disposición final” (Ley 8839, 2010, p.7).

Valorización: “Conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor de los residuos para los procesos productivos, la protección de la salud y el ambiente” (Ley 8839, 2010, p.7).

4. Desarrollo

El presente documento busca brindar alternativas para la gestión integral de residuos sólidos orgánicos biodegradables, correspondientes al 41,89% de los residuos que se envían a los rellenos sanitarios diariamente. El procedimiento busca establecer un plan de acción modelo para la municipalidad, con el fin de lograr que los residuos puedan ser valorizados y aprovechados, hasta minimizar los impactos ambientales negativos que puedan estos generar en los rellenos sanitarios, en cumplimiento de la jerarquía de la gestión dispuesta en la Ley 8839.

5. Método de compostaje Takakura

El método Takakura se basa en el uso de microorganismos que descomponen la materia orgánica biodegradable, en un periodo corto de tiempo respecto a otros tipos de compostajes. Esta alternativa reduce la cantidad de desechos orgánicos producidos en los hogares de la ciudad y podría aprovechar los subproductos orgánicos generados en las labores agrícolas en el campo. En el método de compostaje Takakura, usa los residuos orgánicos sometidos al compostaje por medio de un cultivo de microorganismos que se adaptan al suelo y están comúnmente disponibles en el ambiente natural para eliminar los microorganismos indeseables.

La clave de llevar a cabo el método de compostaje Takakura es maximizar el proceso de la degradación natural de los residuos orgánicos. Hay tres factores principales que se debe tomar en cuenta, para evitar fallos en el proceso aeróbico del compostaje Takakura; estos son la humedad,

la temperatura y el oxígeno, los cuales deben trabajar sincronizadamente en armonía para cumplir el objetivo del material compostado.

Etapas del compostaje

Tipos de Fases	Características
Fase Mesófila	Esta fase es el inicio del compostaje, desarrollado entre los dos y ocho primeros días, empezando con temperatura ambiente hasta los 45°C. (Román et al., 2013).
Fase Termófila	En esta etapa los microorganismos se desarrollan a temperaturas medias, cuando superan los 45°C; los microorganismos producidos permiten la degradación de celulosa y la lignina, pues son compuestos que contienen más fuentes de C. (Román et al., 2013).
Fase de Enfriamiento	Una vez que se agotan las fuentes de nitrógeno y carbono, la temperatura del compostaje desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En esta fase se continúa con la degradación de polímeros como la celulosa y se puede confundir con la última fase (Román et al., 2013).
Fase de Maduración	En este proceso pueden demorar hasta 6 meses y se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román et al., 2013).

Factores importantes del compostaje

Factor	Característica
Humedad	La humedad es un parámetro vinculado a los microorganismos, pues usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor de los 55%. Si la humedad está por debajo del 45%, la actividad microbiana disminuye.
Temperatura	La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase de proceso, Lo anterior, de acuerdo con las fases mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración.
Oxígeno	El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos y libera a su vez, dióxido de carbono a la atmósfera.

Tipos de compostaje

- **Compostaje Familiar**

El compostaje doméstico se realiza a nivel familiar, en el jardín, terraza, huerta o cualquier otro lugar apropiado, a partir de cantidades pequeñas de residuos y mediante los sistemas más sencillos. Empezar la práctica de realizar compostaje doméstico significa una aportación individual importante de cara a la preservación del medio y sin duda, una satisfacción personal, porque permite cerrar el ciclo de la materia orgánica y colaborar en uno de los aspectos más conflictivos del tratamiento de residuos. Al desarrollando esta actividad somos consecuentes con la problemática creciente de generación de residuos (Alcolea y González, 2000, p.18).

Las dos formas más comunes de realizarlo en los hogares costarricenses es por medio de compra o confección de compostera o excavando huecos en la tierra, principalmente en las zonas habitacionales rurales o campestres.

- **Compostaje Comunitario**

Se puede considerar una opción intermedia entre el compostaje industrial y el doméstico, tanto a nivel de volumen de residuos compostados, como del número de personas que intervienen. Acostumbra realizarse en espacios o jardines comunes de viviendas, centros cívicos y escuelas.

Este tipo de compostaje representa una práctica social interesante y educativa, aunque implica una cierta organización de recursos y personas. El compost elaborado, se puede emplear para el mantenimiento y cuidado de las propias zonas comunitarias (Alcolea y González, 2000, p.17). Debe existir toda una logística a nivel comunal o residencial, pues se requiere dar mantenimiento al compostaje, al ser diaria la generación de residuos orgánicos biodegradables.

Proceso:

Para iniciar un compostaje Takakura inicialmente se deben desarrollar los microorganismos; la mayor cantidad posible para asegurar una descomposición rápida y sobre todo, efectiva. Esto se logra, a través de un compost semilla, el cual cuenta con dos mezclas: la dulce y salada. Para ello, se preparan dos soluciones de fermentación.

1. Mezcla dulce: Se colocan alimentos fermentados (yogurt natural y levadura, ambos aportan los hongos).
2. Mezcla salada: Para la segunda solución, se incorporan hojas de hortalizas y la piel de frutas y verduras.
3. Luego se tapan con un material semiabierto (gasa, o plástico adhesivo) con el fin de permitir la salida de los vapores generados en los procesos fermentativos. Al pasar 3-5 días los microorganismos ya están listos.
4. Paralelo a la fermentación, se va preparando el lecho de esta, que consiste en mezclar tierra con nutrientes, aserrín o cáscara de arroz.
5. Al lecho de fermentación se le agregan los líquidos de fermentación (mezcla dulce y salada) y se mezcla bien para que el líquido de fermentación quede uniformemente. Lo anterior, con el propósito de que la tierra afloje y quede suelta. Es importante que los materiales y el compost estén entre 40 y 60% de humedad, agregando la solución de fermentación y agua.
6. El lecho de fermentación se cubre con un tejido transpirable para evitar que lleguen los insectos. La cama del compostaje semilla estará listo cuando los microorganismos hayan proliferado en la superficie, cuando se perciba un moho blanco superficial, entre los días 5 y 7. Se debe mantener el lecho de fermentación bajo techo; a la intemperie se ve amenazada la humedad por factores naturales como la lluvia.

7. Agregado de residuos orgánicos biodegradables. Se recomienda que estos se trituren en trozos pequeños con ayuda de un cuchillo de cocina; una vez listos, finamente se mezclan bien con el lecho de fermentación. Si la descomposición de los residuos orgánicos se produce como se espera, debe tomar alrededor de unos meses para que el contenedor pequeño (caja plástica o compostera individual) se complete considerando la producción de residuos orgánicos biodegradable generados en un hogar.
8. Una vez que este se llene, parte del compost debe ser eliminado; entiéndase como abono utilizado en el jardín. No se debe retirar todo el abono; el compostaje restante seguirá actuando como lecho de fermentación. Así es más eficiente porque se pueden acortar los pasos iniciales de preparación, cuando se repite el proceso. Parte del éxito del método Takakura es dedicar unos minutos diarios para mezclar todos los componentes dentro del recipiente. Con esto se suministra el que requieren los microorganismos para mantenerse activos, trabajando eficientemente; además, evitar malos olores.
9. El producto generado se denomina compostaje semimaduro, en el cual las sustancias orgánicas no han sido totalmente descompuestas. Por lo tanto, los microorganismos fermentativos se mantienen activos después de la aplicación del compostaje. Se necesita estabilizar la mezcla durante 2-3 semanas antes de su utilización, para que se logren eliminar los microorganismos fermentativos. Finalmente, ya se tiene un abono energético y libre de patógenos, apto para aplicarse en todo tipo de cultivo, que aporta elementos nutritivos, aumenta la retención hídrica y la aireación del suelo. Con esto se mejora física, química y biológicamente el suelo, a un bajo costo.



Aprovechamiento del abono orgánico

El compostaje maduro se puede aprovechar de dos formas: para el autoconsumo o para su comercialización. El autoconsumo del compostaje se dirige para el uso en jardines de la casa y de las áreas comunes o para la aplicación de fertilizantes para la jardinería de localidad. Lo anterior, tiene como objetivo la reducción del presupuesto municipal para el cuidado de jardinería y cultivos en la fertilización de los suelos.

Cuando hay una sobreproducción de compostaje para el autoconsumo y estrategia de recompensa, se podría incursionar en su comercialización a otras entidades a través de contratos bilaterales, u obtención de otros productos a cambio del abono orgánico. Se podría intercambiar con algunas entidades confiables, las cuales requieren una gran cantidad de fertilizante orgánico y están dispuestas a contribuir con los esfuerzos de ecologización de la ciudad.

6. Formularios asociados

Ninguno.

7. Referencias

IGES (2010) Compostaje para la reducción de residuos. Recuperado: https://www.jica.go.jp/kyushu/office/ku57pq000009v1mc-att/comp_kit_low.pdf

K.Hibino et al. 2020. Operation Manual for Small-to-Medium Scale Compost Centres Using the Takakura Composting Method, recuperado de: https://www.iges.or.jp/en/publication_documents/pub/training/en/10774/Bandung_compost_manual_en.pdf

Tipos de compostajes bajo el método Takakura

El Manual de operaciones de pequeña a mediana escala para centros de compostaje bajo el método de Takakura del Institute for Global Environmental Strategies (IGES, 2020) menciona 4 tipos de compostajes, de acuerdo con el espacio y características del entorno, así como las cantidades de residuos orgánicos para procesar.

Tipos	Escala	Características
Tipo 1. Compostaje bajo el ingreso continuo de residuos orgánicos	< 500 familias	<ul style="list-style-type: none"> * Requiere solo un espacio reducido. * Puede ser adaptable de acuerdo con la cantidad de residuos orgánicos a procesar.
Tipo 2. Proceso de ingreso alternado de residuos orgánicos entre composteras	< 500 familias	<ul style="list-style-type: none"> * Requiere doble espacio comparado al tipo 2. * Más fácil para extraer material compostable.
Tipo 3. Compostera rotatoria	Entre 500 a 1000 familias	<ul style="list-style-type: none"> * Un simple proceso. * Permite tratar relativa cantidad de residuos orgánicos biodegradables.
Tipo 4. Contenedores (cajas plásticas)	< 500 familias	<ul style="list-style-type: none"> * Puede ser desarrollado en un limitado espacio y de mejor movilización.

Tipo 1. Compostaje bajo el ingreso continuo de residuos orgánicos

Se prepara una cama de compostaje semilla de tamaño de 1 metro cúbico para 30 kilogramos por día, máximo 50 kilogramos. Los residuos orgánicos se agregarán y mezclarán continuamente todos los días. Después de un mes, la cantidad de exceso de abono se puede extraer y se deja 1 metro cúbico funcionando como compostaje semilla.

El compostaje extraído madurará durante aproximadamente dos semanas. La frecuencia de agitación se puede reducir a cada 2 o 3 días.

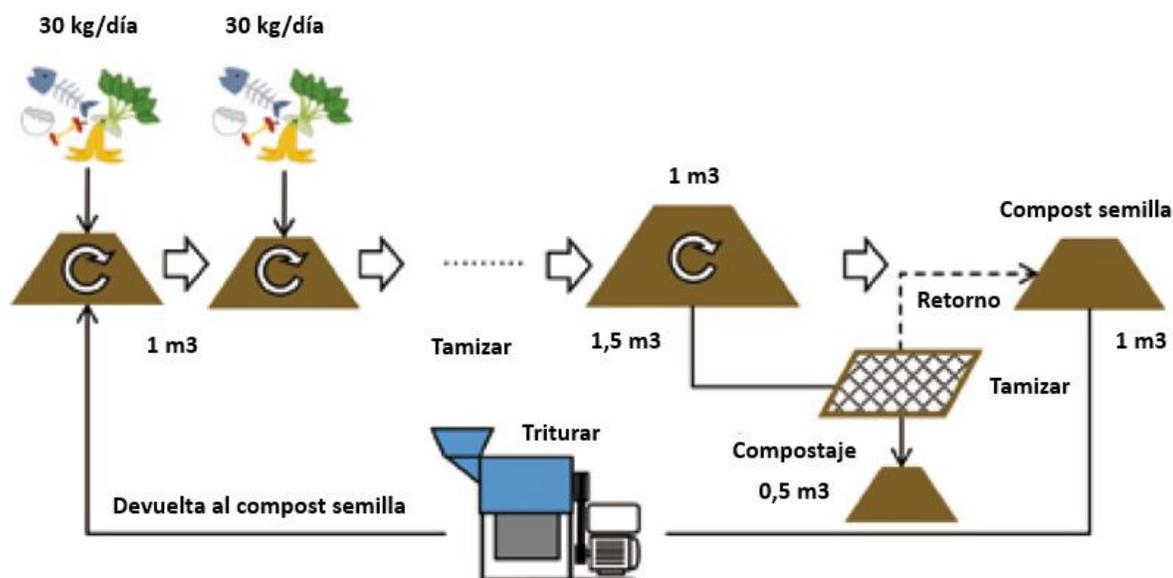


Tabla N°1. Compostaje bajo el ingreso continuo de residuos orgánicos

Tipo	0,5 kilogramos por familia	Ingreso diario de residuos orgánico (kg / día)	Egreso esperado diario de residuo orgánico (kg / día)	Pilas de compostaje	Ejemplo de diseño: (una unidad representa 2 metros cuadrados de compostaje en pilas)	Espacio requerido en metros cuadrados
Tipo: Ingreso continuo	60 a 100	30 a 50	6 a 10	1 m3 x 1		8
	120 a 220	60 a 100	12 a 20	1 m3 x 1		12
	180 a 300	90 a 150	18 a 30	1 m3 x 1		16

Una pila de compostaje (1 m3)
 Un espacio extra

Fuente: IGES, 2020

Tipo 2. Proceso de ingreso de residuos orgánicos en composteras

Se preparan dos juegos de pilas de compostaje semilla para un tamaño de 1 m³. Se agrega a la primera pila 30 kg/día de residuos orgánicos diariamente durante 2 semanas. Luego, se deja de agregar residuos orgánicos para que el abono madure, mientras se están agregando los residuos orgánicos diarios en la segunda pila. Después de 2 semanas de secado y maduración, mientras se agita una vez cada 2 o 3 días, el exceso se extrae, se tritura el compostaje, se deja 1 m³ (compostaje semilla) y se continúa agregando más residuos. Como tal, la adición de los desechos y la maduración se llevará a cabo alternativamente entre dos pilas.

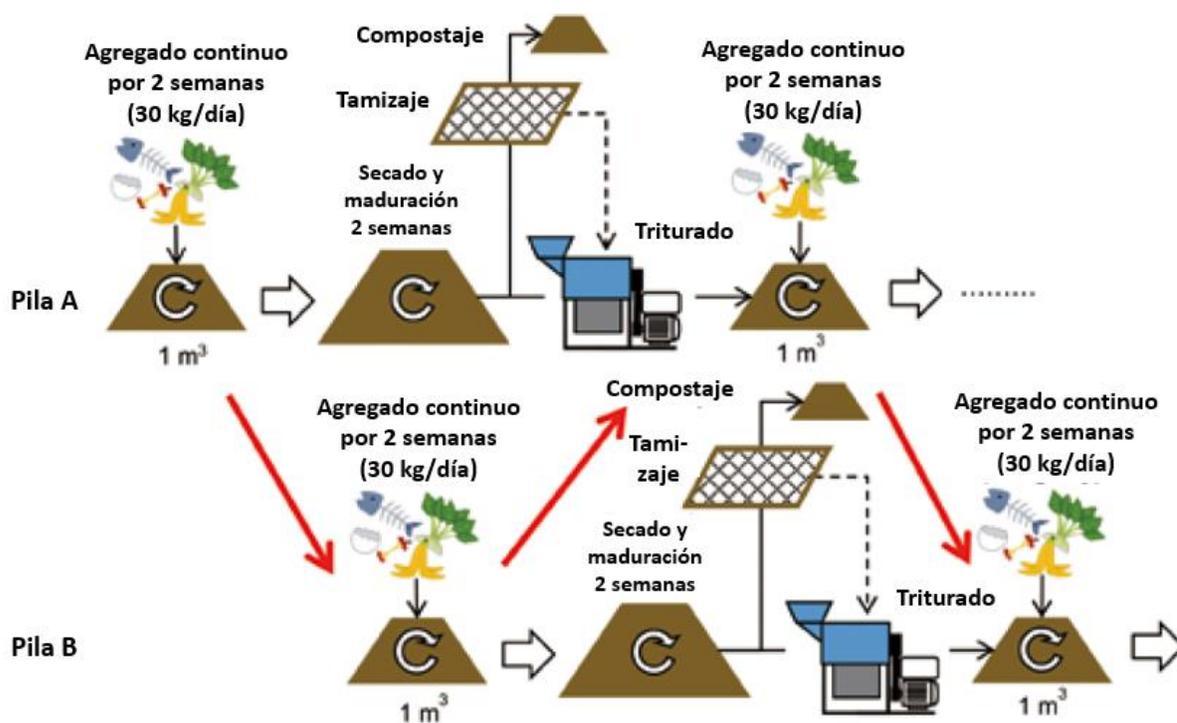
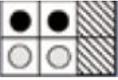
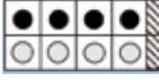


Tabla N°2. Proceso de ingreso de residuos orgánicos en composteras

Tipo	0,5 kilogramos por familia	Ingreso diario de residuos orgánico (kg /día)	Egreso esperado diario de residuo orgánico (kg / día)	Pilas de compostaje	Ejemplo de diseño: (una unidad representa 2 metros cuadrados de compostaje en pilas)	Espacio requerido en metros cuadrados
Tipo 2: Proceso de ingreso alternado entre composteras	120 a 200	60 a 100	12 a 20	1 m ³ x 4 (2 activos; 2 maduración)		24
	180 a 330	90 a 150	18 a 30	1 m ³ x 6 (3 activos; 3 maduración)		32
	240 a 400	120 a 200	24 a 40	1 m ³ x 8 (4 activos; 4 maduración)		40

 Una pila de compostaje (1-2 m³)

 Un espacio extra

 Una pila de compostaje: maduración (1-2 m³)

Fuente: IGES, 2020

Tipo 3. Rotación de composteras

A una pila de compostaje se le agrega completamente 1 m³ de residuos orgánicos biodegradables. Esta pila se mezclará todos los días durante 1 semana, sin adicionar residuos. Después de la primera semana, la frecuencia de mesclado o agitado se puede reducir una vez cada 2 a 3 días, durante las próximas 2 semanas. Durante este proceso, los materiales orgánicos se descompondrán y el exceso de humedad se evaporará, hasta disminuir el volumen gradualmente. Después de 3 semanas se separa el compostaje, se tritura y se tamiza para su uso; el 1 m³ restante se reutilizará como compostaje semilla para la mezcla con nuevos residuos orgánicos.

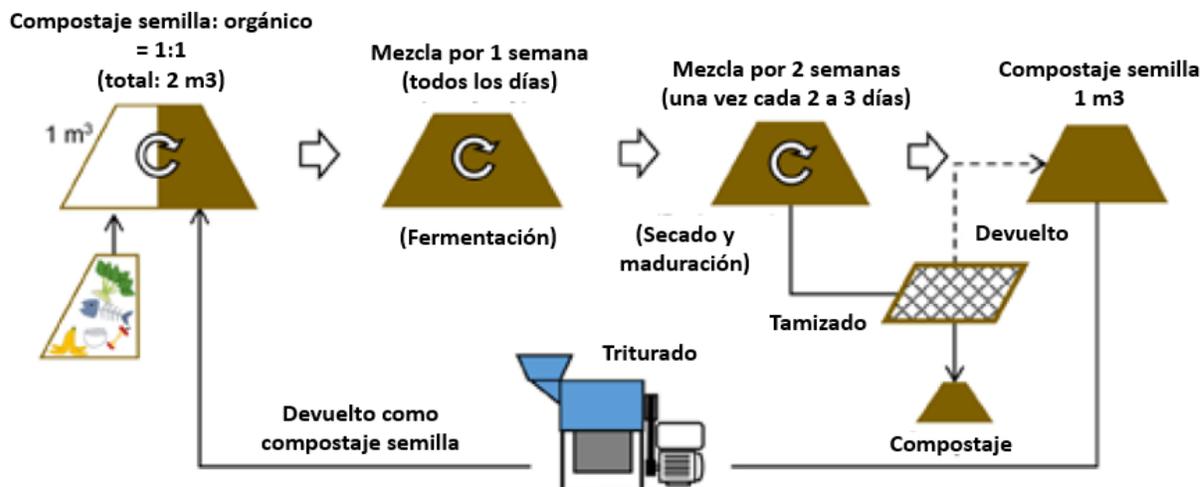


Tabla N°3. Rotación de Composteras

Tipo	0,5 kilogramos por familia	Ingreso diario de residuos orgánico (kg / día)	Egreso esperado diario de residuo orgánico (kg / día)	Pilas de compostaje	Ejemplo de diseño: (una unidad representa 2 metros cuadrados de compostaje en pilas)	Espacio requerido en metros cuadrados
Tipo 3: Rotación de composteras	500	250	50	1 m ³ x 21		96
	1000	500	100	2 m ³ x 21		
	1500	750	150	1 m ³ x 42		192
	2000	1000	200	2 m ³ x 42		

Una pila de compostaje: maduración (1-2 m³)
 Un espacio extra

Fuente: IGES, 2020

Tipo 4. Contenedores (cajas plásticas)

Este método es flexible, se puede implementar en un espacio limitado y cuando existe la necesidad de mover la ubicación del centro de compostaje. Trabaja el mismo volumen de compostaje y de desechos orgánicos (1:1), por lo cual se mezclan y se colocan en cajas plásticas con mallas para 40 litros, cubiertos con un paño para evitar a que las moscas entren a la caja. Una vez agregados los residuos orgánicos, se mezcla el contenido de los recipientes durante tres

semanas. Luego, tamizar el compostaje para su uso; el 1 m³ restante se triturará y será devuelto al proceso de compostaje semilla para continuar con la mezcla más residuos orgánicos.

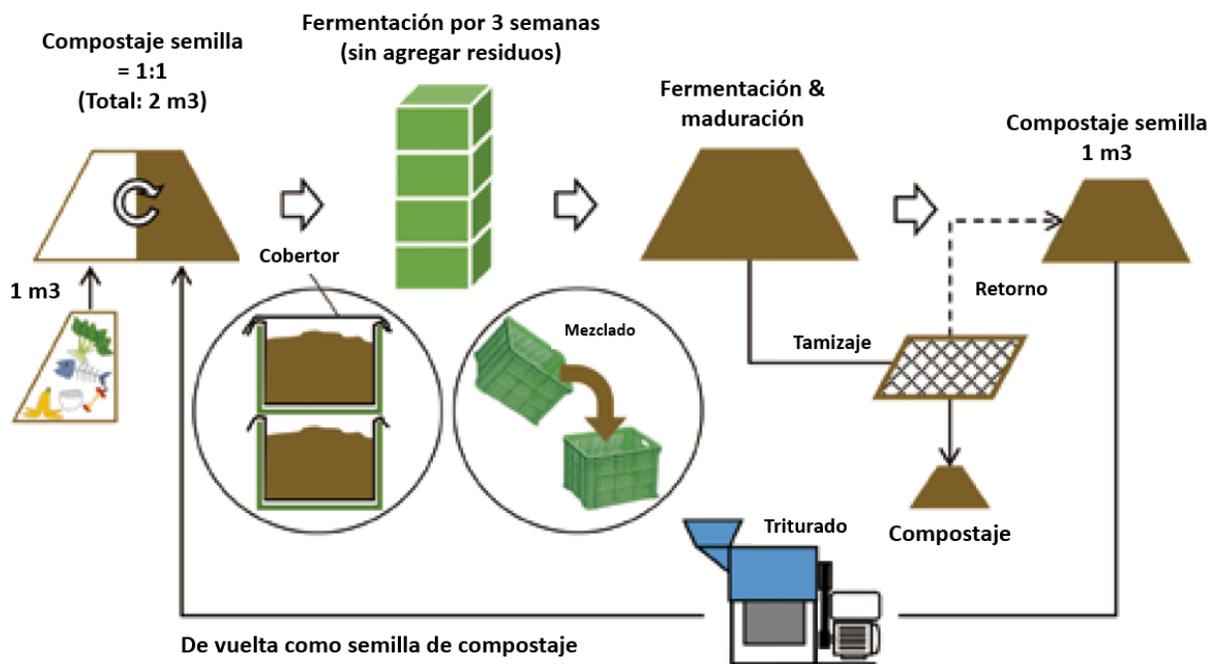


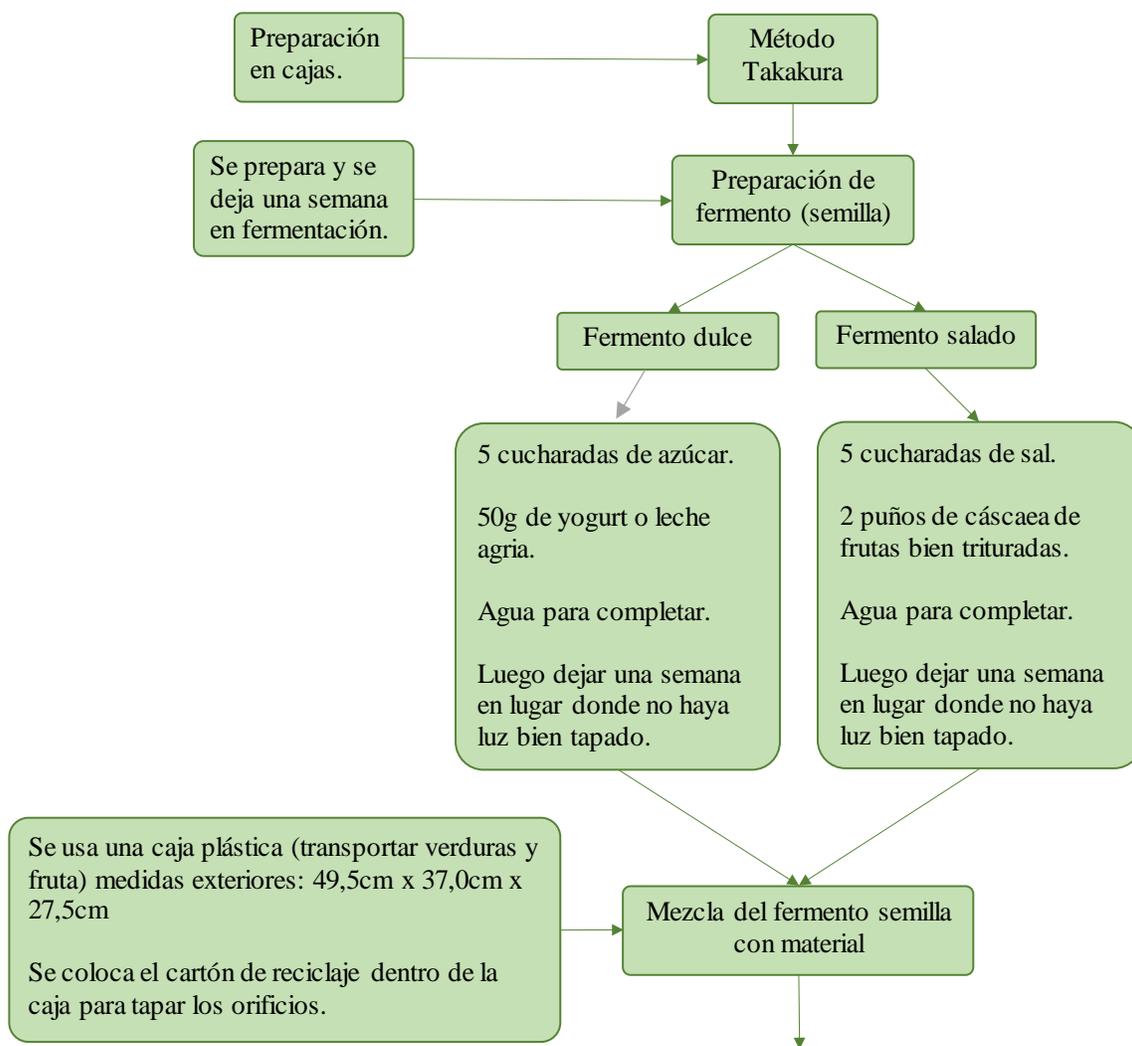
Tabla N°4. Contenedores (cajas plásticas)

Tipo	0,5 kilogramos por familia	Ingreso diario de residuos orgánico (kg /día)	Egreso esperado diario de residuo orgánico (kg / día)	Contenedores plásticos	Numero de pilas de contenedores	Espacio requerido en metros cuadrados
Tipo: Contenedores (cajas plásticas)	80	40	8	40 L x 4	1 pila 	0,5
	160	80	16	40 L x 8	2 pilas 	1
	240	120	24	40 L x 12	3 pilas 	1,5

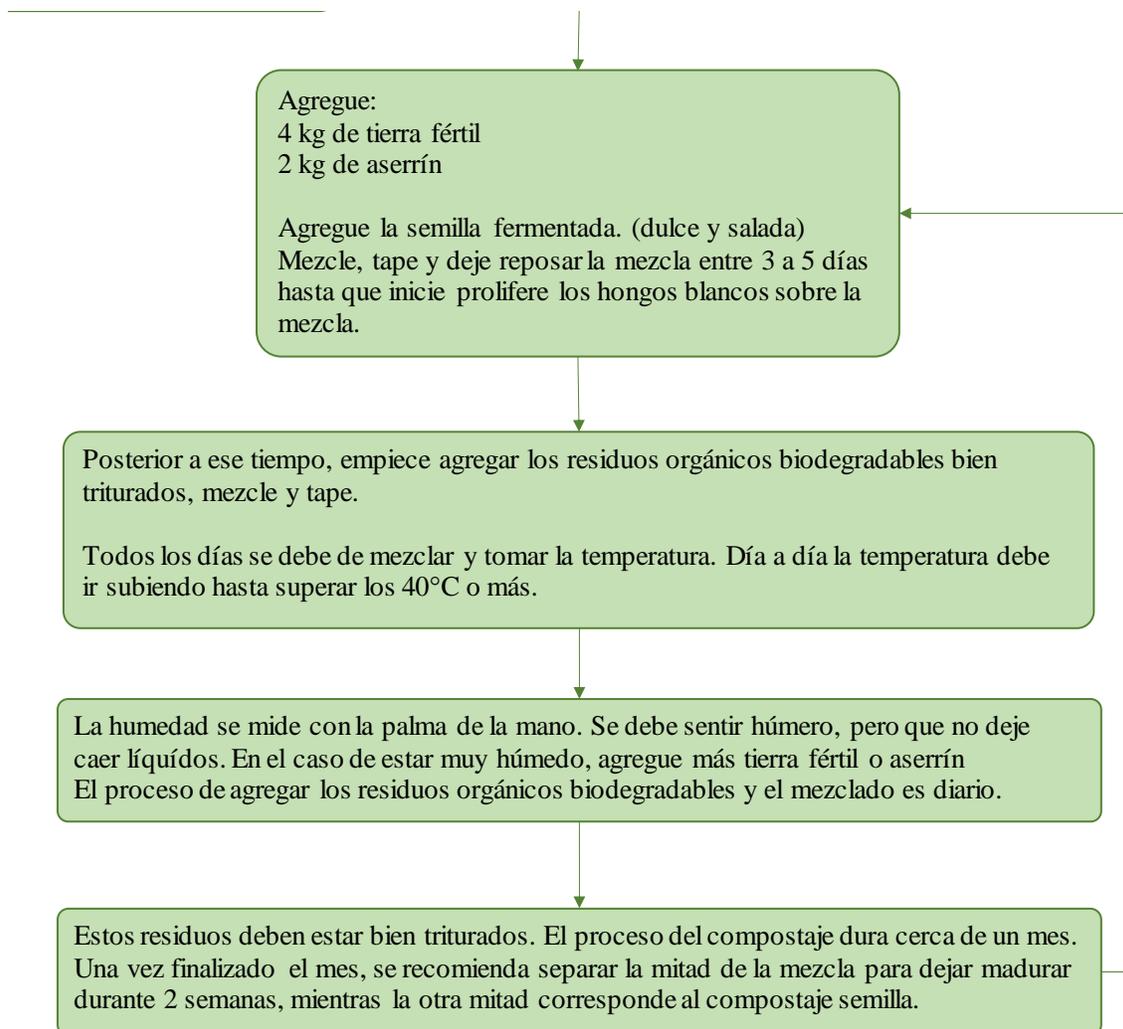
Fuente: IGES, 2020

Diagrama del método Takakura (cajas plásticas)

Figura N°1. Preparación del Compostaje Semilla

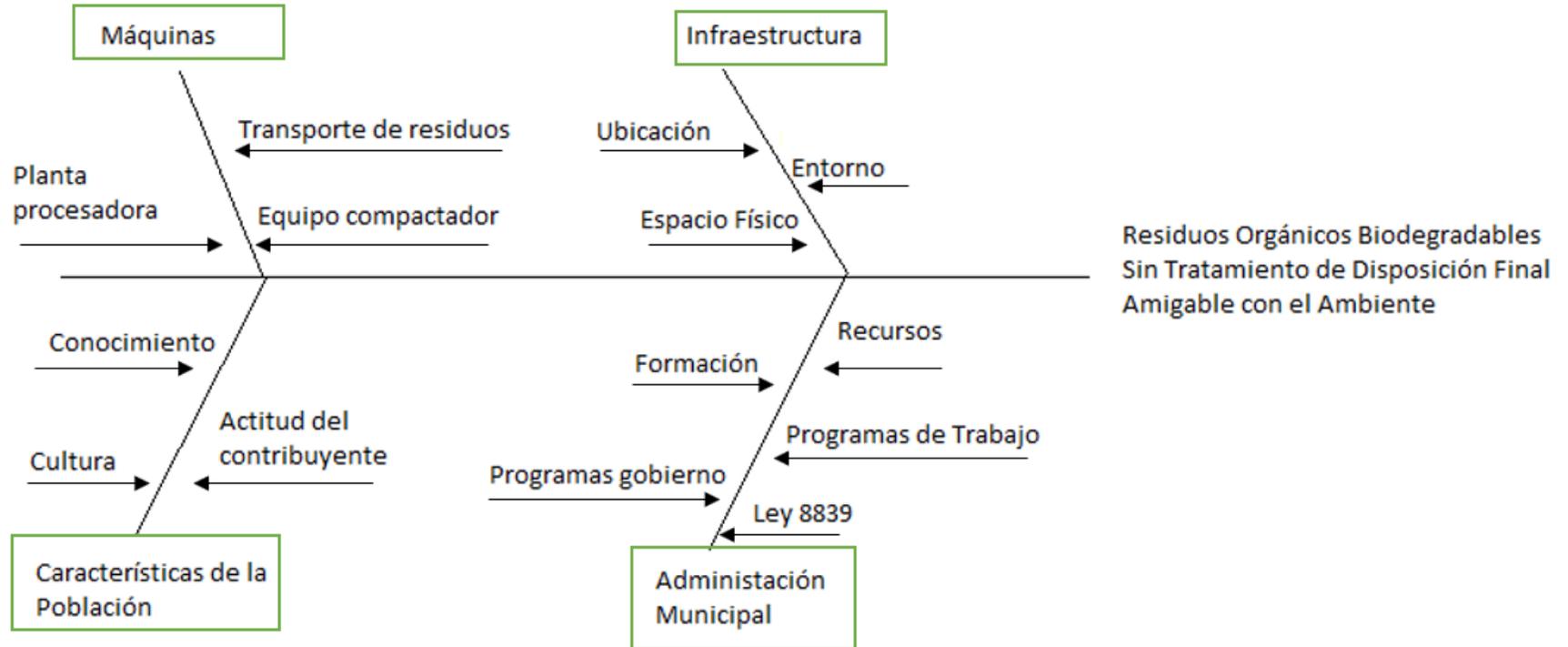


Fuente: Referencia propia

Figura N°2. Preparación y seguimiento del compostaje

Fuente: Referencia propia

Apéndice 2. Diagrama de Causa – Efecto



Apéndice 3. Cuestionario de salida. Prueba de compostaje del método Takakura

Encuesta para Proyecto de Graduación

1. En general, ¿cómo fue su experiencia con la recolección de residuos orgánicos biodegradables para las pruebas con el método Takakura?

A) Excelente B) Aceptable C) Regular D) Pésimo

2. ¿Cómo califica el interés de su comunidad en los temas ambientales?

A) Excelente B) Aceptable C) Regular D) Pésimo

3. ¿Cómo considera la situación actual del manejo de residuos sólidos en Esparza?

A) Excelente B) Aceptable C) Regular D) Pésimo

4. ¿Estaría su familia dispuesta a formar parte del compostaje comunitario por medio del método Takakura?

A) Sí B) No C) No sé.

5. ¿En su comunidad se practican actividades en beneficio de la reducción de residuos sólidos?

A) Sí B) No C) No sé

6. ¿Sabe usted que desde julio de 2010 se promulgó la Ley 8839, Ley para la gestión integral de residuos, que obliga a separar los materiales reciclables de los residuos sólidos?

A) Sí B) No

Link de la encuesta: https://docs.google.com/forms/d/1-hhSsYoVqax5zhS4y0FYT_cTZjtz6-vIPb5S4fxu_s/edit

Anexo 1. Carta de aceptación de la organización para el proyecto de graduación

Municipalidad de Esparza
Recursos Humanos
Teléfono 2636-01-00 Ext. 102 Fax 2636-01-30

Esparza, 03 de abril 2020

Comité Evaluación Proyectos de Graduación
Carrera ISOA
Universidad Técnica Nacional
Sede Central

Estimados señores:

Se da el visto bueno para que los estudiantes Raquel Salas Chaves, portadora del número de cédula: 6-381-454 y Eder Méndez Campos portador del número de cédula: 1-1584-659, puedan desarrollar el proyecto de graduación en la Municipalidad de Esparza, para que opten por el grado de licenciatura en Ingeniería en Salud Ocupacional y Ambiente

Nuestro agradecimiento por elegirnos y quedo a sus ordenes para cualquier consulta adicional en el teléfono 2636-01-79; e mail jchaves@muniesparza.go.cr

Atentamente,

Lic. José Antonio Chaves Sancho, MBA
Gestor de Recursos Humanos

Firmado digitalmente por: JOSE ANTONIO
CHAVES SANCHO (AUTENTICACION)
Fecha y hora: 03.04.2020 09:49:07

cc: archivo

----- Fin del documento -----