



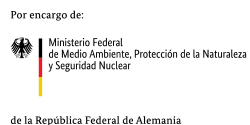
TRANSFORMA

RESIDUOS EN RECURSOS



PRIMER INFORME DE AVANCE (Producto 5)

Análisis de mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluación del costo-beneficio de las tecnologías disponibles en residuos valorizables que pueden dar una oportunidad de negocio



En cooperación con:



Contenido

1. Presentación.....	9
2. Resumen del manejo actual de los residuos orgánicos en Costa Rica	10
2.1. Compostaje.....	10
2.2. Soluciones ejecutadas en Costa Rica	11
3. Descripción técnica y financiera de las tecnologías disponibles en Costa Rica .	14
3.1. Descripción del método compostaje en patio	14
3.1.1. Descripción del proceso compostaje.....	14
3.1.2. Requerimientos básicos de infraestructura	16
3.1.3. Costos de inversión y de mantenimiento	19
3.2. Compostaje en bolsas silo	23
3.2.1. Descripción del método.....	23
3.2.2. Descripción del proceso.....	23
3.2.3. Requerimientos básicos de infraestructura	24
3.2.4. Costos de inversión y de mantenimiento bolsas de silo	27
3.3. Compostaje en hilera con aire inducido	29
3.3.1. Costos de inversión y de mantenimiento de la compostera en hilera con aire inducido	30
3.4. Biometanización	32
3.4.1. Descripción del método.....	32
3.4.2. Descripción del proceso.....	32
3.4.3. Requerimientos básicos de infraestructura	33
3.4.4. Resumen de la inversión y costos de operación y mantenimiento de tecnologías centralizadas.....	37
3.5. Compostaje en sitio.....	38
3.5.1. Compostaje en tambor rotatorio	38
3.5.2. Lombricompostaje	40
3.5.3. Compostera en cajón de madera	41
3.5.4. Método de compostaje takakura	42
3.5.5. Composteras eléctricas	43
3.5.6. Inversión de tecnologías en sitio	44
4. Otras iniciativas impulsadas en el Costa Rica para el tratamiento de los residuos orgánicos.....	46
4.1.1. Proyecto de recuperación y tratamiento de residuos sólidos para la provincia de Cartago.....	46

4.1.2. Proyecto de la Región Brunca	48
5. Consideraciones finales	49
6. Fuentes bibliográficas.....	51
7. Anexos	53
Anexo 1. Lista de personas entrevistadas	53
Anexo 2. Estado de ejecución del plan de trabajo	54

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Fases del proceso de producción de compostaje.....	10
Ilustración 2. Resumen de las tecnologías de tratamiento de los residuos sólidos en Costa Rica.....	11
Ilustración 3. Proceso de producción de un patio de compostaje	15
Ilustración 4. Modelo de distribución de un patio de compostaje.....	16
Ilustración 5. Planta de compostaje de la Municipalidad de Pérez Zeledón, a la izquierda las instalaciones actuales y a la derecha la ampliación de la infraestructura	17
Ilustración 6. Proceso de producción del compostaje en bolsas silo.....	24
Ilustración 7. Maquina empacadora de bolsas silo	26
Ilustración 8. Sistema de aire inducido en lomillos de compost	29
Ilustración 9. Sistema de aire inducido en un recipiente cerrado	31
Ilustración 10. Proceso de producción de una planta de biometanización.....	33
Ilustración 11. Planta de Biometanización, empresa COGERSA, gobierno de Asturias, España	35
Ilustración 12. Planta de Biometanización, empresa Hitachi Zosen INOVA, Suiza ...	36
Ilustración 13. Tambor rotatorio de la empresa 360 soluciones verdes	38
Ilustración 14. Tambor rotatorio de la empresa Biofutura	39
Ilustración 15. Tambor rotatorio de la empresa Milenio Tres.....	39
Ilustración 16. Tambor rotatorio modelo comercial	40
Ilustración 17. Lombricario	41
Ilustración 18. Compostera en cajón de madera	42
Ilustración 19. Método takakura.....	43
Ilustración 20. Foodcycler. Modelo FC-30.....	43

Índice de cuadros

Cuadro 1. Dimensiones generales propuestas para las áreas de un patio de compostaje en el cantón de Dota	17
Cuadro 2. Requerimientos básicos de equipo y de mano de obra para un patio de compostaje	18

Cuadro 3. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el proceso de un patio de compostaje.....	18
Cuadro 4. Costos de inversión del compostaje en patio (en dólares)	19
Cuadro 5. Costos anuales de operación del compostaje en patio (en dólares).....	20
Cuadro 6. Residuos sólidos tratados en la planta de compostaje de la municipalidad de Pérez Zeledón (ton/anuales).....	21
Cuadro 7. Dimensiones generales propuestas para las áreas del método de compostaje en bolsas silo	24
Cuadro 8. Requerimientos básicos de equipo y de mano de obra para el método de compostaje en bolsas silo	25
Cuadro 9. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el compostaje en bolsas silo.....	26
Cuadro 10. Costos de inversión del compostaje en bolsas silo (en dólares)	27
Cuadro 11. Costos anuales de operación del compostaje en bolsas silo (en dólares)	28
Cuadro 12. Costos de inversión del compostaje con sistemas de aire inducido (en dólares).....	30
Cuadro 13. Costos anuales de operación del compostaje con sistemas de aire inducido (en dólares)	31
Cuadro 14. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el compostaje en bolsas silo.....	36
Cuadro 15. Resumen de las principales variables técnicas y financieras de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares)	37
Cuadro 16. Inversión de tecnologías para las viviendas (en dólares).....	44
Cuadro 17. Resumen de costos de inversión y de operación según etapa (en MUSD/año).....	47
Cuadro 18. Resumen de los porcentajes de la inversión para las etapas.....	48
Cuadro 19. Estado de ejecución del plan de trabajo	54

Siglas

ACEPESA	Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
BMU	Ministerio de Ambiente (por sus siglas en alemán).
CO ₂	Dióxido de Carbono.
CO ₂ e	Dióxido de Carbono Equivalente.
CAMCAYCA	Confederación de Asociaciones Nacionales de Municipios de Centroamérica y el Caribe.
CRUSA	Fundación de Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación.
CYMA	Programa Competitividad y Medio Ambiente en Costa Rica.
DCC	Dirección de Cambio Climático.
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GIRS	Gestión Integral de Residuos Sólidos.
GIZ	Cooperación Internacional Alemana.
FUNDEVI	Fundación de la Universidad de Costa Rica.
IFAM	Instituto de Fomento y Asesoría Municipal.
IKI	Iniciativa Internacional de Cambio Climático (por sus siglas en alemán).
IMN	Instituto Meteorológico Nacional.
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
NAMA	Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (por sus siglas en inglés).
RDF	Combustible Derivado de Residuos (por sus siglas en inglés).
UNGL	Unión Nacional de Gobiernos Locales.
UCR	Universidad de Costa Rica.
UTN	Universidad Técnica Nacional.

Conceptos

Los siguientes conceptos se tomaron de diferentes documentos elaborados por el Programa CyMA – GIZ, de la Guía de implementación del PPCN 2.0 categoría cantonal y a la legislación vigente en el país.

Aire Inducido: Aire que se introduce dentro de un cúmulo o lomillo de compost para acelerar el proceso de transformación de los residuos orgánicos.

Agentes fitopatógenos: Microorganismos que ocasionan enfermedades y daños a las plantas.

Biomasa: Masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente. Por ejemplo, la lecha, los restos o los residuos de poda.

Biometanización: Proceso de descomposición de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, esto lo hace ser un tratamiento anaerobio, utiliza únicamente los gases producidos por los propios residuos, en reactores cerrados denominados digestores, principalmente por acción del metano y dióxido de carbono.¹

Compost: Mejorador del suelo que se obtiene luego de un proceso de descomposición de la materia orgánica en condiciones húmedo aeróbicas o con presencia de oxígeno.

Compostaje: Técnica que permite la descomposición aeróbica de la materia orgánica biodegradable en forma controlada para lograr un producto utilizable como mejorador de suelo.

Digestato: Remanente sólido del proceso de biometanización. El digestato debe ser retirado del reactor, cuando la producción de gas disminuye. Debe trasladarse a un patio de compostaje para ser transformado en abono.

Digestión anaeróbica: También conocida como “biodigestión”, es un proceso de descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno que genera una mezcla de gases (principalmente metano y CO₂), conocida como “biogás”, y a una suspensión acuosa o “lodo” que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica.

Disposición final: Última actividad operacional del manejo de residuos sólidos, mediante la cual los residuos son descargados en forma definitiva, en un lugar debidamente acondicionado para tal fin.

Emisión: Liberación a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

Generación: Se origina cuando una persona física o jurídica, pública o privada, produce residuos al desarrollar procesos productivos, agropecuarios, de servicios, de comercialización o de consumo.

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.

Gestor: Persona física o jurídica, pública o privada, encargada de la gestión total o parcial de los residuos, y autorizada conforme a lo establecido en la Ley 8839 o sus reglamentos.

Horas Luz: Cantidad de tiempo en el día en el que existe la luminosidad del sol.

Humedad relativa: Cantidad de vapor de agua contenida en el medio o bien introducida por masas de aire, actúa directamente con la temperatura que transforma el agua en vapor.

¹ M. Soliva. M. (2011). *Guía para la recogida separada y gestión de la fracción orgánica*. Ministerio de Transición Ecológica. España.

Humus de lombriz: Véase lombricompostaje.

Lixiviado: Líquido percolado a través de los residuos sólidos, acarrea materiales disueltos o suspendidos.

Lombricario: Unidad confinada donde habitan las lombrices, de estructura artificial hecha por los seres humanos.

Lombricompostaje: Método de transformación de los residuos sólidos orgánicos, por medio de la digestión de las lombrices.

Madurez: Estabilidad de temperatura, humedad y pH de un material procesado.

Manejo integral: Medidas técnicas dirigidas a darle a los residuos el destino más adecuado de acuerdo a sus características, con la finalidad de prevenir daños o riesgos a la salud humana o al ambiente. Incluye el almacenamiento, limpieza de vías y áreas públicas, recolección, transferencia, transporte, tratamiento, disposición final. Así como la valorización de los residuos valorizables.

Mesófila: Etapa del proceso de compostaje donde se da el inicio y fin de la influencia de la temperatura.

Metano: Es un hidrocarburo, gas de efecto invernadero, producido por la descomposición anaerobia (sin oxígeno) de residuos en vertederos; por la digestión animal; la descomposición de residuos animales; la producción y distribución de gas natural y petróleo; la producción de carbón y la combustión incompleta de combustibles fósiles. El metano es uno de los seis gases de efecto invernadero que se intenta reducir en el marco del Protocolo de Kyoto.

Micro organismos eficientes: Cultivo que une a diferentes especies de microorganismos beneficiosos aeróbicos (que pueden vivir con oxígeno) o anaeróbicos (que necesitan oxígeno para vivir). Al juntarlos se obtienen un producto líquido muy beneficioso para el tratamiento de aguas residuales, reducción de malos olores, entre otros.

Pelletización: Método utilizado para el procesamiento de un material (materia orgánica, plásticos, metales) para convertirlo en pellets o gránulos. Es el primer paso para la transformación, se utilizan máquinas y equipo.

Pellets: Pequeñas unidades de biomasa comprimida.

Precipitación: Cantidad de lluvia promedio que se deposita en un territorio.

Protocolo de Kyoto: El protocolo de Kioto es un convenio de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio Climático (CMNUCC) y un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr la disminución en la emanación de seis gases de efecto invernadero, que originan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y gas metano (CH₄); además de otros tres gases industriales fluorados como lo son: perfluorocarbonos (PFC), hidrofluorocarbonos (HFC), y hexafluoruro de azufre, en al menos un 5%.²

Reciclaje: Transformación de los residuos por medio de distintos procesos de valorización que permiten restituir su valor económico y energético, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución implique un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud y el ambiente.

² <https://conceptodefinicion.de/protocolo-de-kioto/>

Recolección: Acción de recolectar los residuos sólidos de competencia municipal en las fuentes de generación o recipientes, que serán trasladados a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento, o disposición final.

Recolección selectiva: Servicio de recolección separada de residuos sólidos previamente separados en la fuente que permite que ciertos residuos sólidos puedan ser valorizados.

Relleno Sanitario: Método de ingeniería para la disposición final de los residuos sólidos que se generan en el cantón de acuerdo con el Reglamento de Rellenos Sanitarios.

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.

Residuos ordinarios: Residuos de carácter doméstico generados en viviendas y en cualquier otra fuente, que presentan composiciones similares a los de las viviendas. Se excluyen los residuos de manejo especial o peligroso, regulados en la Ley 8839 y en su Reglamento.

Residuo sólido valorizable: Residuo que tiene valor de reuso o tiene potencial de ser valorizado a través de procesos de reciclaje o compostaje.

Residuo sólido no valorizable: Residuo que no tiene valor de uso o recuperación y que debe ser adecuadamente dispuesto en un relleno sanitario.

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.

Silo: Método en el cual se depositan materiales dentro de una bolsa o recipiente cerrado de cualquier material como metal o plástico, la cual es de gran tamaño y posee características resistentes a las condiciones del medio.

Temperatura: Magnitud del calor ambiental, que se puede medir por medio de termómetros.

Termófila: Etapa del proceso de compostaje donde se da el pico de influencia de la temperatura.

Transformación: Véase tratamiento.

Tratamiento: Proceso de transformación físico, químico o biológico de los residuos sólidos que procura obtener beneficios sanitarios o económicos, reduciendo o eliminando los efectivos nocivos para la salud y el ambiente.

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.

Vermicompost: Véase lombricompostaje.

Vertedero: Sitio o paraje, sin preparación previa, donde se depositan los residuos sólidos, sin técnica o mediante técnicas muy rudimentarias y en el que no se ejerce un control adecuado.

Volteadora: Maquinaria que se utiliza para remover y cambiar de lugar un material sólido.

1. Presentación

El presente informe de avance corresponde al *producto 5: Evaluar técnica y financieramente el uso de tecnologías de tratamiento para residuos orgánicos*, de la consultoría **análisis de mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluación del costo-beneficio de las tecnologías disponibles en residuos valorizables que pueden dar una oportunidad de negocio, concurso 106-2019** y es ejecutada por la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA).

Esta investigación tiene como objetivo general **“analizar el mercado de los residuos sólidos ordinarios, sus subproductos y evaluar sus opciones tecnológicas que puedan servir como oportunidad de negocio a nivel nacional”**.

Los objetivos específicos planeados son:

1. Determinar potenciales subproductos y/o usos de los residuos sólidos ordinarios actualmente en el sector residuos y en el mercado nacional.
2. Determinar el impacto y costo-beneficio de tecnologías existentes en la logística, valorización y/o tratamiento de los residuos sólidos ordinarios.
3. Desarrollar casos de estudio tipo Harvard para subproductos como oportunidad de negocios escalables a nivel nacional.
4. Valorar técnica y financieramente el uso de tecnologías de tratamiento para residuos orgánicos.
5. Acompañar y asesorar en talleres de intercambio de experiencias con municipalidades y actores del sector privado (industria, exportadores, importadores, procesadores, recicladores) según los resultados obtenidos en la consultoría.

Como resultado de la revisión de fuentes primarias y de la entrevista a personas clave en el tema, como lo es la UNGL y el IFAM, así como a personas empresarias, se logró la realización del presente informe (**Anexo 1**, lista de personas entrevistadas).

En el **Anexo 2** se presenta el estado de avance según el plan de trabajo establecido.

A continuación, se presenta la información en cuatro secciones. En la primera se introduce un resumen de la situación de manejo de los residuos orgánicos en Costa Rica, en el segundo la descripción técnica y financiera de tecnología disponible, en el tercero otras iniciativas en la transformación de residuos orgánicos en desarrollo en el país y en el cuarto las consideraciones finales.

2. Resumen del manejo actual de los residuos orgánicos en Costa Rica

2.1. Compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que puede llevarse a cabo con presencia de oxígeno (aerobio) o sin oxígeno (anaerobio), se puede utilizar a pequeña y gran escala, requiere, además, condiciones controladas de ventilación, humedad y temperatura. El resultado de este proceso es la descomposición de los residuos orgánicos imitando la transformación natural de la materia presente en la naturaleza.

La actividad microbiana principalmente de hongos y bacterias aceleran el proceso, cerrando el ciclo de la materia orgánica, al aplicar el compost (abono, enmienda orgánica o mejorador de suelos) de nuevo en el suelo en la agricultura o en la jardinería.

El proceso químico del compostaje se divide en cuatro fases, como se muestra en la **ilustración 1**.



Ilustración 1. Fases del proceso de producción de compostaje

Fuente: Actualización de ACEPESA, 2017

Según algunos autores (as) el proceso de compostaje se divide en tres tipos:

- Manual ocurre con o sin ayuda de organismos aditivos (lombrices, enzimas, entre otros).
- El compostaje semi-mecanizado.
- El compostaje mecanizado.

Las operaciones técnicas de estos tipos son muy diferentes, sin embargo, el principio fundamental del proceso biológico es similar: mezclar, dar movimiento, aireación, humedecimiento y aplicar los parámetros de ajuste requeridos. Además, rescatan los autores que no se concluye que un sistema sea objetivamente mejor que el otro, sino que cada tecnología debe evaluarse para considerar un programa exitoso de compostaje. Por esa razón, en el siguiente apartado, se retoman aspectos técnicos y financieros de forma general.

2.2. Soluciones ejecutadas en Costa Rica

Como resultado del presente estudio, se puede afirmar que los residuos orgánicos en Costa Rica se están transformando principalmente de dos maneras: en primer lugar, mediante una solución **en sitio**, es decir, a escala domiciliar, comercial y mediante los métodos de takakura³, lombricompost o tambores rotatorios. En segundo lugar, a mayor escala, en plantas de **compostaje centralizadas**, ya sea municipales, privadas o una combinación de ambas (**Ilustración 2**).

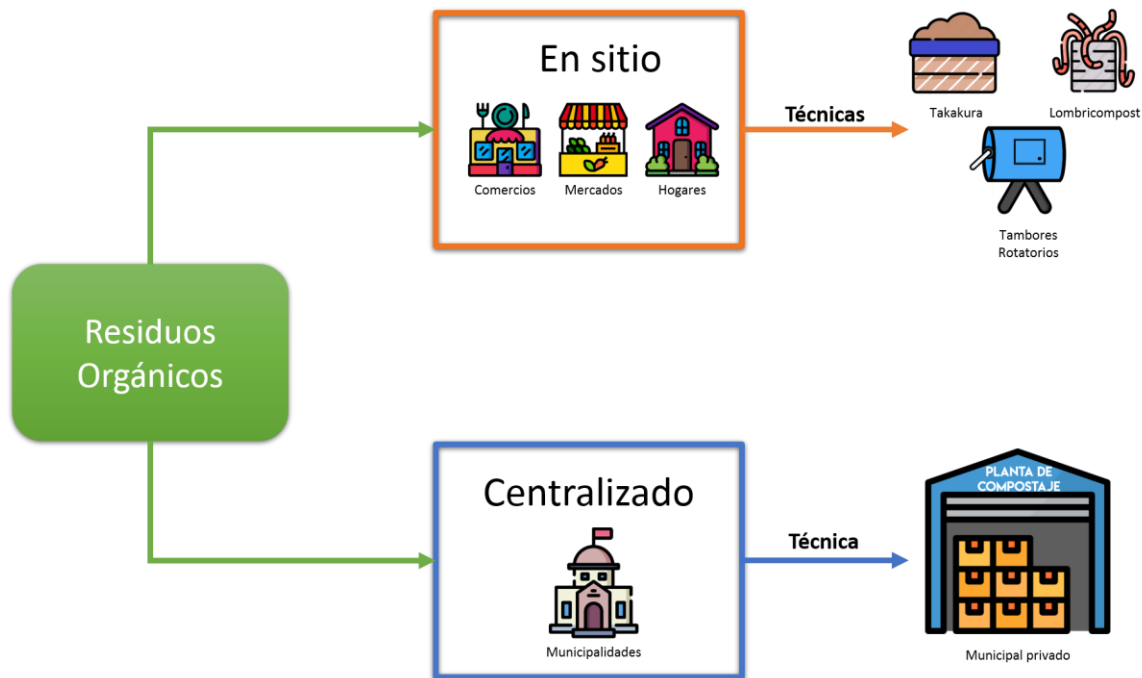


Ilustración 2. Resumen de las tecnologías de tratamiento de los residuos sólidos en Costa Rica

Fuente: elaboración propia

Respecto a las soluciones en sitio, se detectó que 18 municipalidades y 2 Concejos de Distrito, impulsan la tecnología del tambor rotatorio y el método takakura, principalmente en hogares y en un caso también se está utilizando el lombricompost con

³ Método japonés.

los residuos orgánicos provenientes de las sodas del mercado. Las iniciativas consisten en la compra de las tecnologías a alguna empresa nacional que las ofrece y se acompaña con un proceso de capacitación, para que las personas usuarias aprendan su uso.

La lista de municipalidades donde se desarrollan iniciativas de tratamiento en sitio es:

- Alajuela
- Corredores
- Consejo de Distrito de Paquera
- Consejo de Distrito de Monteverde
- Curridabat
- Desamparados
- Escazú
- Golfito
- Grecia
- La Unión
- Heredia
- Montes de Oca
- Mora
- Palmares
- Oreamuno
- San Isidro de Heredia
- San José
- San Pablo
- San Rafael
- Santo Domingo

Las municipalidades que tienen sistemas centralizados son:

- Alvarado
- Pérez Zeledón
- San Rafael
- Jiménez
- San Isidro
- Tilarán

Además, las personas pueden adquirir estas tecnologías disponibles en el mercado, tanto para el uso en sus hogares, como en sus empresas.

También fue evidente que restos de comida sirven de alimento para animales, especialmente cerdos. Este aspecto, aunque es una buena práctica, en la jerarquía de la recuperación de los alimentos, según la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), incluso antes del compostaje, sin embargo, no es analizado en este informe.

Por otra parte, el país tiene una propuesta de elaboración de biogás mediante la digestión anaeróbica, en la provincia de Cartago, impulsado por la Unión Nacional de Gobiernos Locales (UNGL), así como otra propuesta en la zona sur, financiada por el Instituto de Fomento y Asesoría Municipal (IFAM), las cuales se desarrollarán en el siguiente apartado.

En el ámbito político, existe un ambiente favorable al tema por ejemplo en el Plan Nacional de Descarbonización y en el Plan Nacional de Compostaje, el cual se encuentra en construcción.

El objetivo del Plan Nacional de Compostaje es contribuir con la descarbonización, facilitando condiciones en la sociedad para incorporar en la cotidianeidad aquellas prácticas que evitarán el envío de materia orgánica a los rellenos sanitarios, lo cual disminuirá las emisiones de metano en estos sitios.

Para abordar el plan nacional de compostaje se tiene siete ejes estratégicos:

- **Eje estratégico 1:** Carbonización del suelo, para descarbonizando la economía.
- **Eje Estratégico 2:** Actualización de la normativa para la separación de la materia orgánica desde la fuente.
- **Eje Estratégico 3:** Gestión de la materia orgánica, para contribuir a eliminar el uso de los rellenos sanitarios por medio de la gestión de los residuos biodegradables.
- **Eje Estratégico 4:** Emprendimiento e innovación para fomentar la empresarialización, circularidad y factibilidad de los actores y proceso relacionados al compostaje.
- **Eje Estratégico 5:** Cambio cultural tiene como el objetivo incorporar a las personas a la descarbonización de la economía modificando patrones de consumo y tomando responsabilidad del destino de la materia orgánica residual.
- **Eje Estratégico 6:** Contribución a la descarbonización y monitoreo, reporte y verificación, para la reducción de las emisiones nacionales a través de la gestión adecuada de residuos orgánicos y generar información para el monitoreo, reporte y verificación.
- **Eje Estratégico 7:** Sostenibilidad financiera con el fin de asegurar la sostenibilidad económica del plan nacional de compostaje.

Otro documento importante es la Propuesta NAMA Residuos (2018), en la actualidad se encuentra en proceso de reformulación y establecimiento de nuevas metas.

No obstante, en el aspecto legal, respecto al tratamiento de los residuos orgánicos ordinarios, aún está pendiente la formulación de la normativa que regule esta actividad, para mejorar la calidad del producto, entre otros elementos clave del manejo integral de los residuos orgánicos.

3. Descripción técnica y financiera de las tecnologías disponibles en Costa Rica

A continuación, se describen cuatro métodos del compostaje centralizado:

1. Compostaje en patio.
2. Compostaje en bolsas de silo.
3. Compostaje en hilera con aire inducido.
4. Biometanización (digestión anaerobia, biodigestor).

El primer método es el utilizado en el país por las municipalidades y las empresas privadas entrevistadas, y el último es parte del proyecto: Mejoramiento de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos de la UNGL que, aunque no está desarrollándose, tiene un avance importante, por lo que se agregó en el siguiente apartado.

Respecto al compostaje en sitio se analiza el método con el tambor rotatorio, takakura y lombricompost.

En términos generales la selección del lugar en donde se ubique la planta de compostaje define la factibilidad técnica, ya que debe considerarse:

- Las distancias que se deben recorrer (tanto para el traslado de la materia prima, como la distancia al sitio de disposición final).
- La ubicación de poblados cercanos a la planta.
- El uso del suelo y su aptitud, en este sentido es deseable una baja permeabilidad (para protección del suelo y de las aguas subterráneas), si la planta no va a contar con pisos, por ejemplo.
- Las condiciones de las vías de acceso, topografía.
- El área aproximada, entre otras.

3.1. Descripción del método compostaje en patio

3.1.1. Descripción del proceso compostaje

En el presente apartado se parte de la descripción de la operación en las plantas de compostaje, una vez que se realizó la recolección selectiva y, por lo tanto, la separación en la fuente de origen. Este método es el utilizado en el país tanto por las municipalidades como por las empresas privadas que se dedican a la transformación de los residuos orgánicos.

El proceso inicia (**Ilustración 3**) cuando ingresan los vehículos con el material y lo depositan en el área de recepción (debe pesarse para llevar el control respectivo). De ahí, pasa al área de pre tratamiento donde por lo general, deben abrirse las bolsas plásticas, ya que es una práctica común de entrega del material. La mejor forma es en recipientes (por lo que habría que considerar al menos dos recipientes por familia o comercio). A

continuación, se separan los residuos que no pueden ser composteados como plástico, telas, metales ente otros; se trituran los materiales duros como ramas, residuos de jardín, pipas y semillas; y se procede a la homogenización que consiste en mezclar todos los residuos para disponerlos en los lomillos o montículos.

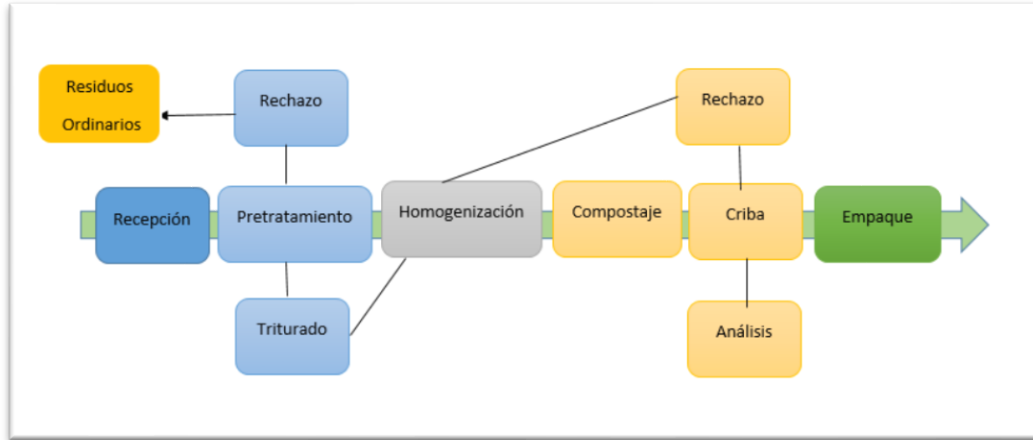


Ilustración 3. Proceso de producción de un patio de compostaje

Fuente: ACEPESA, 2017

Seguidamente, los residuos homogenizados se trasladan al patio donde se acondicionan los lomillos o montículos para iniciar la **fase mesófila** del proceso, que es el inicio del aumento de temperatura y la reproducción de microorganismos. En este punto se pueden agregar materias primas como melaza y microorganismos inoculados para mejorar el proceso; por medio de una máquina volteadora (según la cantidad que se procese, ya que este trabajo también puede realizarse de forma manual) se inyecta oxígeno a los lomillos una vez al día, alcanzando el proceso la **fase termófila**, donde el material llega a una temperatura ideal de 75 °C, eliminando patógenos y semillas, para evitar ocasionar efectos negativos en el uso agrícola del abono.

En nueve semanas en promedio, los lomillos reducen sus tamaños e inicia la **fase de maduración** o enfriamiento del abono. En este punto una vez enfriado el abono a la temperatura promedio ambiental del sitio donde está el patio; se procede a disponer el producto en una criba o zaranda que separa las partículas de residuos de tamaño no deseado. Esas partículas de tamaño no deseado se trituran y regresan de nuevo al proceso de homogenización con los residuos frescos, para lograr su descomposición final y para aportar microorganismos al material nuevo. El abono resultante del proceso de criba se dispone en un área de empaque del producto final para ser utilizado en actividades agrícolas.

Una buena práctica que debe implementarse es analizar cada lote antes de la venta con el fin de valorar los parámetros nutricionales y microbiológicos del abono y así descartar cualquier perjuicio en los campos donde se vaya a utilizar.

Durante las fases de recepción, pre tratamiento y homogenización, se recolectan los lixiviados, mediante canales que los conducen a un reservorio donde pueden ser optimizados para utilizarlos de nuevo en las etapas mesófila y de maduración del abono, manteniendo una humedad óptima y mejorando la acción microbiana. En la ilustración 4 se muestra el proceso de producción de un patio de compostaje.

3.1.2. Requerimientos básicos de infraestructura

A continuación, se detallan los requerimientos básicos e ideales para establecer un patio de compostaje (**Ilustraciones 4 y 5**):

- Área de topografía plana, para facilitar la elaboración de los lomillos y la operación de la máquina de volteo.
- Área techada ⁴, para recolectar el agua de lluvia hacia un tanque de almacenamiento, el agua puede utilizarse para lavado de equipo y herramientas, así como para los servicios sanitarios o para humedecer el compost, si está muy seco. El techo permite, además, evitar que el agua de lluvia ingrese al patio y genere exceso de lixiviados.
- Zanjas que permitan la evacuación de aguas de lluvia y contener un desnivel que permita recolectar los lixiviados de los lomillos frescos.
- La red de drenajes debe ser muy bien planificada antes del establecimiento de los lomillos.
- Bodega de almacenamiento de equipo, herramientas e insumos y una bodega de producto terminado. Además, se requiere un área administrativa que tenga oficina, comedor y servicios sanitarios para el personal.



Ilustración 4. Modelo de distribución de un patio de compostaje

Fuente: <http://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/>

⁴ En su lugar se puede colocar plástico en los lomillos para evitar que el agua de lluvia interfiera en el proceso.



Ilustración 5. Planta de compostaje de la Municipalidad de Pérez Zeledón, a la izquierda las instalaciones actuales y a la derecha la ampliación de la infraestructura

Fuente: Planta de tratamiento de la Municipalidad de Pérez Zeledón © Álvaro Murillo encargado de la planta

El patio no necesita pisos de concreto, ni paredes, mientras que el área de recepción, pretratamiento, homogenización, criba, empaque y almacenamiento si requieren piso de concreto y techado; solamente si es necesario podrían contemplarse la construcción de paredes en estas últimas áreas.

En el **Cuadro 1** se realiza una estimación de las dimensiones generales para este método, con los siguientes supuestos:

- Un terreno inicial de al menos 10 000 m².
- El área de construcción es de 9 650 m².
- Capacidad de producción: 500 ton/mes.

Cuadro 1. Dimensiones generales propuestas para las áreas de un patio de compostaje en el cantón de Dota

Área de distribución	Requerimiento de terreno Área (m²)	Requerimientos de construcciones Área (m²)
Piso, recepción de residuos	500	500
Pretratamiento	500	500
Homogenización	500	500
Patios de lomillos solo techado y drenajes	5 000	5 000
Criba	500	500
Empaque	500	500
Bodega de almacenaje	1 000	1 000
Bodega de equipo, herramientas e insumos	500	500

Área de distribución	Requerimiento de terreno Área (m ²)	Requerimientos de construcciones Área (m ²)
Reservorio de lixiviados y pozo y drenaje de aguas de lluvia	500	300
Oficina, comedor y servicios sanitarios	500	350
TOTAL	10 000	9 650

Fuente: ACEPESA, 2017

En el **Cuadro 2** se presentan los requerimientos básicos de equipo y de mano de obra necesarios para el desarrollo del proceso. La mayor parte del proceso es tecnificado, lo que disminuye la necesidad de invertir en mano de obra operativa, sin embargo, en este tipo de método ésta debe tener un perfil académico de acuerdo a la tecnología a utilizarse.

Cuadro 2. Requerimientos básicos de equipo y de mano de obra para un patio de compostaje

Requerimientos básicos de equipo	Requerimientos básicos de mano de obra
Una retroexcavadora.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un operario de retroexcavadora (operario de equipo especial) ▪ Un operario de la máquina de volteo (operario de equipo especial) ▪ Tres operarios de campo para recepción, pre tratamiento y homogenización de residuos ▪ Tres operarios de campo para criba y empaque ▪ Un supervisor de proceso (perfil profesional en ingeniería industrial, agronómica o química).
Una máquina de volteo.	
Una banda de selección.	
Una trituradora.	
Una criba.	
Una bomba para recirculación de lixiviados de al menos 2 caballos de fuerza.	
Un tanque de al menos 5 000 litros para cosecha de agua.	
Un tanque reservorio de lixiviados de al menos 5000 litros de capacidad.	
Cinco termómetros.	
Una cosedora de sacos.	

Fuente: Adaptado de ACEPESA, 2017

En el **Cuadro 3** se presentan los requerimientos climáticos, de la materia prima y los residuos generados en el proceso.

Cuadro 3. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el proceso de un patio de compostaje

Requerimientos climáticos	Requerimientos de la materia prima	Residuos del proceso
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de la temperatura promedio, de la humedad relativa promedio, de la precipitación promedio, de la dirección del viento y horas luz. ▪ Este método es relativamente sensible al 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buena separación en la fuente. ▪ Con una buena trituración y homogenización en la planta, se puede permitir el ingreso de huesos. ▪ No es conveniente depositar alimentos altos en grasas como alimentos cocinados. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En el proceso se producen residuos únicamente en la etapa de pre tratamiento (materiales de rechazo del área) y que deberán ser trasladados al

Requerimientos climáticos	Requerimientos de la materia prima	Residuos del proceso
efecto de cambios bruscos en las condiciones climáticas del entorno ⁵ .	<ul style="list-style-type: none"> La disminución de alimentos cocinados deberá responder a un programa de educación ambiental, que implica también el consumo consciente y eficiente de los alimentos en los hogares y en los comercios. 	proceso de gestión de residuos ordinarios realizado por la municipalidad.

Fuente: Adaptado de ACEPESA, 2017

3.1.3. Costos de inversión y de mantenimiento

La estimación de la inversión necesaria para la instalación de esta alternativa, según los requerimientos mencionados, es de US \$ **4 403 611**⁶. La inversión incluye la construcción de las instalaciones, así como la compra de la maquinaria necesaria para su funcionamiento (**Cuadro 4**). No se incluye la compra del terreno.

Cuadro 4. Costos de inversión del compostaje en patio (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total (dólares)
Construcción^{1/}				
Área de recepción ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de pretratamiento ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de homogenización ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Patio de lomillos ^{3/}	5.000	m ²	400	2.000.000
Área de criba ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de empaque ^{2/}	500	m ²	400	200.000
Bodega de almacenaje	1.000	m ²	560	560.000
Bodega de herramientas, equipo e insumos	500	m ²	560	280.000
Reservorio de lixiviados y pozo de drenaje de aguas de lluvia	300	m ²	400	120.000
Área administrativa, comedor y servicios sanitarios	350	m ²	560	196.000
Sub total	9.650			4.356.000
Equipo^{4/}				
Retroexcavadora	1	unidad	16.814	16.814
Trituradora	1	unidad	4.956	4.956
Criba o zaranda	1	unidad	2.655	2.655

⁵ Se podría tramitar en el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) la instalación de una pequeña estación meteorológica. En el presente documento no se estiman dichos costos.

⁶ Tipo de cambio utilizado de ₡ 565 x US \$ 1

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total (dólares)
Máquina de volteo	1	unidad	6.195	6.195
Banda de selección	1	unidad	6.195	6.195
Tanque de al menos 5000 litros para cosecha de agua	1	unidad	708	708
Tanque de reservorio de lixiviados de al menos 5000 litros de capacidad	1	unidad	708	708
Termómetros espiga	5	unidades	531	2.655
Cosedora de sacos	1	unidad	6.195	6.195
Bomba de recirculación de lixiviados de al menos 2 HP	1	unidad	531	531
Sub total				47.611
			Total	4.403.611

^{1/} Incluye materiales y mano de obra, estimación suministrada por el Ingeniero Civil Jorge Vega

^{2/} Incluye techo y piso de concreto

^{3/} Solo incluye techo

^{4/} Cotizaciones realizadas en Abonos Agro, FARMAGO, Florida, Vedoba y Obando, AGROPRO, EUROMATERIALES, MATRA, JCB SAME, DISAGRO, , El COLONO, EPA, ROTOPLEX e información suministrada por la Ingeniera Agrónoma Gabriela Gómez

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017.

En el **Cuadro 5** se presenta el detalle de los costos anuales de operación y funcionamiento para el compostaje en patio, los cuales ascienden a **US \$ 110 220⁷**.

Cuadro 5. Costos anuales de operación del compostaje en patio (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total anual
Personal ^{1/}				
Operario retroexcavadora (1 persona)	12	meses	625	7.494
Operario máquina de volteo (equipo especial, 1 persona)	12	meses	625	7.494
Operarios de campo (6 personas)	72	operarios/meses	564	40.603
Supervisor (ingeniería industrial, agronómica o química, 1 persona)	12	meses	1.205	14.454
Sub total				70.046
Cargas sociales ^{2/}	45.20%	Porcentaje de ley		31.661
Total personal				101.706
Insumos				
Melaza ^{3/}	400	litros	3	1.239

⁷ Tipo de cambio utilizado de ₡ 570 x US \$ 1

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total anual
Combustible	12	meses	442	5.310
Insecticida	60	litros	8	478
MOE ^{4/}	200	litros	5	1.062
Sub total				8.088
Otros requerimientos				
Exámenes de laboratorio de los lotes del compost ^{5/}	12	meses	35	425
Sub total				425
Total				110.220

^{1/}Salarios mínimos sector privado. 2020. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Tomado de http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/Lista_salarios_2020.pdf

^{2/} Incluye cargas sociales (26.5%; INS (0,88%); provisión aguinaldo (8,33%); provisión cesantía (5,33%); provisión vacaciones (4,16%).

^{3/}Cotizado en Veterinaria Dos Pinos

^{4/}Microorganismos Eficientes o inoculados, cotizado en BIOECO, Laboratorios Dr. Obregón y Laboratorios ARVI.

^{5/} Incluye Análisis químico completo de abono orgánico, Fundación de la Universidad de Costa Rica (FUNDEVI, UCR)

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017.

Como se comentó en el producto 3 de la presente consultoría, tanto las municipalidades que tienen una planta de compostaje, como la empresa Biofutura, plantean que la sostenibilidad de la actividad no depende de la comercialización del compost. Incluso el proyecto de la UNGL desarrollado más adelante, tampoco considera en su factibilidad la venta del digestato.

En el caso de las municipalidades el beneficio se refleja en el ahorro económico por no disponer en los rellenos o vertederos (debe recordarse, que existen otros beneficios en el tratamiento de los residuos orgánicos), en el caso de la empresa Biofutura, sus ingresos están en función del servicio de recolección. En ambas realidades la comercialización es un plus.

En el **Cuadro 6** se muestra el detalle de la cantidad de residuos orgánicos tratados en la planta de compostaje de Pérez Zeledón, se observa un incremento desde el 2014, año en que inicia la operación.

Cuadro 6. Residuos sólidos tratados en la planta de compostaje de la municipalidad de Pérez Zeledón (ton/anuales)

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019 ^{1/}	Total
Total	961	2.024	2.570	3.287	2.897	1.727	13.467
Promedio mensual	80	169	214	274	263	216	1.122

^{1/} Datos a agosto

Fuente: elaboración propia con base información suministrada por Álvaro Murillo, Municipalidad de Pérez Zeledón, 2019.

Considerando en promedio el tratamiento de 200 ton/mes en el 2019, la municipalidad se ahorró por mes ¢ 3 200 000 (la cantidad generada por el precio de recolección y disposición final estimada en ¢ 16 000 ton), es decir ¢ 38 400 000 (US \$ 68 000) en el año. Lo que representa aproximadamente un poco más de la mitad de los costos de operación y mantenimiento de la planta (cuadro 5). En la actualidad para esta municipalidad la comercialización del compost no es una prioridad, debido a que se encuentra en un proceso de mejora en la calidad, para que pueda ser competitivo en el mercado, sin embargo, se comercializa a ¢ 100 el kilo). Además, según informó el Sr. Murillo, encargado de la planta de compostaje (patio), van a realizar un estudio de costos, para poder determinar el precio actual de venta en función de los costos.

La municipalidad considera que la planta de compostaje es fundamental, por lo que están en la ampliación de la infraestructura, se compró un vehículo solo para la recolección de los residuos orgánicos y con apoyo técnico de especialistas⁸ esperan incrementar la cantidad de residuos orgánicos a tratar (en la actualidad solo recolectan residuos orgánicos en dos de los doce distritos), así como mejorar el método de tratamiento con la instalación de un sistema de aire inducido (método descrito en el presente apartado) y con todo, mejorar la calidad del producto para poder comercializarlo.

En el caso de la municipalidad de Alvarado, el Sr. Meléndez, empresario que administra la planta de compostaje (en patio) de este cantón, menciona que el ahorro por no disponer los residuos orgánicos representa aproximadamente el 32%, y debe considerarse que, a partir de febrero, los costos de disposición final en Los Pinos, se incrementó de US \$ 44 Ton a US \$ 71.

La producción de compost es de 4 Ton/semana, de los cuales vende únicamente 1 Ton/sem, a un precio de US \$ 2.65, el saco de 40 kg. El Sr. Meléndez comenta que tiene mucha competencia con la gallinaza, ya que el precio en su cantón es de aproximadamente US \$ 1.41 el saco.

El Sr. Rodríguez propietario de la empresa Biofutura, que también tiene una planta de compostaje (en patio), considera que los ingresos que genera su empresa no es por la venta del compost, sino por el servicio de recolección y transporte que brinda a sus clientes para tratar sus residuos orgánicos.

Por lo que puede concluirse, que la comercialización del compost, en la actualidad no está garantizando la sostenibilidad de las plantas de compostaje municipal ni privadas, sin embargo, se justifica su operación por los otros beneficios ambientales y sociales que conlleva.

⁸ Se ejecuta en la actualidad un proyecto con fondos de la organización REPIC, de la cooperación suiza, co-ejecutado por ACEPESA y Skat (organización suiza).

3.2. Compostaje en bolsas silo

3.2.1. Descripción del método

Este método es similar al compostaje en patio, la diferencia es que los residuos son depositados dentro de bolsas tipo silo, utilizadas en ensilaje de granos y pastos; se añade a lo interno una manguera de aireación, para que el proceso se desarrolle en un ambiente cerrado, en condiciones controladas de oxigenación y sin volteos. Por lo que se mantienen los supuestos planteados para el compostaje en patio:

- Un terreno inicial de al menos 10 000 m².
- El área de construcción es de 9 650 m².
- Capacidad de producción: 500 ton/mes.

Es un método eficiente a gran escala, igualmente que en el compostaje en patio la descomposición de los residuos orgánicos se da bajo condiciones controladas de humedad y temperatura, requiere oxígeno e imita la transformación natural de la materia presente en la naturaleza. La actividad microbiana principalmente de hongos y bacterias aceleran el proceso.

No se tiene registro de que esta tecnología se utilice para el tratamiento de residuos orgánicos ordinarios en el país.

3.2.2. Descripción del proceso

Al igual que el compostaje en patio, el proceso inicia cuando llega (una vez separado y recolectado por el sistema municipal) el material al área de recepción, se traslada al área de pre tratamiento donde se separan los residuos que no pueden ser composteados como plástico, telas, metales entre otros. Además, se trituran materiales duros como ramas, residuos de jardín, pipas y semillas; se procede a la homogenización para disponerlos en los lomillos.

Los residuos homogenizados ingresan por un embudo en la máquina de ensilaje, se van llenando las bolsas en el patio de proceso, paralelamente la máquina va ingresando dentro de la bolsa una manguera con orificios, que estará conectada a una red de aireación desde una máquina central. Las bolsas deben acondicionarse con orificios donde la persona encargada de la supervisión del proceso, pueda medir los parámetros de temperatura y de humedad.

Cada día se inyecta aire a las bolsas para acelerar el proceso de descomposición, dentro del proceso normal inicia con la fase mesófila, alcanzando el proceso la fase termófila, donde el material llega a una temperatura ideal de 75 °C, eliminando patógenos y semillas que después puedan ocasionar efectos negativos en los usos agrícolas del abono (**Ilustración 6**).



Ilustración 6. Proceso de producción del compostaje en bolsas silo

Fuente: ACEPESA, 2017

3.2.3. Requerimientos básicos de infraestructura

Para establecer el compostaje en bolsas silo, se requieren condiciones muy similares al método de compostaje en patio, la diferencia radica en que en este método los residuos se depositan dentro de bolsas tipo silo (las que se utilizan en ensilaje de granos y pastos), y se añade una manguera de aireación, por lo que el proceso se desarrolla en un ambiente cerrado. Se mantienen por lo tanto los supuestos planteados para el compostaje en patio, como ya se mencionó.

Las dimensiones (**Cuadro 7**) se contemplan de forma general con las áreas mínimas, en este caso las dimensiones son iguales que en la planta de compostaje en patio, donde los costos variarán únicamente en los insumos requeridos, en el método de compostaje en bolsa silo, se necesitan maquinaria especial para el embolsa, tubería de aireación y máquina de inyección de aire, además del insumo de las bolsas plásticas.

Cuadro 7. Dimensiones generales propuestas para las áreas del método de compostaje en bolsas silo

Área de distribución	Requerimiento de terreno Área (m ²)	Requerimientos de construcciones Área (m ²)
Piso, recepción de residuos	500	500
Pretratamiento	500	500
Homogenización	500	500
Patios de lomillos solo drenajes	5 000	5 000
Criba	500	500
Empaque	500	500
Bodega de almacenaje	1 000	1 000
Bodega de equipo, herramientas e insumos	500	500

Área de distribución	Requerimiento de terreno Área (m ²)	Requerimientos de construcciones Área (m ²)
Reservorio de lixiviados y pozo y drenaje de aguas de lluvia	500	300
Oficina, comedor y servicios sanitarios	500	350
TOTAL	10 000	9 650

Fuente: ACEPESA, 2017

En el **Cuadro 8** se presentan los requerimientos básicos de equipo y de mano de obra necesarios para el desarrollo del proceso. La mayor parte del proceso es tecnificado, lo que disminuye la necesidad de invertir en mano de obra operativa, sin embargo, la mano de obra en este tipo de método debe tener un perfil académico de acuerdo a la tecnología a utilizarse (**ilustración 7**).

Cuadro 8. Requerimientos básicos de equipo y de mano de obra para el método de compostaje en bolsas silo

Requerimientos básicos de equipo	Requerimientos básicos de mano de obra
Un tractor con implemento de retroexcavadora	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un operario de retroexcavadora (operario de equipo especial) ▪ Un operario de la máquina de embolsado (operario de equipo especial) ▪ Tres operarios de campo para recepción, pre tratamiento y homogenización de residuos ▪ Tres operarios de campo para criba y empaque ▪ Un supervisor de proceso (perfil profesional en ingeniería industrial, agronómica o química).
Una máquina de ensilaje.	
Una máquina de inyección de aire.	
Un rollo de plástico de bolsa silo por lomillo de compost.	
Un rollo de manguera para inyección de aire por limillo de compost.	
Una banda de selección.	
Una trituradora.	
Una criba.	
Un tanque de al menos 5 000 litros para cosecha de agua.	
Un tanque reservorio de lixiviados de al menos 5000 litros de capacidad.	
Un termómetro por cada lomillo de compost.	
Una cosedora de sacos.	

Fuente: Adaptado de ACEPESA, 2017



Ilustración 7. Máquina empacadora de bolsas silo

Fuente: www.ideagro.com

En el **Cuadro 9** se presentan los requerimientos climáticos, de la materia prima y los residuos generados en el proceso.

Cuadro 9. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el compostaje en bolsas silo

Requerimientos climáticos	Requerimientos de la materia prima	Residuos del proceso
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analizar la temperatura promedio, la humedad relativa promedio, la precipitación promedio, la dirección del viento y horas luz. ▪ Es un proceso sensible al efecto de cambios bruscos en las condiciones climáticas del entorno. ▪ El embolsado permite controlar la incidencia de la precipitación y el viento, además que controla la inyección de aire dentro de la bolsa, a una mayor frecuencia en 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Buena separación en la fuente. ▪ Si se realiza una buena trituración y homogenización en la planta, se puede permitir el ingreso de huesos. ▪ No es conveniente depositar alimentos altos en grasas como alimentos cocinados. ▪ La disminución de alimentos cocinados en la materia prima deberá responder a un programa de educación ambiental, que implica también el consumo consiente y eficiente de los alimentos en los hogares. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El proceso produce residuos en la etapa de pre tratamiento, que son los residuos de los materiales de rechazo del área; que deberán ser trasladados al proceso de manejo de residuos ordinarios. ▪ Produce un residuo muy importante que son las bolsas silo al finalizar el proceso, por lo que se debe contar con un lugar donde

Requerimientos climáticos	Requerimientos de la materia prima	Residuos del proceso
la inyección de aire más rápido ocurre el proceso.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Se puede añadir cartón picado, papel y aserrín para disminuir la producción de lixiviados. 	llevar este tipo de material a reciclar ⁹ .

Fuente: Adaptado de ACEPESA, 2017

3.2.4. Costos de inversión y de mantenimiento bolsas de silo

La estimación de la inversión necesaria para la instalación de esta alternativa, según los requerimientos mencionados, es de US \$ **2 330 522**¹⁰. La inversión considera la construcción de las instalaciones, así como de la compra de la maquinaria necesaria para su funcionamiento (**Cuadro 10**). No se incluye la compra de terreno.

Cuadro 10. Costos de inversión del compostaje en bolsas silo (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total
Construcción ^{1/}				
Área de recepción ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de pretratamiento ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de homogenización ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Área de criba ^{2/}	500	m ²	400	200.000
Área de empaque ^{2/}	500	m ²	500	250.000
Bodega de almacenaje	1.000	m ²	400	400.000
Bodega de herramientas, equipo e insumos	500	m ²	560	280.000
Reservorio de lixiviados y pozo de drenaje de aguas de lluvia	300	m ²	560	168.000
Área administrativa, comedor y servicios sanitarios	350	m ²	400	140.000
Sub total	4.650			2.188.000
Equipo ^{3/}				
Tractor de 90 HP	1	unidad	35.398	35.398
Implemento retroexcavador para el tractor	1	unidad	7.080	7.080
Máquina de ensilaje	1	unidad	10.619	10.619
Máquina de inyección de aire 3 HP ^{4/}	1	unidad	5.310	5.310
Rollo de plástico de bolsa silo por lomillo de compost	1	rollo	752	752

⁹ Debe considerarse el costo de quitar las bolsas y disponerlas limpias y dobladas para el reciclaje. Al ser la bolsa un residuo de tipo agrícola, por el proceso que contuvo, en el país según información de la Fundación Limpiemos Nuestros Campos, no trabajan con este tipo de residuo.

¹⁰ Tipo de cambio utilizado de ₡ 565 x US \$ 1

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total
Rollo de manguera para inyección de aire por lomillo de compost (20 lomillos de 10 m de largo)	67	rollos	885	59.292
Trituradora	1	unidad	4.956	4.956
Criba o zaranda	1	unidad	2.655	2.655
Banda de selección	1	unidad	6.195	6.195
Tanque de al menos 5000 litros para cosecha de agua	1	unidad	708	708
Tanque de reservorio de lixiviados de al menos 5000 litros de capacidad	1	unidad	708	708
Termómetros espiga	5	unidades	531	2.655
Cosedora de sacos	1	unidad	6.195	6.195
Sub total				142.522
Total				2.330.522

^{1/} Incluye materiales y mano de obra, estimación suministrada por el Ing. Civil Jorge Vega

^{2/} Incluye techo y piso de concreto

^{3/} Cotizaciones realizadas en Abonos Agro, FARMAGO, Florida, Vedoba y Obando, AGROPRO, EUROMATERIALES, MATRA, JCB SAME, DISAGRO, , EL COLONO, EPA, ROTOPLEX e información suministrada por la Ingeniera Agrónoma Gabriela Gómez

^{4/} Incluye bomba más implementos eléctricos y tubería

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017

En el **Cuadro 11** se presenta el detalle de los costos anuales de operación y funcionamiento para el compostaje en bolsas de silo, los cuales ascienden a US \$ **119.069**¹¹.

Cuadro 11. Costos anuales de operación del compostaje en bolsas silo (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total anual
Personal ^{1/}				
Operario retroexcavadora (1 persona)	12	meses	625	7.494
Operario máquina de embolsado (equipo especial, 1 persona)	12	meses	625	7.494
Operarios de campo (6 personas)	72	operarios/meses	564	40.603
Supervisor (ingeniería industrial, agronómica o química, 1 persona)	12	meses	1.205	14.454
Sub total				70.046
Cargas sociales ^{2/}	45.20%	Porcentaje de ley		31.661
Total personal				101.706
Insumos				

¹¹ Tipo de cambio utilizado de ₡ 570 x US \$ 1

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total anual
Rollo de plástico de bolsa silo por lomillo de compost ^{3/}	12	meses	929	11.150
Combustible	12	meses	442	5.310
Insecticidas	60	litros	8	478
Sub total				16.938
Otros requerimientos				
Exámenes de laboratorio de los lotes del compost ^{4/}	12	meses	35	425
Sub total				425
Total				119.069

^{1/}Salarios mínimos sector privado. 2020. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Tomado de http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2020.pdf

^{2/}Incluye cargas sociales (26,50%; INS (0,88%); provisión aguinaldo (8,33%); provisión cesantía (5,33%); provisión vacaciones (4,16%)

^{3/} Cotizado en Agro veterinaria Dos Pinos.

^{4/} Incluye Análisis químico completo de abono orgánico, Fundación de la Universidad de Costa Rica (FUNDEVI, UCR)

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017

3.3. Compostaje en hilera con aire inducido

La elaboración de compost con este método es más tecnificado que los anteriores. Se requiere implementar un sistema de tubería conectada a un motor central de inyección de aire que provee la aceleración del proceso, sin necesidad de realizar volteo. Para este método debe tomarse en cuenta el costo de la tecnificación del sistema y su uso en épocas de lluvia, debido a que la temperatura promedio ambiental no es muy alta, el movimiento del volteo permite aumentar la temperatura por medio de los microorganismos, al estar los lomillos estáticos se puede presentar una variante en la temperatura que desacelere el proceso (**Ilustración 8**).



Ilustración 8. Sistema de aire inducido en lomillos de compost

Fuente: Sistemas y técnicas para el compostaje, Junta de Andalucía, España.

La ventilación controlada impulsa la actividad de los microorganismos responsables del proceso de compostaje. El sistema es también más económico por la poca intervención mecánica que se requiere.

La capacidad del compostaje varía según el número de unidades de soplador y su tipo de modelo, así como también la naturaleza de los residuos orgánicos a tratar.

3.3.1. Costos de inversión y de mantenimiento de la compostera en hilera con aire inducido

La estimación de la inversión necesaria para la instalación de esta alternativa es de US \$ **202 124**¹². La inversión considera la construcción de las instalaciones, así como la compra de la maquinaria necesaria para su funcionamiento (**Cuadro 12**).

Cuadro 12. Costos de inversión del compostaje con sistemas de aire inducido (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total
Construcción ^{1/}				
Patio de lomillos ^{2/}	500	m ²	400	200.000
Sub total	500			200.000
Equipo ^{3/}				
Bomba 1 HP	1	unidad	212	212
Ventilador	1	unidad	1.062	1.062
Tanque lixiviado	1	unidad	850	850
Sub total				2.124
Total				202.124

^{1/} Incluye materiales y mano de obra, estimación suministrada por el Ingeniero Civil Jorge Vega

^{2/} Incluye techo con tubos de PVC y sin piso

^{3/} Cotizado en AGROPPRO, FARMAGRO, Florida, Vedoba y Obando

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017

En el **Cuadro 13** se presenta el detalle de los costos anuales de operación y funcionamiento para el compostaje con sistemas de aire inducido, los cuales ascienden a **US \$ 9 826**¹³.

¹² Tipo de cambio utilizado de ₡ 570 x US \$ 1

¹³ Tipo de cambio utilizado de ₡ 570 x US \$ 1

Cuadro 13. Costos anuales de operación del compostaje con sistemas de aire inducido (en dólares)

Detalle	Cantidad	Unidad de medida	Costo Unitario	Costo Total anual
Personal ^{1/}				
Operarios de campo (1 persona)	12	meses	564	6.767
Sub total				6.767
Cargas sociales ^{2/}	45.20%	Porcentaje de ley		3.059
Total				9.826

^{1/}Salarios mínimos sector privado. 2020. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Tomado de http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2020.pdf

^{2/} Incluye cargas sociales (26,5%; INS (0,88%); provisión aguinaldo (8,33%); provisión cesantía (5,33%); provisión vacaciones (4,16%)

Fuente: Actualizado al 2020 de ACEPESA, 2017

Como se comentó anteriormente, la municipalidad Pérez Zeledón, considera la instalación de esta tecnología. La empresa Biofutura (ver más detalle en el producto 3 de la presente consultoría), estará desarrollando un proyecto en un condominio en el cantón de San Rafael de Heredia, financiado por el Proyecto Transforma, en donde adapta el compostaje de aire inducido en un contenedor cerrado, como se muestra en la **Ilustración 9**.



Ilustración 9. Sistema de aire inducido en un recipiente cerrado

Fuente: Javier Rodríguez, empresa Biofutura © ACEPESA. 2020

3.4. Biometanización

3.4.1. Descripción del método

La biometanización es un proceso de descomposición de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, esto lo hace un tratamiento anaerobio, utiliza únicamente los gases producidos por los propios residuos, en reactores cerrados denominados digestores, principalmente por acción del metano y dióxido de carbono y otros gases en pequeñas cantidades (amoníaco, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, entre otros).

Esta tecnología fue la seleccionada en el proyecto de la UNGL el cual se describirá en el siguiente apartado.

Según la literatura consultada, el biogás generado se puede considerar un buen combustible, y es útil para la combustión y generación de calor y/o energía eléctrica. Se requieren condiciones específicas para esto:

- Acopio regional de residuos.
- Un sitio de compostaje en patio para el tratamiento de los digestatos, por lo que sería una inversión doble.

3.4.2. Descripción del proceso

Al igual que los sistemas anteriores, el sistema inicia cuando ingresan los residuos orgánicos al área de pre tratamiento donde se eliminan residuos metálicos y otro material que pueda dañar el equipo de la planta de tratamiento, generalmente este pre tratamiento se realiza con cámaras de imanes, que mediante sensores detectan los residuos no deseados y los saca de la banda transportadora, dicha banda transporta los residuos hacia una estructura cerrada o cámara donde comenzará el proceso de biometanización, dentro de la cámara el proceso se va acelerando mediante movimientos circulares dentro de la estructura cerrada.

Durante el proceso se mide la cantidad de gas producido, dicho gas es canalizado por tuberías hacia conversores que lo transforman en energía calórica o bien lumínica según lo decida la municipalidad. La energía calórica puede utilizarse para el calentamiento de los digestores o bien de los patios de compostaje, esto permite beneficiar la estabilidad del entorno de las bacterias involucradas en el proceso, principalmente manteniendo estable la temperatura. La energía lumínica puede utilizarse para alumbrar la planta y edificios cercanos, parques públicos o bien establecer un contrato de venta de energía a la empresa encargada de suministrar la electricidad en la zona.

Una vez finalizado el proceso que puede variar entre cuatro y cinco semanas, se retiran los residuos sólidos remanentes del proceso de la cámara cerrada, estos se denominan

digestatos y se llevan a un patio de compostaje para ser optimizados como abono orgánico.

Es importante considerar que antes de sacar los digestatos a patios de compostaje, se puede optimizar el proceso a nivel interno e incorporar equipo especial para la elaboración de “pellets” de uso agrícola, que pueden ser comercializados.

El proceso genera lixiviados en la fase de recepción, pre tratamiento y proceso principal, que deben ser tratados. Este método debe contar con sistemas computarizados de control de gas en válvulas; debe procesar la capacidad máxima de residuos de forma constante, para que la inversión sea eficiente y el gas producido sea utilizado en proyectos de alta demanda como iluminación pública o calor de hornos. Este método es uno de los más utilizados en países de Europa, como España, Suiza y Alemania. En la **Ilustración 10** se muestra el proceso químico.

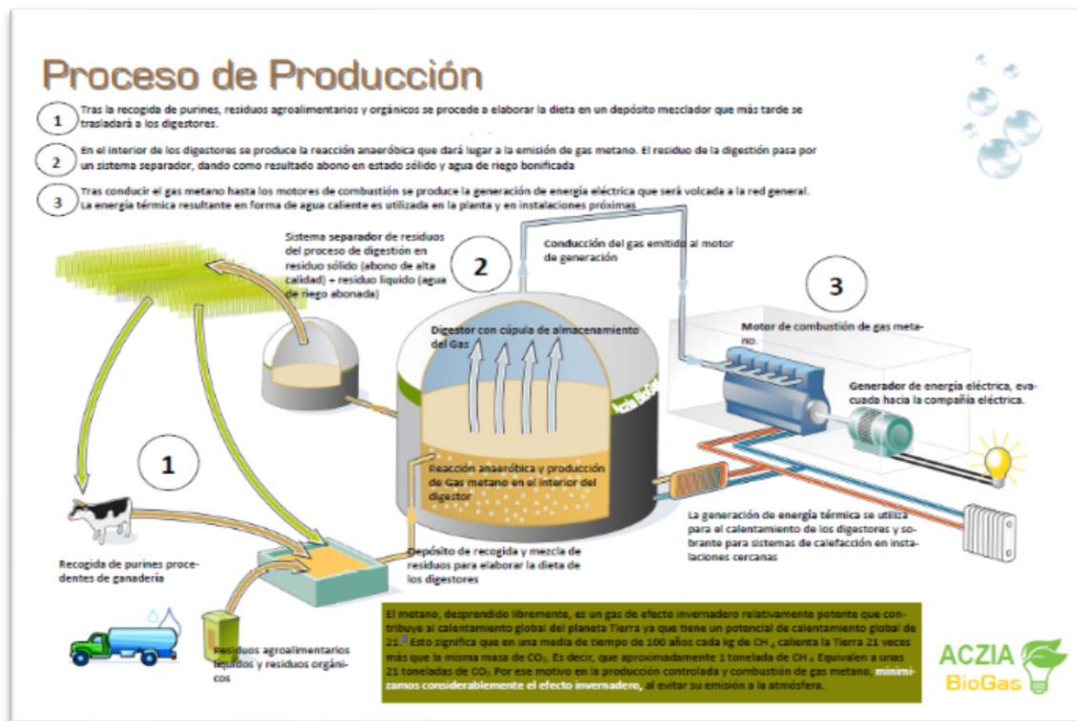


Ilustración 10. Proceso de producción de una planta de biometanización

Fuente: <http://www.aczia-biogas.es/>

3.4.3. Requerimientos básicos de infraestructura

Este método requiere de una planta tecnificada que contenga:

- **Área de recepción** de residuos, compuesta por un planché o piso de cemento de ingreso y un andén que estará ligado a un área de depósito temporal para realizar la descarga completa.
- **Área de pre tratamiento**, esta área está ligada a la zona temporal de almacenamiento, se realiza la apertura de bolsas y se disponen los residuos en una banda que ingresa a un equipo especial que tiene sensores e imanes, donde se eliminará cualquier tipo de residuos no orgánico que tengan las bolsas. En esta área igualmente se disponen residuos orgánicos que requieran ser picados para homogenizar la mezcla que va hacia el reactor; por ejemplo, ramas, residuos de jardín, cascaras muy duras como las pipas o semillas de aguacate, entre otras. Seguidamente se homogeniza la mezcla, esto se puede dar por dos métodos utilizando un back hoe o bien ingresando los residuos a una batidora. Una vez homogenizada la mezcla, entra al reactor.
- **Área de proceso**, es propiamente el reactor que se alimenta de los residuos del área de pre tratamiento y a la vez alimenta las tuberías de transporte de gas. El reactor se puede estar alimentando de forma continua semanalmente o según la frecuencia de recolección, al ser un sistema monitoreado por sensores, este indica el tiempo en que decrece la producción de biogás y es hora de limpiar el digesto que se encuentra en cada reactor para dar paso a nuevos residuos.
- **Área de tratamiento de lixiviados**, tanto en la zona de recepción como de pre tratamiento, debe existir una red de canales que capten los lixiviados de los residuos y los dirijan a una zona de tratamiento de lixiviados, los que pueden canalizarse a un biodigestor o bien almacenarse en un tanque de recirculación. En dicho tanque los lixiviados se pueden potenciar con hongos y bacterias que aceleren la descomposición y luego ser utilizados en el proceso de compostaje del digesto de los reactores.
- **Área de combustión del gas**, en esta área se da la transformación del gas metano generado en el reactor en electricidad y calor, mediante equipo conversor especializado denominado también turbinas de conversión y se distribuye según las necesidades o prioridades de la municipalidad.
- **Área de retiro de residuos orgánicos** del proceso, con ayuda de maquinaria se retira el digesto del reactor y es transportado hacia un área externa a la planta principal, para el proceso de compostaje, esta área debe contener también canales receptores de posibles lixiviados.
- **Área de tratamiento de residuos orgánicos** del proceso patio de compostaje y/o elaboración de “pellets”, si se contempla elaborar abono con el digesto, se debe separar un área de patios para realizar el proceso, esta área no necesariamente tiene que tener piso de cemento, pero si debe estar techada. El perímetro puede estar delimitado con tubería para el aprovechamiento del calor producido en los reactores. Si la municipalidad decide fabricar “pellets” con el digesto del reactor, se debe contemplar un área anexa de retiro de residuos para

- que, por medio de bandas, el digestato ingrese al equipo para tal fin. Una vez hechos los “pellets”, se deben empacar para su uso o distribución.
- **Bodega de equipo y herramientas**, esta área contempla el almacenamiento de los equipos, herramientas e insumos necesarios para el proceso.
 - **Área administrativa y de control de sistemas**, desde donde se vigilará el sistema digital de todos los sensores ubicados en la planta y posee las oficinas administrativas para el manejo del trabajo.

En las **Ilustraciones 11** y **12** se muestran algunas fotografías de plantas de biometanización ubicadas en España y en Suiza.



Ilustración 11. Planta de Biometanización, empresa COGERSA, gobierno de Asturias, España

Fuente: <http://futurenviro.es/pdf/reportajes-especiales/13-FutureNVIRO-Marzo-2014-COGERSA-ASTURIAS.pdf>.



Ilustración 12. Planta de Biometanización, empresa Hitachi Zosen INOVA, Suiza

Fuente: http://www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=105&lang=es

En el **Cuadro 14** se presentan los requerimientos climáticos, de la materia prima y los residuos generados en el proceso.

Cuadro 14. Requerimientos climáticos, de materia prima y de residuos generados en el compostaje en bolsas silo

Requerimientos climáticos	Requerimientos de la materia prima	Residuos del proceso
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las condiciones externas no inciden en el proceso, ya que se realiza de forma cerrada y es totalmente mecanizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Una buena separación en la fuente. ▪ Se requiere una gran cantidad de residuos que contengan grasas volátiles que potencien el proceso de biometanización. ▪ Tolerancia todo tipo de residuos biodegradables. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ El proceso produce lixiviados y digestatos, que arrastran gran cantidad de contaminantes solubles y se considera material inmaduro. ▪ Se les debe dar un tratamiento aerobio para cerrar el ciclo productivo.

Fuente: Adaptado de ACEPESA, 2017.

Esta tecnología no se ha utilizado por municipalidades en el país (solo en la agricultura o en porquerizas). Para la determinación de la inversión se utilizan los datos de la UNGL (2019), que consideró este tipo de tecnología (incluyendo una planta de separación), incluyendo los costos de importación en **US \$ 13 897 240**. Los costos de personal operativo, de mantenimiento, administrativo y directivo se estiman en **US \$69 000** al año.

3.4.4. Resumen de la inversión y costos de operación y mantenimiento de tecnologías centralizadas

En el **Cuadro 15** se presenta un resumen de la inversión y los costos de operación y mantenimiento de cada tecnología analizada.

Cuadro 15. Resumen de las principales variables técnicas y financieras de las tecnologías de tratamiento centralizado de residuos orgánicos (en dólares)

Tecnología	Área del terreno (m ²)	Área de construcción (m ²)	Personal	Capacidad de producción (Ton/mes)	Inversión (infraestructura) (en US \$)	Inversión Equipo (en US \$)	Total inversión (en US \$)	Costos anuales de pago del personal (en US \$)	Costos anuales de insumos y exámenes de laboratorio (en US \$)	Costos de operación y mantenimiento anuales (en US \$)
Compostaje en patio	10 000	9 650	9	500	4 356 000	47 611	4 406 611	101 706	8 513	110 220
Compostaje en bolsas de silo	10 000	9 650	9	500	2 188 000	142 522	2 330 522	101 706	17 363	119 069
Compostaje en hileras con aire inducido	520	500	1	Variable ^{1/}	200 000	2 124	202 124	9 826	0	9 826
Digestión anaerobia	47 000	6 771	10	9 780	1 277 440	12 619 800	13 897 240	ND	ND	69 000

^{1/}En función del número de unidades de soplador y su tipo de modelo, así como también la naturaleza de los residuos orgánicos a tratar.

Fuente: Elaboración propia

3.5. Compostaje en sitio

3.5.1. Compostaje en tambor rotatorio

Este método consiste en un tambor rotatorio que se puede comprar en el mercado, existen varias empresas que los comercializan o también se puede construir de forma artesanal. Se compone de un recipiente cilíndrico, acondicionado con orificios para la entrada de aire y sostenido en una estructura que le permita dar vueltas.

La técnica consiste en depositar los residuos orgánicos, escurridos y preferiblemente picados, dentro del tambor, se les debe dar vuelta por lo menos 3 veces al día, para acelerar el proceso y evitar malos olores y moscas, el proceso tarda aproximadamente cuatro semanas. Terminado el proceso, se saca el material se cierne y se usa en el jardín. Se puede agregar en el recipiente los filtros de café, papel picado y húmedo y cartón finamente picado.

La empresa 360 soluciones verdes (**Ilustración 13**), ofrece una variedad de modelos y tamaños de composteras (2 a 5 personas), las cuales son importadas y tienen las siguientes características:

- “Construidas de cámaras de polipropileno reciclado con un marco de acero galvanizado resistente a la corrosión.
- Fácil de utilizar: su diseño giratorio con entradas de aire laterales permite mezclar y oxigenar el material de una manera fácil y eficiente. Esto acelera el proceso de compostaje y previene la formación de malos olores.
- Doble Cámara: tener dos cámaras separadas proporciona un proceso continuo de compostaje. Siempre habrá una cámara con compost madurando y otra lista para agregar los residuos orgánicos. De esta forma se puede cosechar abono cada 2 semanas.



- Dimensiones: Altura: 92 cm, Largo: 80 cm, Profundidad: 70 cm, Volumen: 90 l, Capacidad semanal: 8-9 kg¹⁴.

Ilustración 13. Tambor rotatorio de la empresa 360 soluciones verdes

Fuente: www.360solucionesverdes.com

¹⁴ Para más detalle de las características de otros modelos revisar <https://www.360-sv.com>

La empresa Biofutura dispone de un modelo, fabricado en el país, por lo que reduce la huella de carbono en comparación con los productos importados, construida a partir de plástico 100% reciclado (residuos post industriales), tiene un doble contenedor que facilita el giro, es fácil de mantener.



Ilustración 14. Tambor rotatorio de la empresa Biofutura

Fuente: www.biofuturacr.com/compostera.html

La empresa Milenio Tres también comercializa tambores rotatorios importados de Italia (**Ilustración 15**), tienen diferentes modelos desde 300 litros hasta 980 litros. También están elaboradas de un plástico grueso reciclado, lo que incrementa las propiedades de retención y aislamiento térmico.

Tiene ranuras perfiladas que permiten la entrada de aire, y a la vez evita que el agua de lluvia ingrese al contenedor, por lo que de esa forma se controla el nivel de humedad. Tiene crestas inclinadas para que los residuos orgánicos no bloqueen las entradas de aire.



Ilustración 15. Tambor rotatorio de la empresa Milenio Tres

Fuente: <http://mileniotres.cr/composteras/>

La empresa Terrakura, inició labores en el 2018. Ha trabajado con la Municipalidad de Puntarenas y con la Universidad Técnica Nacional (UTN), además, sus clientes son personas particulares. Las composteras se producen en el país, y son desarmables, ofrece un paquete de asistencia técnica, además es una combinación del tambor rotatorio con el método takakura, de ahí el nombre, por lo que no requiere la compra de “pellets”. Tiene tres presentaciones para 2 y 4 personas (con capacidad de 8 y 16 kg). Así como otras de mayor capacidad (**Ilustración 16**).



Ilustración 16. Tambor rotatorio modelo comercial

Fuente: Terrakura, Miguel Moya Mena

3.5.2. Lombricompostaje

El lombricompostaje es un método muy eficiente, dado que son las lombrices las que procesan los residuos en poco tiempo. Los lombricarios o “casitas de lombriz”, se pueden colocar en espacios pequeños.

Existen lombricarios se pueden construir de cajas de plástico, baldes plásticos o cajas de madera, pueden ser de forma vertical u horizontal. En ambos casos, las lombrices se pueden mover de un recipiente a otro, de esa forma las lombrices trabajan en unos recipientes (material fresco), mientras de los otros se puede extraer el producto final.

La técnica es rotar los recipientes y que entre estos haya un cedazo que permita el paso de las lombrices al material fresco (**Ilustración 17**).

El piso de la caja puede ser una tela o un sarán fino que permita el escurrimiento del “te de lombriz”, que se usa para fertilizar las plantas o para recircularlo en el material fresco.



Ilustración 17. Lombricario

Fuente:
<https://www.lahuertinadetoni.es/guia-completa-de-como-hacer-humus-de-lombriz/>

Dos recomendaciones adicionales para el manejo de esta tecnología son:

- Tapar las “casitas de lombriz” con un sarán, de manera que las lombrices puedan respirar y los pájaros y otros depredadores se las coman.
- Si existe mucha sobreproducción de lombrices, estas se le pueden dar de alimento a las aves de corral ya que son ricas en proteínas.

3.5.3. Compostera en cajón de madera

En la **Ilustración 18**, se muestra esta versión de la compostera, que se construye con reglas de madera para hacer el marco del cajón en el que se van a depositar los residuos orgánicos. En todo el marco, incluyendo la tapa y el fondo, se clava cedazo de gallinero que permite la ventilación, pero impide el ingreso de insectos y otros animales. La tapa se coloca con bisagras que facilitan que esta se pueda abrir y cerrar para depositar diariamente los residuos generados; se pueda agregar material secante o adicionar agua (cuando sea necesario); también permite hacer el volteo de la materia o extraerla cuando ya el compost está maduro.

Esta compostera puede tener diferentes tamaños y alturas, dependiendo de los requerimientos de la familia.



Ilustración 18. Compostera en cajón de madera

Fuente: ACEPESA

3.5.4. Método de compostaje takakura

Los residuos orgánicos se compostean mediante la utilización de cultivo de microorganismos (especialmente fermentativos), los cuales se adaptan al suelo y se encuentran disponibles en el ambiente, a la vez que eliminan los microorganismos indeseables. El uso efectivo de los microorganismos fermentativos posibilita la producción de una gran cantidad de compostaje en un espacio pequeño y en un período corto de tiempo. Además, el método es seguro y económico. Su nombre se debe al experto japonés, que lo desarrolló.

Los residuos orgánicos se colocan en una caja de madera, plástico o cartón, se tapan con una tela, se deben revolver frecuentemente, para lo cual se puede utilizar una pala pequeña. Luego se retira la mitad del material de la caja y se deja reposar aproximadamente 2 semanas antes de utilizarlo, mezclándolo con tierra. Los fermentos tanto salados como dulces (sustratos), deben prepararse, con antelación.

Se ubicaron dos empresas en el país que venden cajas y otros materiales complementarios de este método: Ecolub y Orgánicos Gaia.

Ecolub ha trabajado con las municipalidades de Golfito, Palmares y Corredores, Santo Domingo y Mora, así como con el Consejo Municipal de Distrito de Paquera.

Orgánicos Gaia (**Ilustración 19**) ha trabajado con la municipalidad de Desamparados, en donde 400 familias utilizan este método, se acompaña la venta de las cajas con un programa de capacitación y asistencia, al igual que lo hace Ecolub.

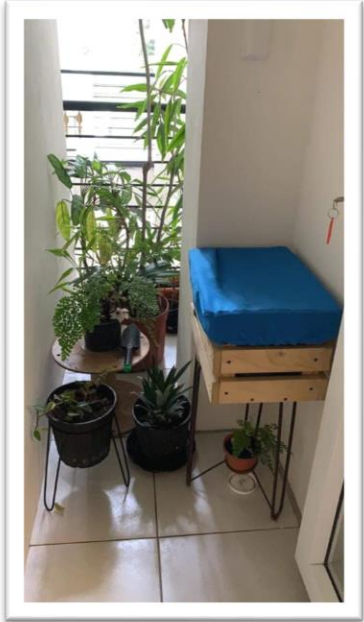


Ilustración 19. Método takakura

Fuente: Orgánicos Gaia, Karina Brenes

3.5.5. Composteras eléctricas

En el país también se puede adquirir composteras eléctricas (**Ilustración 20**). Una es de la empresa A.B.M CR. Requiere de aproximadamente de 3 a 6 horas, para su procesamiento, esto en función de los tipos de alimentos que se procesan y de su humedad. Para enfriarse requiere un tiempo estimado de 30 minutos.



Ilustración 20. Foodcycler. Modelo FC-30

Fuente: Empresa A.B.M. CR, Costa Rica

La tecnología garantiza que no haya malos olores, ya que la circulación de aire seca los residuos orgánicos, pero para ello, la máquina debe estar enchufada y encendida. Consume aproximadamente 2 kWh por mes. Como el resto de composteras se recomienda la mezcla de residuos, de forma tal de evitar las concentraciones de algunos

alimentos, sobre todo los almidones, cáscaras de cítricos, mantequillas, mermeladas, frutas altas en azúcares, ya que son difíciles de procesar en grandes cantidades. Especialistas comentan que el producto final de este procedimiento, no es realmente compost.

3.5.6. Inversión de tecnologías en sitio

La inversión de las tecnologías descritas para soluciones en sitio se muestra en el **Cuadro 16**. Los precios dependen principalmente de la capacidad de la tecnología, aunque es relativamente muy similar en la mayoría de los casos.

Se destaca que las composteras de tambor rotatorio son las que han tenido mejor acogida entre las municipalidades, por lo que su precio ha estado disminuyendo al incrementarse su demanda.

Cuadro 16. Inversión de tecnologías para las viviendas (en dólares)

Tecnología	Inversión (en dólares)
Con tambor rotatorio de plástico reciclado ^{1/}	142 -230
Con tambor rotatorio metálico ^{1/}	425- 1 327
Con tambor rotatorio de plástico reciclado ^{2/}	180
Productos Huerta ^{3/}	319 -372
Con tambor rotatorio (Terrakura):	
Con capacidad de 8 kg/día ^{4/}	80
Con capacidad de 16 kg/día ^{4/}	133
Con capacidad de 20 a 30 kg/día	212 - 310
Con tambor rotatorio construido de forma artesanal ^{5/}	62
En cajón de madera construida de forma artesanal ^{5/}	62
Lombricompostaje horizontal	71
Lombricompostaje vertical	142
Compostera eléctrica	442
Caja takakura familiar 10.5 kg/día ^{6/}	74
Caja takakura familiar ^{7/}	80

^{1/} Requiere la compra de “pelets” de aserrín con un costo aproximado de € 8000 (US \$ 14) y que puede tardar 3 meses. Empresa 360 soluciones verdes.

^{2/} Información brindada por la empresa Biofutura

^{3/} Información brindada por la empresa Milenio Tres, con tamaños desde 300 litros a 980 litros.

^{4/} Para familias de 2 a 4 personas.

^{5/} Requiere la compra de borucha u el uso de otro material secante, como hojas secas.

^{6/} información brindada por la empresa Orgánicos Gaia.

^{7/} Información brindada por la empresa Ecolub.

Fuente: elaboración propia

En términos generales los principales cuidados que se deben tener para la utilización de unidades de compost individuales son:

- Tener un compromiso ambiental de utilizarlas de la mejor manera.
- Recolectar los lixiviados en recipientes cerrados.
- Colocar las unidades de compostaje en un lugar ventilado, resguardado del sol y la lluvia.
- El trabajo de la construcción de las unidades de compost es una excelente oportunidad para trabajar en familia.

4. Otras iniciativas impulsadas en el Costa Rica para el tratamiento de los residuos orgánicos

4.1.1. Proyecto de recuperación y tratamiento de residuos sólidos para la provincia de Cartago

En el 2016 nace el proyecto para la recuperación y tratamiento de los residuos sólidos en la provincia de Cartago, es una iniciativa de la UNGL y de la Confederación de Asociaciones Nacionales de Municipios de Centroamérica y el Caribe (CAMCAYCA).

En el 2017 se logra el apoyo técnico y financiero del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para la implementación del proyecto Mejoramiento de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos, ejecutado por la UNGL, con la participación de tres cantones: Cartago, El Guarco y Jiménez. Desde el inicio se ha contado con el apoyo técnico de la fundación ALIARSE.

En el 2018 se realizó un diagnóstico de la situación de los residuos en dichos cantones, así como estudios de pre factibilidad y factibilidad y se incorporan tres cantones más: La Unión, Oreamuno y Paraíso.

En el 2019 se dieron los primeros pasos para la conformación de una empresa pública. Además, se incorporan los dos restantes cantones de la provincia: Alvarado y Turrialba, así como los concejos municipales de distrito: Tucurrique y Cervantes.

Fue evidente en el diagnóstico efectuado que el 93% de los residuos generados se están enterrando, se composta el 0.31% y se recupera el 0.45% de otros residuos valorizables.

El Sr. Rolando Rodríguez Brenes, presidente de la UNGL y alcalde de Cartago, en la presentación realizada en la PRECOP Costa Rica en noviembre del 2019, mencionó que los principios del proyecto son:

- “Estrategia construida bajo consenso.
- Respeto a iniciativas individuales de valorización y tratamiento.
- Carácter regional como principal fortaleza.
- Mitigación de GEI como valor agregado.
- Un cambio de paradigma innovador y disruptivo.
- Asequible en función de condiciones locales”.

Por otra parte, información de la Sra. Eida Arce de la UNGL, comenta que con base en el estudio de pre factibilidad, se seleccionaron dos etapas: la primera en el corto plazo (2020) incluye una planta de separación mecánica de valorizables y un módulo de digestión anaerobia (biometanización o biodigestor); en donde se estima un 15% de residuos valorizados, es el escenario de menor inversión.

La segunda etapa a mediano plazo (2023) contempla dos tecnologías excluyentes:

- El tratamiento con plasma (es el mayor costo de inversión, permitiría valorizar el 39% de los residuos recibidos).
- Producción de Combustible Derivado de Residuos (RDF por sus siglas en inglés), con la característica de alcanzar el mayor potencial de emisiones evitadas de GEI (40 000 toneladas de CO_{2e} al año) y la mayor reducción de residuos enviados a disposición final (estimada en un 50%).

En el caso de la planta de digestión anaerobia se estima un área de **6,771 m²**, el material residual se tratará para producir compost, material de cobertura o combustible sólido recuperado (RDF).

Para la producción de RDF, se incluye un proceso mecánico para el acondicionamiento de residuos inorgánicos. El material resultante es un combustible alternativo para empresas energéticas o cementaras.

Por otra parte, se ha trabajado también en la conformación de la estructura o entidad jurídica para la gestión regional, así como los acuerdos intermunicipales necesarios para lograrla.

Respecto a la inversión se estima **US \$ 19 094 032¹⁵**, incluye la obra civil, el equipo y la maquinaria, estudios de ingeniería, el montaje y la puesta en marcha. Se menciona, además, que se generarían 63 empleos, en todo el proceso, y que la tarifa de equilibrio del proyecto es de **US \$18.75** Tonelada, en comparación con la tarifa de referencia para la disposición final de US \$ 20 Tonelada.

Se espera que se desarrolle un Clúster Industrial para Transformación de Subproductos.

Respecto a los costos en una presentación realizada en setiembre del 2018, se detalla la inversión y de operación en cada etapa (**Cuadro 17**).

Cuadro 17. Resumen de costos de inversión y de operación según etapa (en MUSD/año)

Escenario	Inversión (MUSD)	Costo de operación (MSD/año)
Etapa 1		
Menor inversión (planta de separación + digestión anaerobia)	\$ 12.51	\$ 2.70
Etapa 2		
a. Tecnología de plasma	\$ 20.05	\$ 1.82
b. Mayor generación de energía (RDF)	\$ 4.95	\$ 1.81

Fuente: UNGL, 2018.

Otra información suministrada por la Sra. Arce, sobre los porcentajes en la inversión para las etapas se muestra en el **Cuadro 18**.

¹⁵ El monto estimado incluye la etapa uno, más la segunda etapa con la incorporación de la recuperación de RDF.

Cuadro 18. Resumen de los porcentajes de la inversión para las etapas

Etapas	Porcentaje
Acondicionamiento del predio e instalaciones	9.05%
Recuperación de valorizables	52.52%
Valorización de orgánicos	23.10%
Recuperación y valorización energética	12.30%
Estación de transferencia:	3.03%

Fuente: UNGL, 2018.

La UNGL está gestionando fondos para la realización de los estudios de pre inversión, así como otros estudios detallados del terreno donde se ubicará el proyecto.

4.1.2. Proyecto de la Región Brunca

En enero del 2019 se firmó un **Convenio de Cooperación** entre el IFAM y las seis municipalidades de la zona sur del país: Buenos Aires, Corredores, Golfito, Coto Brus, Pérez Zeledón y Osa.

El objetivo del proyecto es resolver la gestión de residuos sólidos en la Región Brunca. Considerando que se generan en dicha zona *65.000 toneladas de residuos sólidos al año, y dado que no se tienen sitios para la disposición final, debido al cierre de antiguos vertederos, los residuos deben disponerse en Tecnoambiente (Miramar de Puntarenas) o en El Huazo (Aserrí).*

Según publicación de la Presidencia¹⁶ el Proyecto impactará a más de 330 mil personas de los cantones mencionados.

El aporte del IFAM será de USD\$ 322 620 para la contratación del diseño del estudio de pre-inversión el cual definirá el modelo más adecuado para el manejo integral de residuos sólidos, así como su transporte, tratamiento y disposición final en la Región Brunca.

Información brindada por la asesora de presidencia del IFAM Srta. María José Vásquez, en este momento la institución está en la revisión de los términos de referencia, para abrir el proceso de contratación de dicho estudio. Dichos términos de referencia fueron preparados por ingenieros del IFAM, considerando la participación de las personas responsables del departamento de gestión ambiental de las municipalidades respectivas. Además, este es uno de los proyectos más grandes del IFAM y tiene un gran interés de los alcaldes, al considerar el impacto positivo para la población de esa región.

¹⁶ <https://presidencia.go.cr/comunicados/2019/01/ifam-y-municipalidades-se-unen-para-resolver-gestion-de-residuos-solidos-en-region-brunca/>

5. Consideraciones finales

Con base en el presente estudio se puede concluir que:

- Existe un ambiente político propicio que impulsa la transformación de los residuos orgánicos: Plan Nacional de Descarbonización, NAMA Residuos (en etapa de revisión) y el Plan Nacional de Compostaje (en construcción). En los documentos mencionados el tratamiento de los residuos orgánicos se convierte en una prioridad país para la mitigación de GEI.
- Existen municipalidades y empresas en el país que tienen experiencia en la transformación de los residuos orgánicos.
- La venta del compost no ha sido un elemento clave en los proyectos municipales de transformación de los residuos orgánicos y en los que desarrolla la empresa privada. En el caso de las municipalidades, lo ven como un ahorro, por las cantidades que ya no se disponen en los vertederos o rellenos sanitarios. La empresa Biofutura considera que su negocio es más bien el servicio de recolección de los residuos orgánicos a sus diversos clientes.
- La mejor tecnología a utilizar por cada municipalidad estará en función de las condiciones socioeconómicas, la disponibilidad de terrenos y otros requerimientos técnicos, no obstante, es posible y urgente el tratamiento de los residuos orgánicos, ya sea mediante sistemas centralizados o en sitio.
- Conforme se incrementa la demanda de composteras en el país, ya sea importadas o elaboradas en el país, tenderá a que su precio disminuya, lo que puede ser accesible para un mayor número de personas, situación que está ocurriendo en la actualidad, y se espera que se mantenga la tendencia.
- La iniciativa liderada por la UNGL en la provincia de Cartago, ha sido elaborada de forma participativa y cuenta con estudios técnicos, que proponen la digestión anaerobia, como la tecnología a utilizar.
- La iniciativa liderada por el IFAM en la Región Brunca, todavía está en una etapa muy incipiente, sin embargo, se espera que pueda llegar a un buen término en el corto plazo.

Para garantizar la ejecución de proyectos de transformación de los residuos orgánicos, se recomienda el establecimiento de alianzas con el sector agrícola, esto para la comercialización del compost de calidad, lo que incrementará los ingresos, pero también se logrará los beneficios adicionales que tiene este producto.

Además, puede ser que la cantidad a compostear sea significativamente grande y no toda tenga la calidad requerida por el sector agrícola, entonces se deberá buscar alternativas para su uso (en jardines, parques, entre otros).

Es importante también, la divulgación de las experiencias de las plantas de compostaje municipales, así como de los otros proyectos que impulsan los gobiernos locales para la

transformación de los residuos orgánicos, para que, de esa forma, se aprovechen las lecciones aprendidas y se multipliquen las iniciativas.

Finalmente, se requiere que el país cuente en el corto plazo con una reglamentación para el manejo de los residuos orgánicos ordinarios y los generados por el sector agropecuario.

6. Fuentes bibliográficas

Comisión para la Cooperación Ambiental. (2017). *Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.

EPA. (sf). *Reducing the Impact of Wasted Food by Feeding the Soil and Composting*. Recuperado de <https://www.epa.gov/sustainable-management-food/reducing-impact-wasted-food-feeding-soil-and-composting>

GIZ/ACEPESA. (2017). *Propuesta para un Plan de Gestión de Residuos Sólidos Integrados del Cantón de Dota*. San José, Costa Rica. Documento sin publicar.

Juntas de Andalucía. (sf). *Sistemas y técnicas para el compostaje*, Junta de Andalucía, España. Recuperado de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf

Ministerio de Salud. (1998). *Reglamento sobre Rellenos Sanitarios No 27378-S*. San José, Costa Rica. Recuperado de: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=52780&nValor3=84935&strTipM=TC

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (2020). *Lista de salarios mínimos, sector privado*. Recuperado de http://www.mtss.go.cr/temas-laborales/salarios/Documentos-Salarios/lista_salarios_2020.pdf

Programa CYMA, ACEPESA. (2008). *Manual para la Elaboración de Planes Municipales de Gestión Integral de Residuos*. (PMGIRS) 1 ed. –San José, Costa Rica.

Programa CYMA, Rolando Castro Córdoba (2012). *Ley para la Gestión Integral de Residuos No. 8839 del 13 de julio de 2010* (Anotada, concordada y comentada). San José, Costa Rica.

Proyecto ACCIÓN Clima II /GFA Consulting Group. (2018). *Elaboración de la propuesta de proyecto a financiar para una NAMA de residuos sólidos en Costa Rica*. Primer informe Situación de la Gestión de los Residuos Sólidos para la determinación de la NAMA residuos Costa Rica, San José, Costa Rica.

Romero Rojas, S. (2012). *Estudio de factibilidad de implementación de una planta municipal de compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2417/Romerosonia2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Otras fuentes

<https://conceptodefinicion.de/protocolo-de-kioto/>

<https://www.ideagro.com/>

<http://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos-organicos/>

<http://www.aczia-biogas.es/>

<http://futurenviro.es/pdf/reportajes-especiales/13-FuturENVIRO-Marzo-2014-COGERSA-ASTURIAS.pdf>

http://www.hz-inova.com/cms/en/home?page_id=105&lang=es

<https://www.lahuertinadetoni.es/guia-completa-de-como-hacer-humus-de-lombriz/>

<http://mileniotres.cr/composteras/>

<http://360solucionesverdes.com>

<http://biofuturacr.com/compostera.html>

7. Anexos

Anexo 1. Lista de personas entrevistadas

Nombre	Institución o empresa	Teléfono	Correo electrónico
Eida Arce	UNGL	87066447	earce@ungl.go.cr
María José Vázquez	IFAM	87264149	mvasquez@ifam.go.cr
Javier Rodríguez	Biofutura	88652392	jrodri-guez@biofuturacr.com
Vinicio Arias	360° Soluciones Verdes	83052279	vinicio@360solucionesverdes.com
Karina Brenes	Orgánicos Gaia	89941909	organicogaia.cr@gmail.com
Miguel Moya Mena	Terrakura	70349532	terrakuraorganic@gmail.com
Álvaro Murillo	Municipalidad de Pérez Zeledón	22206761	Amurillo@mpz.go.cr
Rodolfo Meléndez	Empresario del cantón de Alvarado	87651331	
Daniela Azofeifa	Milenio Tres	22154053	asistencia@degradable.cr
Maximiliano Osorio	A.B.M. C.R	25202000 Ext.: 105	mosorio@abmcr.com
Viviana Mora	Ecolub	8847902	Ecolur.compostaje@gmail.com

Anexo 2. Estado de ejecución del plan de trabajo

Cuadro 19. Estado de ejecución del plan de trabajo

Actividad	Estatus	Actores involucrados	Acuerdo alcanzado	Descripción de acciones realizadas	Buenas prácticas identificadas	Barreras o dificultades	Observaciones	Medio de verificación (Informes, minutas, estudios u otros)
Revisión de las tecnologías disponibles para el tratamiento de residuos orgánicos en el mercado nacional y que están siendo utilizadas por algunas Municipalidades y empresas privadas.	Finalizado	NA	NA	Revisión de fuentes primarias de otros países de las tecnologías existentes para el tratamiento de los residuos orgánicos Comparación con el manejo actual en el país de dichas tecnologías.	NA	NA	NA	Presente informe
Revisión de estudios recientes realizados en el país.	Finalizado	NA	NA	Revisión de fuentes primarias de documentación nacional en el tema	El trabajo realizado por algunas municipalidades en el tema	NA	NA	Presente informe
Realización de llamadas o visitas (según disponibilidad) de las Municipalidades que están implementando	Finalizado	Representante empresas que venden composteras y cajas de takakura; representante administrador	NA	Realización de visitas y entrevistas telefónicas con los actores mencionados	La disponibilidad de tecnología a escala individual y municipal para el tratamiento	Las vacaciones de fin de año, dificultó la obtención de información en todas las municipalidades que realizan compostaje centralizado	NA	Presente informe

Actividad	Estatus	Actores involucrados	Acuerdo alcanzado	Descripción de acciones realizadas	Buenas prácticas identificadas	Barreras o dificultades	Observaciones	Medio de verificación (Informes, minutas, estudios u otros)
las diferentes tecnologías para el tratamiento de residuos orgánicos.		planta de compost de la municipalidad de Alvarado y responsable de la planta de compostaje de la municipalidad de Pérez Zeledón; representante del IFAM y de la UNGL			de los residuos orgánicos			
Análisis y sistematización de la información recopilada	Finalizado	NA	NA	Análisis y sistematización de la información recopilada	NA		NA	Presente informe
Elaboración y presentación del entregable 4	Finalizado	Personas entrevistadas	NA	Elaboración del informe	NA	Las mencionadas anteriormente	NA	Presente informe