

MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA



MANUAL DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES

Lenín



EL
GOBIERNO
DE TODOS

PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

Lenin Moreno Garcés.

MINISTRO DE AMBIENTE Y AGUA.

Paulo Proaño Andrade.

Vice Ministro de Ambiente.

Steven Augusto Petersen Rojas.

Vice Ministro de Agua.

Jaime Andrés Ortiz Acosta.

Subsecretario de Calidad Ambiental

Oscar Zapata Olmedo.

Gerente del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)

Diego Teca Gavilanes.

Equipo Técnico del Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos (PNGIDS)

Joselin Quintana, Andrés Silva, Viviana Alarcón.

Colaborados Externos

Fundación ACRA, Methanum Residuo e Energia, Asamtech, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Amare Nature, GADP de Pichincha, GADM de Loja, GADM de Morona, GADM de Mejía, Secretaría del Ambiente Quito, JICA, Empresa Municipal de Aseo de Cuenca, ENYA, Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate Pelileo, CCAP, AGROCALIDAD.

Consultores Externos

Manuel Suquilanda, Melanie Valencia.

Revisión del Texto y Coordinación

Fundación ACRA

Diseño y Diagramación

Mauricio Defas G., Eduardo Llumipanta CENTRO DE ARTES GRÁFICAS "EL FUEGO Y LA PALABRA"

Impreso por: CENTRO DE ARTES GRÁFICAS "EL FUEGO Y LA PALABRA"

ISBN: 978-9942-8846-0-2



Primera Edición, 2020

Ministerio del Ambiente y Agua del Ecuador, 2020

Calle Madrid 1159 y Andalucía

Quito, Ecuador

www.ambiente.gob.ec

La reproducción parcial o total de esta publicación en cualquier forma y por cualquier medio mecánico o electrónico, está permitido siempre y cuando sea autorizada por los editores y se cite correctamente la fuente.

Primera Edición

DISTRIBUCIÓN GRATUITA- PROHIBIDA SU VENTA

MINISTERIO DEL
AMBIENTE Y AGUA

Lenin



El aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos contribuye al desarrollo de la Economía Circular del país

ADVERTENCIA

Este documento ha sido elaborado con el fin de promover el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales del Ecuador y ha sido elaborado por el proyecto "Mejoramiento del Servicio Municipal de Manejo Integral Sostenible de los Residuos Sólidos e Implementación de Políticas Públicas sobre GIRS en Ecuador", financiado por la Unión Europea, la Asociación de Municipalidades del Ecuador y la Fundación ACRA

CRÉDITOS

“Este documento ha sido elaborado por el proyecto “Mejoramiento del servicio municipal de manejo integral sostenible de los residuos sólidos e implementación de políticas públicas sobre GIRS en Ecuador”, financiado por la Unión Europea, la Asociación de Municipalidades del Ecuador y la Fundación ACRA.

“La presente publicación está co-financiada con el apoyo de AEISA (Asociación Ecuatoriana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental) y de las otras instituciones que han colaborado en la organización del VII Congreso Interamericano de Residuos Sólidos - Cuenca 2017”

PARTICIPANTES	REPRESENTANTES
ACRA	<i>Pietro Graziani, Ilaria Manfredi, Marco Ferrari</i>
PNGIDS	<i>Ing. Joselin Quintana, Ing. Viviana Alarcón Econ. Andrés Silva</i>
<i>Methanum Resíduo e Energia</i>	<i>Luis Colturato</i>
<i>Asamtech</i>	<i>Veronica Morales , Luis Villalba</i>
<i>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE</i>	<i>Mgs. Alma Koch y Msg. Jessica Masincho</i>
<i>Amare Nature</i>	<i>Ing. Christian Rafael Tello Velasteguí.</i>
<i>Gobierno Provincial de Pichincha</i>	<i>Ing. David Jarrín e Ing. Esteban López</i>
<i>Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja</i>	<i>Sr. José Silva, Ing. Yonel Rodríguez</i>
<i>Gobierno Autónomo Descentralizado de Macas</i>	<i>Ing. Iván Crespo</i>
<i>JICA</i>	<i>Ing. Juan Carlos Chávez</i>
<i>Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC</i>	<i>Ing. Ligia Carrión</i>
<i>Gobierno Autónomo Descentralizado de Mejía</i>	<i>Ing. Diego Centeno</i>
<i>SECRETARÍA DE AMBIENTE MDMQ</i>	<i>Ing. Thorben Knust</i>
<i>ENYA</i>	<i>Ing. Diego Suarez</i>
<i>Empresa Pública Municipal Mancomunada de aseo Integral Patate Pelileo</i>	<i>Ing. César Freire</i>
<i>CCAP</i>	<i>Ing. Gerardo Canales</i>
<i>Agrocalidad</i>	<i>Ing. Ivana Melissa Rea, Miguel Fernández</i>
<i>Consultores</i>	<i>Melanie Valencia, Manuel Suquilanda</i>
<i>Otros colaboradores</i>	<i>Paola Soto, Karla Labanda, Belén Carvajal, David Castañeda, Andrea Mancheno.</i>

Revisión del texto y coordinación: Fundación ACRA.

Diseño: Tnglo. Mauricio Defas G. (CENTRO DE ARTES GRÁFICAS “EL FUEGO Y LA PALABRA”).

Está autorizada la reproducción total o parcial y de cualquier otra forma de esta publicación para fines educativos o para usos sin fines de lucro, sin necesidad de ningún otro permiso especial del titular de los derechos, bajo la condición de que se identifique la fuente de la que proviene. Dicha identificación deberá realizarse del siguiente modo: Autores varios (2020). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales. Financiado por la Unión Europea.

La Fuente debe citarse en todos los casos. Partes de esta publicación pueden reproducirse sin autorización escrita previa si se cita la fuente. Para la reproducción total de esta publicación, la Delegación de la Unión Europea debe ser notificada con anticipación.

La presente publicación ha sido elaborada con la financiación de la Unión Europea. “Su contenido es responsabilidad exclusiva de los autores y en ningún caso debe considerarse que refleja la opinión de la Unión Europea.”

Presentación

El Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos Municipales es un proceso muy importante, que forma parte del Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Por esta razón se ha elaborado el Manual de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales, para que los diferentes Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) realicen proyectos relacionados al manejo ordenado de residuos desde la fuente, pasando por la recuperación del volumen del material orgánico que se genera en los mercados, comercios, instituciones, parques, residencias, agroindustrias, entre otros, y finalmente el aprovechamiento de la fracción orgánica como materia prima fundamental para la obtención de abono orgánico óptimo para la recuperación de los suelos de cada cantón y en algunos casos la generación de energía eléctrica y térmica renovable.

Contenido

Glosario.....	VII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ¿A quién va dirigido este Manual?.....	2
1.2 ¿Cómo usar este Manual?.....	2
1.3 Marco legal	3
2. ASPECTOS RELEVANTES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	6
2.1 Separación en la fuente, capacitación y sensibilización ciudadana.....	6
2.2 La recolección diferenciada.....	7
3. METODOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES.....	8
3.1 Metodologías de tratamiento.....	8
3.1.1. Digestión anaerobia (metanización).....	9
3.1.2. Sistema aerobio.....	9
3.1.3. Sistemas de Secado.....	9
3.2 Diagnóstico de las metodologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos municipales aplicados en el Ecuador.....	10
3.3 Análisis para la implementación de las tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos en el Ecuador.....	12
4. METODOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS.....	14
4.1 Compostaje.....	14
4.1.1. Definición.....	14
4.1.2. Beneficios.....	14
4.1.3. Tipos de residuos susceptibles a compostar.....	14
4.1.4. Tipos de residuos no susceptibles a compostar.....	14
4.1.5. Características de los residuos a compostar.....	14
4.1.6. Fases del compostaje.....	15
4.1.7. Parámetros de control del proceso de compostaje.....	17
4.2 Lombricultura.....	19
4.2.1. Definición.....	19
4.2.2. Beneficios.....	19
4.2.3. Tipos de residuos susceptibles para realizar lombricultura.....	19
4.2.4. Tipos de residuos no susceptibles para realizar lombricultura.....	19
4.2.5. Características de los residuos a compostar.....	19
4.2.6. Características de la lombriz.....	20
4.2.7. Fases del proceso.....	20
4.2.8. Parámetros de control del proceso de la lombricultura.....	22
4.3 Bokashi.....	23
4.3.1. Definición.....	23
4.3.2. Beneficios.....	23

4.3.3.	Tipos de residuos susceptibles para realizar Bokashi.....	23
4.3.4.	Tipos de residuos no susceptibles para realizar Bokashi.....	23
4.3.5.	Características de los residuos a compostar.....	23
4.3.6.	Fases de degradación de la materia orgánica.....	24
4.3.7.	Parámetros de control del método Bokashi.....	25
4.4.	Takakura.....	26
4.4.1.	Definición.....	26
4.4.2.	Beneficios.....	26
4.4.3.	Tipos de residuos susceptibles a compostar.....	26
4.4.4.	Tipos de residuos no susceptibles a compostar.....	26
4.4.5.	Características de los residuos a compostar.....	26
4.4.6.	Proceso de degradación de la materia orgánica.....	27
4.4.7.	Parámetros de control.....	31
5.	DISEÑO Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO.....	32
5.1.	Diseño de la planta (Compostaje, Bokashi y Takakura).....	32
5.1.1.	Determinación del volumen de materia orgánica a compostar.....	32
5.1.2.	Dimensión del área de recepción de materiales.....	32
5.1.3.	Diseño de la pila de compostaje.....	33
5.1.4.	Dimensionamiento y condiciones del sitio de fermentación de la fracción orgánica de los residuos municipales.....	33
5.1.5.	Determinación del área de maduración del compost.....	33
5.1.6.	Densidad de la materia orgánica en las diferentes etapas del proceso de compostaje.....	34
5.1.7.	Determinación del área de afino y empaque.....	34
5.2.	Operación de una planta de compostaje.....	34
5.2.1.	Etapas de selección y trituración.....	34
5.2.2.	Etapas de fermentación o descomposición inicial.....	34
5.2.3.	Etapas de maduración.....	35
5.2.4.	Etapas de obtención del producto.....	35
5.2.5.	Recomendaciones.....	35
5.3.	Diseño de la planta de Lombricultura.....	37
5.3.1.	Área de reproducción o pie de cría.....	37
5.3.2.	Estructura de las camas de reproducción.....	37
5.4.	Operación de un sistema de lombricultura.....	38
5.4.1.	Recepción de materia prima.....	38
5.4.2.	Separación de materiales foráneos.....	38
5.4.3.	Pre-fermentación de los residuos.....	38
5.4.4.	Siembra de lombrices en pilas o lechos.....	38
5.4.5.	Cosechas de lombrices.....	38
5.4.6.	Afino y empaque de humus.....	38
5.4.7.	Costos para la implementación de la metodología de aprovechamiento.....	38

6.	BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES.....	40
6.1.	Definición.....	40
6.2.	Condiciones para la biodigestión anaerobia.....	40
6.3.	Etapas de la Biodigestión anaerobia.....	40
6.4.	Descripción del Proceso.....	41
6.4.1.	Pretratamiento.....	41
6.4.2.	Biodigestión.....	41
6.4.3.	Producción de energía eléctrica y térmica renovable por aprovechamiento del biogás.....	42
6.4.4.	Producción de abonos orgánicos por aprovechamiento del digestado.....	43
6.4.5.	Producción de combustible sólido residual (CSR) por aprovechamiento del digestado.....	43
6.4.6.	Duración del procesamiento de ROM.....	43
6.5.	Etapas, rendimiento y dimensionamiento de una planta BIROM.....	44
6.5.1.	Etapas del Desarrollo de Plantas de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos.....	44
6.5.2.	Dimensionamiento.....	44
6.5.3.	Aplicabilidad según el tipo de ROM.....	45
6.5.4.	Aplicabilidad según la Clasificación en la Fuente de los Residuos Sólidos Municipales (RSM).....	45
6.5.5.	Aplicabilidad según el Volumen de residuos orgánicos municipales disponibles.....	46
6.5.6.	Beneficios.....	46
6.6.	Valores referenciales de inversión, operación e ingresos.....	47
6.6.1.	Montos Referenciales de Inversión y Operación.....	47
6.6.2.	Ingresos.....	47
7.	EXPERIENCIAS DE APROVECHAMIENTO DE ORGÁNICOS.....	48
7.1.	Experiencia Takakura.....	48
7.1.1.	GADM DE MACAS.....	48
7.2.	Experiencia Lombricultura.....	49
7.2.1.	GADM Cuenca (EMAC).....	49
7.2.2.	GADM Loja.....	50
7.4.	Experiencia Biodigestión anaerobia.....	51
7.4.1.	GADM de Quito.....	51
8.	CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO Y REGISTRO.....	52
8.1.	Requisitos sanitarios.....	52
8.2.	Requisitos microbiológicos.....	52
8.3.	Requisitos Físico - Químicos.....	52
8.3.1.	Olores.....	52
8.3.2.	Humedad.....	52
8.3.3.	Densidad Aparente.....	52
8.3.4.	Tamaño del gránulo.....	52
8.3.5.	Materiales inertes.....	52
8.3.6.	Conductividad eléctrica.....	53
8.3.7.	Potencial hidrógeno (pH).....	53

8.3.8.	Contenido de materia orgánica.....	53
8.3.9.	Contenido de nutrientes.....	53
8.3.10.	Relación C/N.....	53
8.3.11.	Conductividad.....	53
8.3.12.	Contenido de metales pesados.....	53
8.3.13.	Presencia de semillas viables de maleza.....	54
8.3.14.	Sustancias fitotóxicas.....	54
8.4.	Requisitos adicionales.....	54
8.4.1.	Muestreo.....	54
8.4.2.	Aceptación o rechazo.....	54
8.4.3.	Etiquetado del Producto.....	54
8.5.	Registro y comercialización.....	54
9.	ANEXOS.....	56
9.1.	Calculo la relación C / N.....	56
9.2.	OrganEcs – Herramienta para la Estimación de Costos para el Manejo de Residuos Sólidos Orgánicos Separados en Origen.....	57
9.2.1.	Objetivo de la Herramienta.....	57
9.2.2.	Bases de la herramienta.....	57
9.2.3.	Diseño de la herramienta.....	58
9.2.4.	Uso en la práctica de la herramienta.....	59
9.2.5.	Avisos	59
9.2.6.	Limitaciones de la herramienta	60
9.2.7.	Acceso a la herramienta.....	60
9.3.	Tabla comparativa de métodos de aprovechamiento para residuos orgánicos.....	61
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	62

Glosario

Abono: Todo producto capaz de suministrar uno o más de los nutrientes esenciales que la planta requiere para su normal desarrollo: Nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, cobre, hierro, zinc, manganeso, molibdeno y cloro. Sustancias o compuestos de origen abiógeno o biógeno que presentan alguna propiedad positiva para los suelos y cultivos.

Abonos inorgánicos: Todos los abonos de origen químico (potásicos, fosfatados y nitrogenados), como la urea y el amoníaco.

Actividad enzimática hidrolítica (amilolítica o celulolítica o proteolítica): Capacidad enzimática de los microorganismos en descomponer la materia orgánica.

Acondicionador del suelo: Toda sustancia cuya acción fundamental consiste en la modificación de las condiciones físicas del suelo, particularmente la estructura del mismo.

Aerobio: Cualquier proceso que ocurre en presencia de oxígeno.

Agente patógeno: Microorganismo capaz de causar enfermedades a los animales o plantas.

Ambiente: Se entiende como el entorno, incluyendo el agua, el aire y el suelo y su interrelación, así como las relaciones entre estos elementos con los seres vivos.

Anaerobio: Cualquier proceso que ocurre sin presencia de oxígeno.

Aplicación: Acción tendiente a mejorar las condiciones agronómicas, biológicas y fisiológicas. Puede ser por vía aérea o terrestre, en cultivos y/o en productos vegetales almacenados.

Biodegradación: Proceso de descomposición de un producto o una sustancia de origen orgánico por la acción de los microorganismos, en cualquier estado.

Biodigestión: Es la fermentación realizada por bacterias anaerobias sobre la materia orgánica.

Biodigestión anaerobia: Proceso de degradación anaerobia de la materia orgánica con la obtención final de una mezcla gaseosa conocida como biogás, un lodo residual con valor de fertilizante enriquecido y un sobrenadante rico en nutrientes.

Biodigestión aerobia: Cualquier proceso bacteriano de degradación o conversión de materia orgánica en presencia de oxígeno.

Biodigestor: Es un contenedor cerrado, hermético e impermeable conocido también como "reactor", dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar. Produce gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Biogás: Sustancia gaseosa que se produce por la fermentación de materia orgánica en condiciones anaerobias y que puede ser utilizado como un biocombustible.

Biofertilizante: Sustancia de origen orgánico que sirve para fertilizar el suelo sin causar daños al mismo, al ambiente ni a la salud humana y animal.

Bioinsumo: Todo producto que haya sido generado por microorganismos o macroorganismos, exceptuando los extractos botánicos complejos: Rotenona, piretrinas, butóxido de piperonilo; productos obtenidos de algas, tales como: Gibberellinas y citoquininas, ni productos de fermentación, como: Antibióticos y betaexotoxina de *Bacillus thuringiensis*.

Biol: Biofertilizante líquido, producto de la conversión anaeróbica que se produce dentro de un biodigestor.

Comercialización: Se refiere al conjunto de actividades desarrolladas con el fin de facilitar la venta de una determinada mercancía.

Compost: Es el producto final del proceso de compostaje. Es la sustancia que se encuentra lista para ser aplicada en el suelo.

Compostaje: Biotécnica donde, a través del control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, se produce abonos que luego son utilizados para mejorar las características del suelo.

Contaminación: Alteración de la pureza o calidad de aire, agua, suelo o productos agropecuarios, por efecto de adición o contacto accidental o intencional con sustancias contaminantes.

Desechos Orgánicos: Es toda sustancia que se produce como resultado de un proceso metabólico.

Desechos de productos agropecuarios: Denomínese así a toda clase de elementos que han estado en contacto con productos agropecuarios (envases o empaques, materiales, sobrantes de aplicación, ropas usadas u otros), que por su naturaleza peligrosa requieren de disposición final en lugares determinados por las Autoridades de Salud y del Ambiente, ya sea para que su incineración, inactivación o enterramiento.

Enmienda: Toda materia cuya acción fundamental es la modificación de las condiciones físico químicas del suelo, particularmente el pH del mismo.

Estiércoles o excretas: Es una descripción general de cualquier mezcla de heces, orines y desperdicios. La composición físico-química del estiércol varía dependiendo, entre otros factores, del tipo de ganado, de la dieta y de las condiciones bajo las cuales se produce el estiércol.

Fermentación: Puede definirse como un proceso productor de energía en que los compuestos orgánicos actúan como donadores y receptores de electrones, en ausencia de aire.

Fertilizante químico simple: Todo producto que en la misma fórmula química contenga uno o más nutrientes para la planta.

Fertilizante químico compuesto: Fertilizante complejo que contiene dos o más de los nutrientes, nitrógeno, fósforo, potasio o magnesio, en relaciones como: 10-30-10, 15-15-15, 17-6-18-2, 25-15-0 y otros.

Fertilizante inorgánico natural: Producto mineral de origen natural que suministra uno o más elementos para las plantas.

Fertilizante orgánico: Son los que se producen de la descomposición de restos de materiales vegetales y/o animales. Contienen los elementos esenciales que forman parte de los compuestos orgánicos que se liberan según su degradación, debido a los microorganismos propios del suelo.

Fórmula: Expresión o lista del contenido de los elementos de un producto.

GADM: Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, según lo establecido en el artículo 238 de la Constitución de la República del Ecuador.

Humus: Sustancia orgánica de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Puede formar complejos con los minerales de arcilla "complejos arcillo-húmicos", de gran estabilidad y que forman

la base de la fertilidad duradera del suelo.

Incineración: Es el procedimiento a través del cual los productos y subproductos de origen animal y vegetal, son destruidos por calor a temperaturas adecuadas y en equipos especialmente diseñados y oficialmente aprobados para tal fin.

Metabolismo: Conjunto de reacciones bioquímicas que se dan en un organismo con el fin de obtener energía, nutrientes, sintetizar macromoléculas, degradar y formar biomoléculas, para el adecuado desarrollo de la vida.

Patógeno: O agente biológico patógeno es aquel elemento o medio capaz de producir algún tipo de enfermedad o daño en el cuerpo de un animal o un vegetal, comúnmente limitado a un agente vivo como: bacterias, hongos, nematodos o virus.

Productor: Toda persona natural o jurídica, debidamente autorizada, que produzca, sintetice o formule en el país Bioinsumos.

Productos Biológicos: Todos los sueros, virus, toxinas y productos análogos de origen sintético o natural, usados tanto para prevenir, controlar y curar enfermedades en plantas y animales como para ser utilizados como componentes de la nutrición en plantas y animales.

Productos Formulados o Terminados: Mezcla de ingredientes activos e ingredientes aditivos en condiciones y cantidades apropiadas para usos en agricultura.

Pureza microbiológica: Es el porcentaje mínimo de pureza del ingrediente activo (microorganismos) que debe contener un producto biológico.

Registro: Procedimiento técnico-administrativo otorgada por la Autoridad Nacional Competente, después de realizar el estudio de la solicitud y de la documentación que la acompaña, así como las verificaciones que sean pertinentes.

Residuo: Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido, que no presenta características de peligrosidad en base al código C.R.T.I.B., resultantes del consumo o uso de un bien tanto en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado.

Residuos Inorgánicos: Incluye todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias

o compuestos sintetizados por el hombre. Dentro de esta categoría se incluyen habitualmente metales, plásticos, vidrios, etc.

Residuos Orgánicos: Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el "ciclo vital", como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos.

Residuos Agrícolas: Desechos que quedan después de una cosecha o por una labor agrotécnica y están integrados por varios componentes (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas, frutas, etc.), procedentes de diversas especies cultivadas.

Residuos Sólidos Urbanos: Hacen referencia, en términos generales, a los residuos generados por cualquier actividad en los centros urbanos y en sus zonas de influencia.

Residuos Sólidos Domiciliarios: Son todos aquellos residuos sólidos generados en las actividades que se realizan en un domicilio particular como producto de las actividades domésticas como la cocina.

Residuos Sólidos Municipales: Son todos aquellos residuos sólidos generados en las actividades que se realizan en un municipio como son los comercios, industrias, instituciones, eventos, etc.

Residuos de Limpieza, Barrido y Mantenimiento: A excepción, de los desechos del mantenimiento del arbolado público (podas) que son zafrales, el resto de los residuos de la limpieza, barrido y mantenimiento de áreas públicas, son de emisión regular. En este tipo de residuos urbanos, representan una fuente de materia orgánica, que son provenientes del mantenimiento del arbolado, áreas verdes, limpieza de ferias vecinales y mercados horti-frutícolas.

Riesgos: Probabilidad de que un bioinsumo cause efectos nocivos en las condiciones en que se utiliza.

Tiempo de Compostaje (Tc): Es el período de tiempo transcurrido desde la conformación de una parva o camellón hasta la obtención de Compost estable.

Unidades formadoras de colonias: unidades microbiológicas de crecimiento en cultivos bacteriológicos.

Vida útil: Espacio de tiempo durante el cual un producto mantiene sus características físicas químicas y biológicas bajo condiciones de almacenamiento adecuado.

1. INTRODUCCIÓN



La falta de aprovechamiento de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), es uno de los problemas más complejos que enfrentan las municipalidades no solo en el Ecuador sino a nivel mundial. La composición de los RSM está determinada fundamentalmente por los patrones de consumo de la población, condiciones socio económicas, tamaño de la población, entre otros.

En los últimos años la población del Ecuador se ha incrementado notablemente, generándose una gran cantidad de residuos sólidos que van alrededor de los 4.9 millones de toneladas al año, donde el 58.47% de estos son de tipo orgánico y el 41.53% es de tipo inorgánico, (PNGIDS 2019), de tal forma que es evidente que la fracción orgánica predomina dentro de la composición de los RSM y al no poseer una adecuada disposición, genera problemas ambientales como la contaminación del aire, suelo y agua, generación de malos olores, emisión de gases de efecto invernadero, entre otros, poniendo en riesgo a la población debido al foco de infecciones que pueden generar.

En este contexto, es de suma importancia realizar el aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSM, puesto que permite recuperar el valor bioquímico de los nutrientes que contienen y emplearlos en varias aplicaciones con valor económico y ambiental, además de extender la vida útil de los sitios de disposición final, y disminuir impactos ambientales.

Los GADM, con el tratamiento de este tipo de residuos pueden transformarlos en productos tales como abonos orgánicos, energía eléctrica, energía térmica, biocombustibles, pellets, entre otros, que benefician a la población del sector.

Beneficios del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales

Los principales beneficios del aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos municipales se podrían enmarcar en los siguientes:

1. Los residuos orgánicos recuperados se convierten en la materia prima, para la producción por diferentes metodologías de abonos orgánicos y energía, contribuyendo de esa manera a la economía circular del país.
2. Permite disponer de sustratos orgánicos que incentiva actividades de agricultura reforestación y recuperación de suelos degradados en las municipalidades.
3. Posibilitan la consolidación de proyectos productivos que permiten generar ingresos alrededor de la producción de abonos, alimentos orgánicos y energía.
4. El aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSM evita la generación de impactos ambientales al aire, suelo y agua.
5. Disminución de la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero, productos de la descomposición incontrolada de la fracción orgánica de los RSM en los sitios de disposición final.
6. Disminución de malos olores y contaminación del agua que se derivan de la descomposición de los residuos en el relleno sanitario, que afectan principalmente a las personas que viven cerca de estos.
7. Previenen la aparición y transmisión de enfermedades que se generan a raíz de un manejo inadecuado de los recursos orgánicos, al reducir la proliferación de vectores (moscas, roedores, entre otros).
8. Disminución de la cantidad de residuos que se disponen en los rellenos sanitarios, incrementando su útil.

1.1. ¿A quién va dirigido este Manual?

El Manual es un instrumento práctico de apoyo para el personal municipal, de empresas públicas y privadas, a cargo de las actividades de aprovechamiento de la fracción orgánica de los RSM.

En este sentido, el Manual tiene como objetivo presentar a los funcionarios de las direcciones de ambiente municipales, las metodologías de aprovechamiento de los desechos orgánicos sólidos, por las cuales podría optar por alternativas como: producción de abonos orgánicos sólidos y líquidos, generación de energía, bio fertilizantes, pellets entre otros, por medio de metodologías como:



- Compostaje,
- Lombricultura,
- Bokashi,
- Takakura,
- Biodigestión

Este manual también está dirigido a la ciudadanía y entidades públicas y privadas que utilicen las tecnologías aquí descritas, para el mismo propósito: aprovechamiento de los RS orgánicos.

1.2 ¿Cómo usar este Manual?

El Manual es un instrumento de trabajo que detalla paso a paso las tareas y las actividades que se deben desarrollar en un proceso de planificación municipal de gestión de residuos sólidos orgánicos, incluida la producción de abonos orgánicos, mediante diferentes metodologías de compostaje de la fracción orgánica de los RSM.

En la práctica, el manual debe ser adaptado a la realidad de cada municipio, considerando aspectos relevantes tales como: generación de residuos sólidos orgánicos, separación en la fuente y recolección diferenciada, entre otros aspectos.

1.3. Marco Legal

Constitución de la República del Ecuador



Art. 14. "Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*..."

Art. 15. " El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua"

Art. 71. " La naturaleza tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y proceso evolutivos..."

Art. 276. " Establece que el régimen de desarrollo tendrá entre sus objetivos el de: "Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural..."

Art. 281. "La soberanía alimentaria constituye un objetivo estratégico y una obligación del Estado para garantizar que las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades alcancen la autosuficiencia de alimentos sanos y culturalmente apropiado de forma permanente....."

Art. 395. La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:"Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales..."

Art. 415. "... Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional del agua, y de reducción reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos..."

Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 "Toda una vida"



Objetivo 3: "Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones".

Política 3.4: "Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global".

Política 3.7: "Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada".

Código Orgánico del Ambiente (COA)



Art. 9. “Los principios ambientales en concordancia con lo establecido en la Constitución y en los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los principios ambientales que contiene este Código constituyen los fundamentos conceptuales para todas las decisiones y actividades públicas o privadas de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en relación con la conservación, uso y manejo sostenible del ambiente...”.

Art. 27. Numeral 7 “ Generar normas y procedimientos para la gestión integral de residuos y desechos para prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos , según corresponda”.

Art. 224. “La gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, a través de un conjunto de políticas intersectoriales y nacionales en todos los ámbitos de gestión, de conformidad con los principios y disposiciones del Sistema Unico de Manejo Ambiental”.

Art. 226. “Principio de jerarquización. La gestión de residuos y desechos deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:1) Prevención. 2) Minimización de la generación en la fuente. 3) Aprovechamiento o valorización. 4) Eliminación y 5) Disposición final”.

Reglamento al Código Orgánico del Ambiente



MINISTERIO DEL
AMBIENTE Y AGUA

Art. 587. Separación en la fuente.- La separación en la fuente es la actividad de seleccionar y almacenar temporalmente en su lugar de generación los diferentes residuos y desechos sólidos no peligrosos, para facilitar su posterior almacenamiento temporal aprovechamiento

Art. 593. “(...)Los residuos orgánicos que se generen en los cantones, incluyendo aquellos que resulten de la limpieza y poda de vegetación de los espacios públicos, deberán ser aprovechados con la alternativa más adecuada a su realidad y se incluirán en los Planes de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos que establezca cada gobierno autónomo descentralizado municipal. Dicho componente del Plan de Gestión Integral Municipal de residuos y desechos sólidos no peligrosos deberá promover y facilitar las actividades de aprovechamiento, para lo que debe basarse en las prácticas y necesidades de cada cantón, priorizando el reciclaje inclusivo(...)”.

- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales y metropolitanos, de forma debidamente justificada y motivada podrán solicitar a la Autoridad Ambiental Nacional autorización para el aprovechamiento con fines de generación de energía, lo cual será analizado y aprobado de forma excepcional, bajo los criterios establecidos en la normativa secundaria correspondiente

Art. 594. “La Autoridad Ambiental Nacional establecerá las metas de recuperación de residuos reciclables y aprovechamiento de residuos orgánicos”.

Art. 668. Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible.- Autoridad Ambiental Nacional elaborará la Estrategia Nacional de Producción y Consumo Sostenible que incluirá los lineamientos para incentivar hábitos de producción y consumo sostenible, entre los que se contemplarán los siguientes criterios:

h) Minimizar la generación desechos y promover elaprovechamiento residuos en concordancia con la Política Ambiental Nacional.

i) Priorizar el fomento de actividades, obras o proyectos que respaldenla seguridad y soberanía alimentaria en el marco de una gestión ambiental eficaz.

Ley Orgánica del Régimen de Soberanía Alimentaria (LORSA)



Art. 1. "Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente".

Art. 14. "El Estado estimulará la producción agroecológica, orgánica y sostenible, a través de mecanismos de fomento, programas de capacitación, líneas especiales de crédito y mecanismos de comercialización en el mercado interno y externo, entre otros".

Resolución 0218 y su Manual Técnico



AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA
DE ASEGURAMIENTO
DE LA CALIDAD DEL AGRO

Para el registro de productos fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola; o el documento que lo sustituya.

Alcance: El presente manual es aplicable a las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que fabriquen, formulen envasen, importen, exporten, distribuyan y comercialicen fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola.

No es aplicable para aquellos fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola que sean elaborados por el agricultor exclusivamente para su uso propio

2. ASPECTOS RELEVANTES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS

El aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos es una fase importante dentro de la Gestión Integral de los RSM, reciclar nutrientes a través de abonos orgánicos y aprovechar la energía generada a partir de biogás.

Por otro lado, con el aprovechamiento de los RSM, se puede contribuir al desarrollo de economía circular del país, puesto que los abonos orgánicos resultantes pueden ser empleados en proyectos de agricultura orgánica y la energía generada suministrarla a nuevos ciclos productivos.

Para garantizar un adecuado sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos es importante considerar los siguientes aspectos:

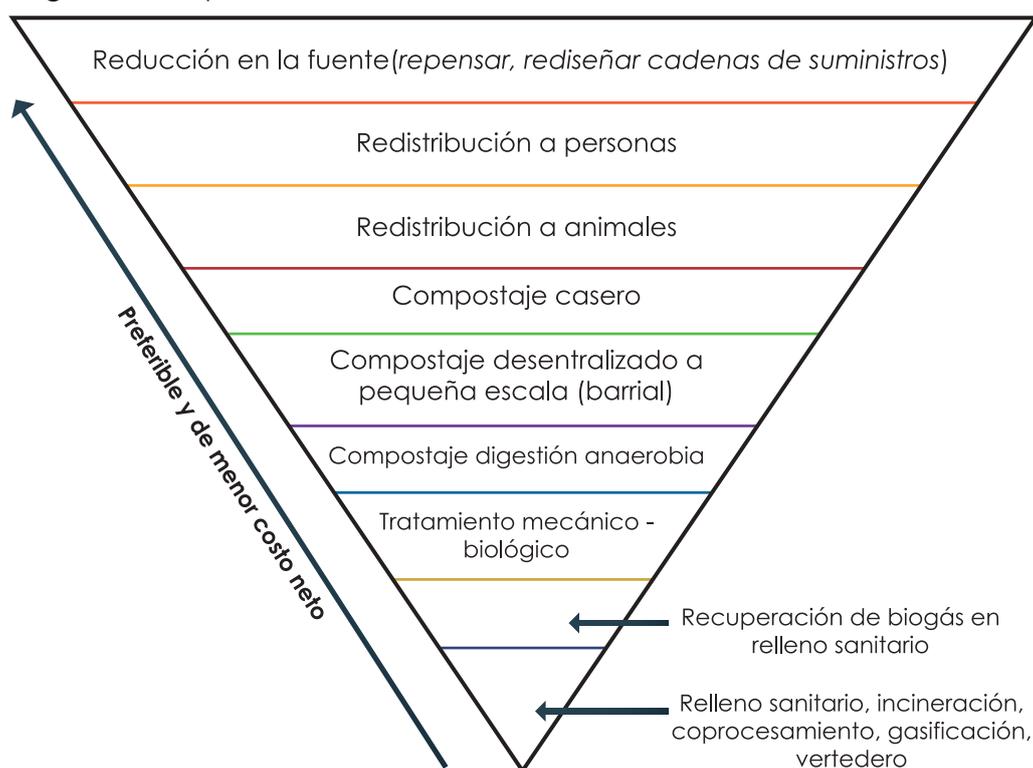


Ilustración 1 Diagrama para un sistema adecuado de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (RSO)
Fuente: Institute for Local Self-Reliance, 2014, Zero Waste Europe, 2019, Valencia M., 2019

2.1. Separación en la fuente, capacitación y sensibilización ciudadana

La separación en la fuente es una tarea que requiere un poco de trabajo pero que realmente tiene muchos beneficios e impactos positivos, puesto que reducen la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final.

Así mismo permite la valorización de los residuos a través del aprovechamiento de estos, obteniendo nuevos productos y reduciendo la extracción y uso de nuevas materias primas, que requieren la explotación de recursos naturales.

Es por eso que la ciudadanía juega un papel muy importante en la generación y separación de residuos en los hogares, escuelas, colegios, mercados, parques, centros comerciales, instituciones públicas y privadas entre otros, de tal manera que es de suma importancia que la población se encuentre concientizada y capacitada sobre el manejo adecuado y aprovechamiento de los residuos municipales.

De dicha capacitación y sensibilización ambiental se encuentran a cargo los GADM, puesto que en función de la Normativa Nacional vigente cada circunscripción, establece su programa de separación en la fuente y recolección diferenciada que se ajuste a la realidad del cantón. Las capacitaciones pueden realizarse mediante talleres, en eventos multitudinarios, puerta a puerta, perifoneo en barrios y pueden apoyarse de universidades, colegios, institutos, que cuenten con carreras afines a la temática de residuos sólidos, así como organismos de Cooperación Internacio-

nal, comités de vecinos, entre otros; con el objetivo de llegar a la totalidad de la población y asegurar el éxito de cualquier iniciativa o proyecto que tenga el municipio sobre el aprovechamiento y reciclaje de residuos orgánicos e inorgánicos.

2.2. La recolección diferenciada

La recolección es una de las etapas más importantes en el manejo de los residuos, debido a los problemas que pueden generar estos, a causa de su larga permanencia en los domicilios, espacios públicos, industrias, mercados, entre otros, de tal forma que se debe asignar los recursos necesarios en su optimización, con el fin de minimizar el impacto ambiental.

La recolección diferenciada, es el único sistema que va unido directamente al aprovechamiento de los residuos, consiste en recolectar por separado los residuos de tipo orgánico o de tipo inorgánico (papel, cartón, plástico, entre otros), estableciéndose frecuencia y horario de recolección para cada uno de estos dentro de la localidad.

La recolección diferenciada se le puede implementar a través del retiro de los residuos de centros de acopio o contenedores con sus respectivos colores para cada tipo de residuo, o por medio de una recolección a pie de vereda siempre y cuando los residuos orgánicos e inorgánicos estén perfectamente identificados, de tal forma que la participación y capacitación a la ciudadanía es fundamental para la ejecución del mismo.

3. METODOLOGÍAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES

Según lo establecido en la normativa ambiental aplicable, la adecuada gestión de residuos sólidos orgánicos municipales deberá cumplir con la siguiente jerarquización en orden de prioridad:



Ilustración 2 Principios de jerarquización de la GIRS
Fuente: MAE-PNGIDS (2019)

En este sentido, existe prioridad para las metodologías de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales (ROM) basadas en acciones de prevención de la generación, seguidos por sistemas de tratamiento y posicionando como última alternativa la disposición final (ilustración 2).

La etapa de aprovechamiento en la jerarquía de manejo de residuos orgánicos municipales (ROM) (ilustración 1), que consiste en la estabilización (aerobia o anaerobia) de la fracción orgánica residual con prioridad hacia la digestión anaerobia, ya que permite generar compost y extraer energía en forma de biogás lo que contribuye a mitigar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. Además de la división aerobio/anaerobio, las metodologías pueden ser centralizadas o descentralizadas. Los sistemas descentralizados permiten la consolidación de etapas de recolección y transporte, por ejemplo, la distribución de sistemas domésticos o incentivos para el tratamiento in-situ de grandes generadores. Por otro lado, los sistemas centralizados son aquellos que reúnen todas las fases de los GIRS en uno solo espacio o lugar.

3.1. Metodologías de tratamiento

Para un adecuado aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos municipales se les debe aplicar un adecuado tratamiento. Las comunes metodologías de tratamiento son:

- a) Digestión anaerobia (metanización).
- b) Sistema aerobio.
- c) Secado .

¹El secado es solo de tipo informativo, no se tratará en el manual

3.1.1. Digestión anaerobia (metanización)



Los sistemas de metanización consisten en la degradación biológica anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica. En el proceso se produce un gas combustible comúnmente denominado biogás, constituido mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, con vestigios de gas sulfhídrico, N₂, O₂, H₂, entre otros.

Ilustración 3 Planta de metanización Brecht - Bélgica.

Fuente: Impact of different pretreatments on the anaerobic digestion of household waste organics. B.Mattheeuws 2016

3.1.2. Sistema aerobio

Este sistema consiste en la estabilización biológica aeróbica de la materia orgánica. Por ser un sistema biológico aeróbico, su optimización depende del control del proceso, sea por el suministro de oxígeno o por el mantenimiento de la temperatura y humedad ideal para el procesamiento del material.

Otro de los parámetro más importantes para que una pila de un sistema aerobio funcione correctamente es la relación inicial entre el carbono y el nitrógeno, la cual es la fracción de carbono orgánico frente al nitrógeno existente en la materia orgánica.

Existen diversos procesos de sistemas aerobios para aprovechamiento de la materia orgánica, entre ellos tenemos al 1) Compostaje, 2) Lombricultura, 3) Bokashi y 4) Takakura.



Ilustración 4 Tecnologías de compostaje de residuos

Fuente: Backhus, Composul, Eggersmann

3.1.3. Sistemas de Secado

El sistema de secado consiste en un procedimiento físico o físico-biológico (biodryers) en que el agua presente en la materia orgánica es removida parcialmente. Generalmente ocurre una estabilización parcial del residuo orgánico y ésta es la principal diferencia del sistema aerobio.

Generalmente es utilizado simplemente para disminución del volumen y peso de la materia orgánica a ser enviada a tratamiento térmico (incineración) o disposición final. Este material puede ser utilizado para material de cubrimiento de relleno.



Ilustración 5 Ejemplos de sistemas de seca de residuos orgánicos.

Fuente: Methanum Residuo e Energía

3.2. Diagnóstico de las metodologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos municipales aplicados en el Ecuador

A nivel nacional son recolectados de forma diferenciada aproximadamente 604 ton/día de residuos orgánicos (INEC& AME, 2018). Sin embargo durante los años 2015 al 2018 ha existido un incremento de las metodologías para el aprovechamiento de estos residuos en los 221 cantones del Ecuador, como se muestra en la Ilustración 6.

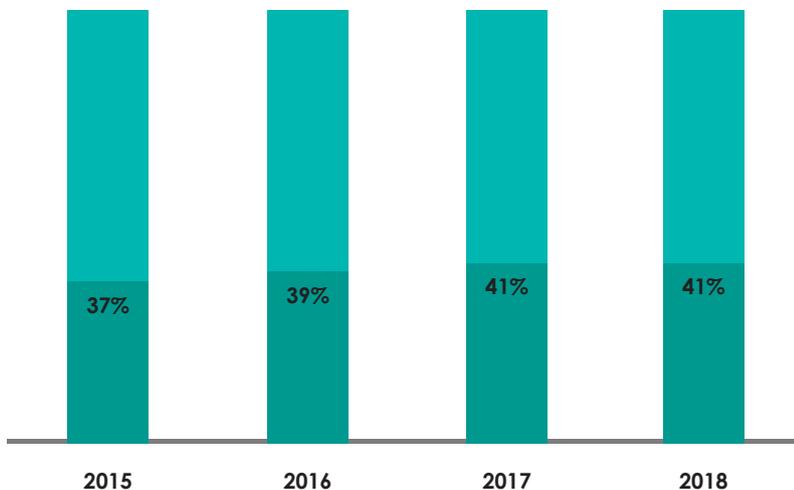


Ilustración 6 Evolución del aprovechamiento de residuos orgánicos por parte de los GADM entre el 2015- 2018 a nivel nacional.

Fuente: MAE, 2018

Elaborado por: Verónica Morales, AsamTech

De los 221 GADM que existen 90 de ellos realizan algún tipo de aprovechamiento parcial de los residuos orgánicos que reciben; de estos la región que más realiza aprovechamiento es la sierra ecuatoriana con un total de 50 GADM, seguido de la región amazónica con un total de 24 GADM y finalmente la costa ecuatoriana con un total de 13 GADM, por último cabe denotar que dentro de la región insular los 3 GADM pertenecientes cuentan con sistemas de aprovechamiento para estos residuos.

A continuación en el siguiente gráfico se detalla el aprovechamiento de residuos orgánicos por región:

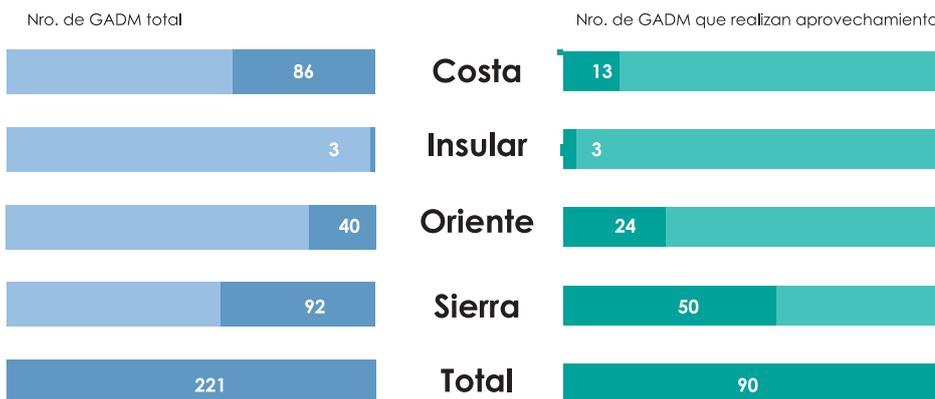


Ilustración 7 GADM que realizan el aprovechamiento parcial de residuos orgánicos a nivel regional.

Fuente: MAE, 2018

Elaborado por: Verónica Morales, AsamTech

A nivel nacional, las metodologías más comunes reportadas para el aprovechamiento de los RSM son: Compostaje, Lombricultura y Bokashi. De tal forma que en la siguiente ilustración se visualiza los tipos de mecanismos de aprovechamiento utilizados a nivel del GADM por región.

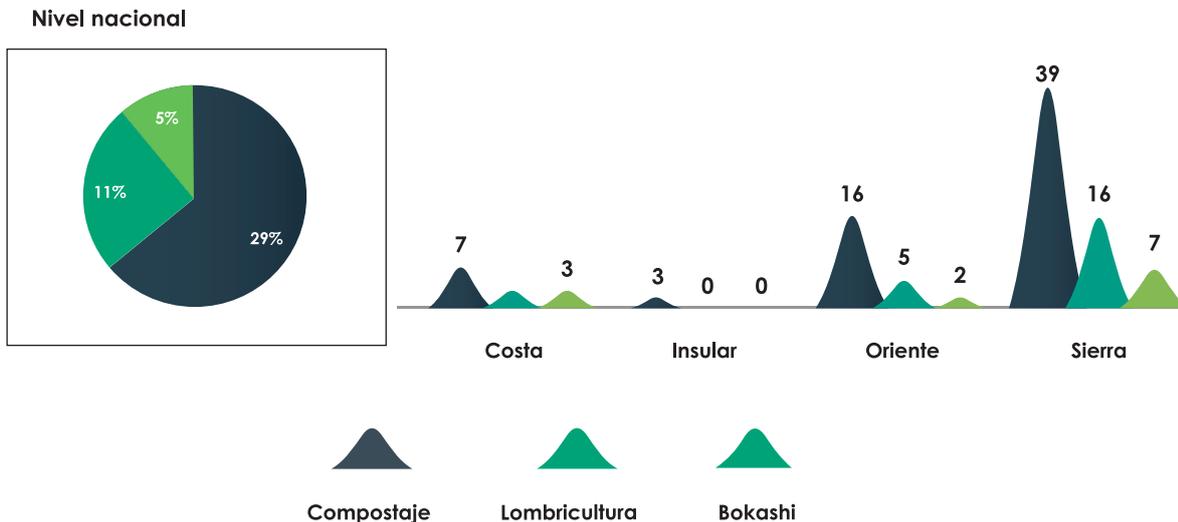


Ilustración 8 Distribución de la utilización por los GADM de metodologías para el aprovechamiento de residuos orgánicos a nivel Nacional y Regional

Fuente: MAE, 2018

Elaborado por: Verónica Morales, AsamTech

Como se puede apreciar en la ilustración anterior el compostaje es el método que más se emplea nivel nacional siendo este predominante en la sierra ecuatoriana con 39 GADM, seguido del oriente con 16 GADM y la región costa con 7 GADM, adicional a esto hay que mencionar que los 3 GADM existentes en la región insular emplean el método de compostaje. El segundo método más empleado es la lombricultura, donde 16 GADM de la sierra ecuatoriana implementa este mecanismo, seguido de la región amazónica con 5 GADM y la región costa con 3 GADM, el método menos empleado en el país es el Bokashi.

A nivel de GADM, en la siguiente ilustración se puede observar el aprovechamiento de los residuos orgánicos por tipo de metodología y para cada una de sus combinaciones respectivas, donde solo 12 GADM aplican 2 o más métodos de aprovechamiento de residuos orgánicos y 5 de estos GADM aplican otro tipo de aprovechamiento como el Takakura.

Aprovechamiento de residuos orgánicos

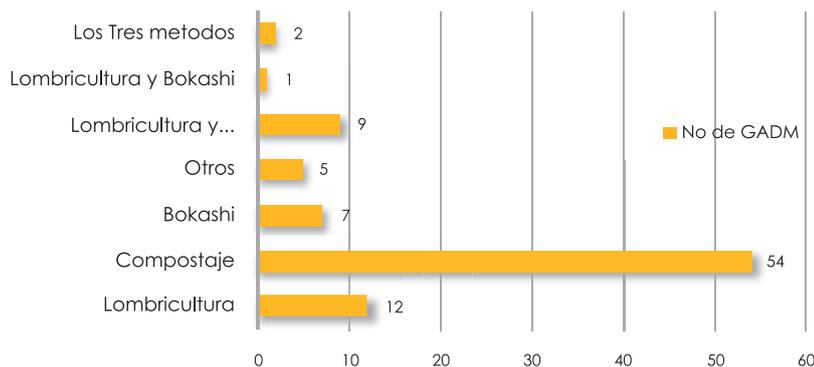


Ilustración 9 Aprovechamiento de residuos orgánicos reportado por los GADM

Fuente: MAE-PNGIDS (2018)

En la siguiente ilustración se puede apreciar la distribución de los métodos de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales de manera general para cada uno de los mismos.

Aprovechamiento de residuos orgánicos por metodo

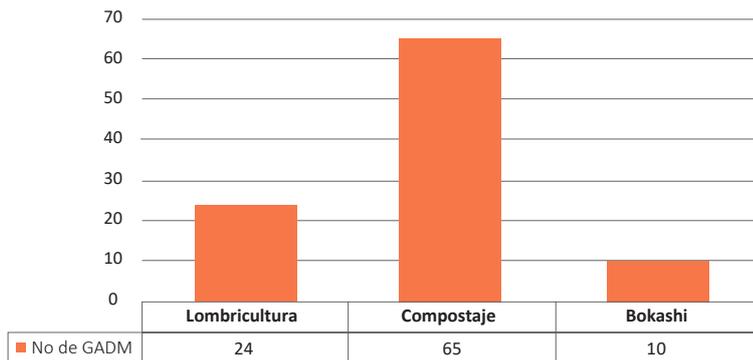


Ilustración 10 Diagrama para un sistema adecuado de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos (RSO)
Fuente: MAE-PNGIDS (2019)

Como se mencionó anteriormente el compostaje es mayormente utilizado por 65 cantones, debido a la facilidad en cuanto a su implementación, y bajo costo de operación y mantenimiento. Mientras que 24 cantones utilizan la lombricultura.

La metodología denominada Bokashi, es una variación del compostaje en donde se utiliza adicionalmente una colonia de bacterias como coadyuvante en el proceso de degradación de materia orgánica, disminuyendo los tiempos de digestión. Sin embargo, a pesar de que el Bokashi acelera el proceso de elaboración de abono orgánico, es la metodología menos utilizada por los GADM, tan solo 10 cantones la utilizan.

3.3. Análisis para la implementación de las tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos en el Ecuador

Los GADM dependiendo de la cantidad, composición, características físico-químicas de los residuos orgánicos sumado al clima, financiamiento y modelo de GIRS existente seleccionando la tecnología de aprovechamiento que mejor se ajuste a sus necesidades.

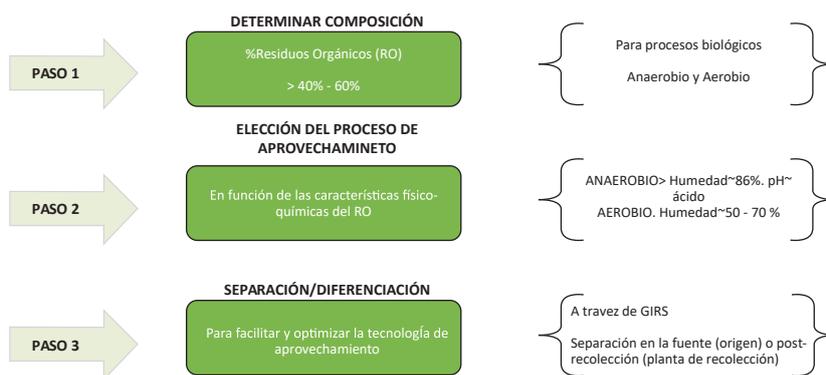


Ilustración 11 Proceso inicial para la implementación del aprovechamiento de Residuos Orgánicos
Fuente: ASAMTECH

Para GADM con limitaciones en cuanto a financiamiento como los cantones rurales, el compostaje con sus variaciones de Bokashi y Takakura, representan una eficiente alternativa dada su relativa sencillez y facilidad de operación. Y considerando que la temperatura (clima) es un catalizador en todo proceso biológico, para la Costa y Oriente, el compostaje (Takakura y Bokashi) es una interesante opción. En el caso de la Sierra, lombricultura es una adecuada alternativa, debido a que es una técnica menos susceptible a la temperatura.

Los GADMs con mayores recursos económicos pueden optar por la digestión anaerobia mediante biodigestores. Si los residuos orgánicos cumplen las características físico-químicas necesarias para utilizar un proceso biológico, la única limitante para la aplicación de esta tecnología por los GADMs son los recursos económicos para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de estos sistemas.

Una de las principales limitantes para la utilización de las tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos es la limitada accesibilidad a recursos económicos por parte de los GADMs para su financiamiento.

De acuerdo con cifras del Banco del Estado, en el 2012, el nivel de dependencia fiscal promedio a nivel nacional de los municipios fue del 81%, es decir los ingresos fiscales dependen de transferencias del gobierno central, especialmente en ciudades pequeñas y medianas (MIDUVI, 2015). Por lo tanto, es necesario que los GADMs desarrollen estrategias para acceder a líneas de crédito de otras fuentes como, por ejemplo: BID (Banco Interamericano de Desarrollo), CAF (Corporación Andina de Fomento), AFD (Agencia Francesa de Desarrollo), fondos de cambio climático, NDC, agencias de cooperación bilateral, o titularización de ingresos municipales futuros, mejor aún como la creación de mancomunidades.

4. METODOLOGÍAS PARA LA OBTENCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

4.1. Compostaje

4.1.1. Definición

El compostaje es el proceso aerobio de transformación biológica que permite la descomposición de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (RSM), logrando su estabilidad, madurez y sanitización. Este es un proceso que imita la descomposición natural que existe en los ecosistemas, nada más que en éste se potencializa las condiciones de manejo para lograr acelerar el tiempo de proceso y consiguientemente su productividad.



4.1.2. Beneficios

- Es un mejorador de suelo que crea condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas para el desarrollo de microorganismos benéficos descomponedores y fijadores de nutrientes.
- Aporta macro, micronutrientes y minerales a corto mediano y largo plazo, a diferencia de los fertilizantes inorgánicos que contribuyen con nutrientes a corto plazo.
- Adiciona materia orgánica, que mejora la retención y drenaje de agua del suelo, además le proporciona porosidad permitiendo el paso libre de agua y oxígeno.
- Incrementa la cantidad de nutrientes y microorganismos del suelo, logrando mejorar o reconstituir su ecosistema.
- Permite dar valor agregado a los residuos orgánicos, transformándolos en abono.
- Disminuye la cantidad de materia orgánica que termina en los sitios de disposición final, aumentando la vida útil de los mismos.
- Disminuye la cantidad de lixiviados y de malos olores que se generan en los rellenos sanitarios.
- Reduce la emisión de metano en los sitios de disposición final, el cual es generado debido a la descomposición de la materia orgánica.

4.1.3. Tipos de residuos susceptibles a compostar

- Ramas producto de la poda de árboles y arbustos.
- Pasto cortado.
- Restos vegetales separados en los mercados.
- Estiércoles (Exceptuando excretas de perro y gato).
- Restos de comida y de la preparación de alimentos en casas y restaurantes.
- Restos de camales, especialmente el ruminal.
- Lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales (se requiere realizar una caracterización previa).

4.1.4. Tipos de residuos no susceptibles a compostar

- Los residuos cárnicos o procedentes de mariscos normalmente no son tratados por las dificultades que generan en el proceso (malos olores o descomposición).

4.1.5. Características de los residuos a compostar

Dentro de las condiciones iniciales del proceso se deben considerar los parámetros que se enlistan a continuación:

4.1.5.1. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

Es un indicador que permite evaluar el desarrollo y la calidad del compostaje, la relación óptima está en el rango de 25:1 a 35:1, que quiere decir que existen 25 a 35 partes de carbono por 1 de nitrógeno (Jhorar, Phogat, & Malik, 1991).

La relación C/N en el compostaje totalmente maduro se da cuando es mayor a 20:1, aunque es una condición necesaria pero no suficiente. Para un correcto compostaje en el que se aproveche

y retenga la mayor parte del carbono y del nitrógeno, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. La relación C/N es un importante factor que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor a 40:1, la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos.

4.1.5.2. ¿Cómo identificar la relación C/N del material a compostar?

Para poder realizar el cálculo de una relación C/N óptima se presenta como anexo al documento una tabla con índices C/N de los materiales frecuentemente utilizados en este tipo de procesos de compostaje, así como su forma de cálculo.

Condición	Relación C/N	Razón
Temperatura ALTA de la pila de compost	Baja	Alto contenido de nitrógeno
Temperatura BAJA de la pila de compost	Alta	Alto contenido de carbono
Proceso de compostaje LENTO , casi detenido	Alta	Alto contenido de carbono
La pila de compost desprende un olor fuerte a amoníaco	Baja	Alto contenido de nitrógeno

Tabla 1 Tabla resumen con los resultados de la evaluación de las metodologías de aprovechamiento
Fuente: DeCarlo, 2001

4.1.5.3. Humedad

La humedad óptima para iniciar el proceso va del 40% al 60%, si la humedad del sustrato es inferior al rango óptimo el proceso se ralentiza y la materia orgánica no se puede descomponer, en cambio sí existe un exceso de agua se producen condiciones anaerobias y de putrefacción de la materia.

4.1.5.4. Porosidad

La porosidad del sustrato permite que fluya el agua y el oxígeno contribuyen a una adecuada descomposición de la materia orgánica, caso contrario si ésta se encuentra compactada se corre el riesgo que se generen condiciones anaerobias y de putrefacción de los residuos orgánicos. Por cual es importante adicionar en una cantidad adecuada material estructurante como cascarilla de arroz, aserrín, cuesco de palma, compost maduro entre otros.

4.1.5.5. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula adecuado va de 3 a 5 cm, si el tamaño es mayor disminuye la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos encargados de la descomposición de la materia orgánica.

En este punto se debe tomar en cuenta que deben triturar los residuos sólidos orgánicos con una adecuada trituradora apropiada para estos, además de tomar en cuenta la separación de impurezas, etc., ya que algunos residuos sólidos orgánicos municipales vienen mezclados con plásticos, papel, cartón, etc.

4.1.6. Fases del compostaje

Fase Mesófila (de temperatura media): En esta fase los microorganismos comenzarán a crecer y multiplicarse sobre los residuos, en consecuencia, comienzan a consumirlos. Aquí se descompondrán los residuos más pequeños y menos complejos químicamente, haciendo que aumente la temperatura de la pila (hasta los 45°C) y se notará la presencia de vapor. Esta fase tiene una duración de entre dos y ocho días (FAO, 2013).



Ilustración 12 Esquema de la fase mesófila del compostaje

Fuente: Layedra,2019

Fase termófila o de Higienización (de temperatura alta): La temperatura aumentará hasta los 75°C, donde los microorganismos patógenos mueren; se multiplican microorganismos capaces de tolerar altas temperaturas y de descomponer compuestos más complejos como: ceras, hemicelulosa, celulosa y lignina. Dependiendo de factores climáticos, materiales a compostar y otros varios factores, esta fase puede durar de varios días a meses (FAO, 2013).

Esta fase es muy importante ya que mediante el calor producido se puede sanitizar el material, es decir higienizarlo de microorganismos patógenos para plantas, animales y el ser humano; de igual manera, esta fase elimina las semillas de malezas. Gracias a esta fase conseguimos un producto seguro para su utilización en la agricultura (FAO, 2013).



Ilustración13 Esquema de la fase termófila del compostaje

Fuente: Layedra,2019

Fase Mesófila 2 (de enfriamiento): Una vez agotadas las fuentes principalmente de N y también las fuentes de C, baja nuevamente la temperatura hasta llegar a temperatura ambiente y continúa la degradación de polímeros como la celulosa. Por debajo de los 40°C, vuelven a crecer microorganismos mesófilos. Para culminar esta fase se necesita de varias semanas y es normal confundirla con la fase de maduración por la baja temperatura (FAO, 2013).

Una vez culminada esta etapa el compost ya se puede cosechar para su uso agrícola, teniendo en cuenta que al no estar madurado el material, sus aplicaciones serán limitadas, en función de labores culturales y cultivos.



Ilustración 14 Esquema de la segunda fase mesófila del compostaje
Fuente: Layedra,2019

Fase de Maduración: En esta fase dura de 3-6 meses, el compost obtenido madura, dando paso a reacciones secundarias que lo enriquecerán con ácidos húmicos y fúlvicos (FAO, 2013). El resultado de este proceso dará lugar a un compost que se puede utilizar para cualquier fin agrícola y no presentará problemas de fitotoxicidad para ningún cultivo.



Ilustración 15 Maduración del compostaje
Fuente: Layedra,2019

4.1.7. Parámetros de control del proceso de compostaje

4.1.7.1. Temperatura

Es muy importante para que se produzca el crecimiento de los microorganismos que descomponen los residuos y no los microorganismos patógenos, las temperaturas son:

- Etapa de temperatura media (mesófila): la temperatura debe llegar hasta los 45°C.
- Etapa de temperatura alta (termófila): hasta los 75°C.
- Etapa de enfriamiento (mesófila): de nuevo la temperatura debe bajar hasta los 45°C.

4.1.7.2. Humedad

La presencia de agua permite que los microorganismos puedan actuar y descomponer los residuos de forma adecuada, debe estar entre 50% y 70%. Si los residuos provienen de paja de cereales, la humedad debe ser 75%-90%, para astillas de madera la humedad debe ser 75%-90%, y para residuos sólidos urbanos debe ser 50%-55%.

4.1.7.3. Potencial Hidrógeno (pH)

Es un indicador de acidez, en la fase de crecimiento: etapa mesófila, el pH baja porque se producen ácidos a partir de los residuos; en la etapa termófila el pH aumenta por la formación de amoníaco. En la fase de maduración, el pH debería estar entre 7 y 8, indicando la formación de humus. Si es más bajo de 7, el proceso no es adecuado.

4.1.7.4. Relaciones carbono/nitrógeno (C/N)

Como se mencionó en el anterior apartado los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25:1 a 35:1 (Jhorar, Phogat, & Malik, 1991).

4.1.7.5. Microorganismos

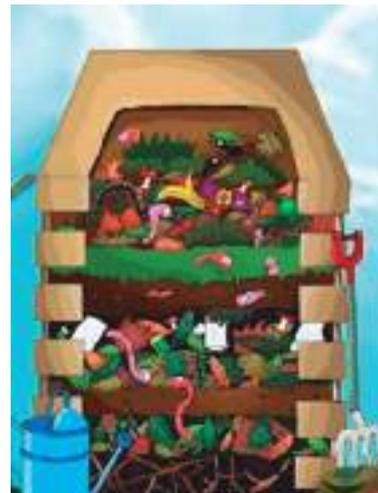
Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas como las proteínas en aminoácidos y estos en amoníaco, para poder ser asimiladas (Castaldi, Alberti, & Melis, 2005). Entre los microorganismos presentes en el proceso de compostaje están bacilos Gram (+) durante todo el proceso con sus formas de resistencia en la etapa termofílica, con mayor cantidad de bacterias que hongos para la degradación de almidón y lípidos, mientras que la hidrólisis de celulosa es realizada en su mayoría por hongos (De-Carlo, y otros, 2001).

4.2. Lombricultura

4.2.1. Definición

La lombricultura, también llamada vermicompostaje es el cultivo o cría intensiva de lombrices con el fin de reciclar residuos orgánicos biodegradables para convertirlos en un fertilizante conocido como “vermicompost”, “lombricompost” o “humus de lombriz”, también se lo utiliza como carne para diversos usos en la alimentación animal (piscicultura, avicultura, pesca, etc.). Es una alternativa sencilla para transformar a un bajo coste, desechos orgánicos biodegradables (estiércoles, restos de las cosechas, forrajes, restos derivados de la preparación de alimentos, etc.), los cuales son insuficientemente aprovechados, en un fertilizante con excelentes propiedades.

El humus de lombriz, por sus extraordinarias propiedades regeneradoras de los suelos y los nutrimentos que contiene es a criterio de muchos agricultores el mejor abono orgánico del mundo. El término vermicompost que va imponiéndose para denominar a este tipo de humus se ha tomado del inglés “earthworm casting” (deyección de lombrices).



Fuente: awentis.com

4.2.2. Beneficios

Constituye un abono de excelente calidad gracias a sus propiedades y composición. El humus de lombriz posee un alto contenido en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, elementos esenciales para la vida vegetal.

Es rico en oligoelementos, los cuales son igualmente esenciales para la vida de todo organismo. Es un material más completo que los fertilizantes industriales químico-sintéticos, pues es capaz de ofrecer a las plantas una alimentación más equilibrada.

Sus elementos básicos son más asimilables por las raíces de las plantas.

4.2.3. Tipos de residuos susceptibles para realizar lombricultura

- Residuos de origen vegetal como: restos de poda, hojas, caña de azúcar, te, restos de hortalizas, oleaginosas, etc.
- Rastrojos de diferentes cultivos.
- Residuos de la industria maderera, aserrín, viruta de papel, etc.
- Residuos de actividad urbana: restos de comida, residuos orgánicos, estiércol vacuno, conejos, cuyes, ovino porcino.

4.2.4. Tipos de residuos no susceptibles para realizar lombricultura

- Estiércol de explotaciones intensivas de aves.
- Estiércol procedente de cualquier especie animal cuyo período de maduración o fermentación sea superior a dos años.
- Residuos cárnicos o procedentes de mariscos.

4.2.5. Características de los residuos a compostar

Las lombrices son alimentadas con un sustrato producto de la mezcla de residuos orgánicos vegetales (desechos de las cosechas, basuras domésticas, residuos de la agroindustria, etc.) y de residuos animales (estiércol), en una relación 1 a 3. Es importante que este sustrato antes de proporcionárselo a las lombrices sea fermentado entre 15 a 30 días. No es recomendable poner el alimento fresco porque tiende a acidificarse y calentarse durante la fase de fermentación (65°-75° C), lo que puede resultar perjudicial a las lombrices.

No es aconsejable que el estiércol de explotaciones intensivas de aves, debido a la elevada acidez, lo cual exige para su neutralización un largo período de tiempo de maduración (catorce a dieciocho meses). Tampoco es aconsejable el estiércol procedente de cualquier especie animal cuyo período de maduración o fermentación sea superior a dos años ya que su contenido en proteínas y vitaminas es muy reducido.

No conviene mezclar estiércoles de distintas procedencias, aunque sean de la misma especie de animal, pues es casi seguro que tengan distinta composición o que estén en diferente fase de maduración.

La lombriz ingiere más alimento cuanto más fino sea el tamaño de los gránulos de comida, por lo tanto, la producción será mayor cuanto más desmenuzado se encuentre el alimento que se le prepare.

La tecnología de la lombricultura, puede constituirse en una buena alternativa para el reciclaje de residuos urbanos y contribuir de manera efectiva al saneamiento ambiental de las ciudades donde el problema de la “basura” es realmente grave.

4.2.6. Características de la lombriz



Ilustración 16 Lombriz californiana

Fuente: Guía de lombricultura, Díaz E., 2012

De las múltiples especies de lombrices existentes, se ha seleccionado la *Eisenia foetida*, conocida también como roja californiana o lombriz de humus, para dedicarla a la producción de humus, por su alta capacidad de adaptación y reproducción. Este tipo de lombriz introducida no hace mucho al país ha experimentado un alto grado de adaptación, por lo que su crianza y explotación se ha extendido notablemente, con resultados muy buenos.

La lombriz de humus, puede vivir en cautiverio en poblaciones de hasta 50 000 por m². Es hermafrodita insuficiente (es decir que no se autofecunda), con altas tasas de reproducción, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida, se aparea y deposita cada 7 a 14 días una cápsula conteniendo de 2 a 20 huevos que a su vez eclosionan pasados los 21 días. Así una lombriz adulta es capaz de tener en un año 1500 crías. Las lombrices recién nacidas

son de color blanco, que se vuelve rosado a los 5 o 6 días y se convierte definitivamente en rojo oscuro a los 15 o 20 días, llegando a vivir hasta los 16 años.

Esta especie es fotofóbica, por lo que se alimenta en la noche, de tal manera que el aparato digestivo de la lombriz, puede convertir en humus a los desechos orgánicos en pocas horas lo que tarda muchos años a la naturaleza, generalmente expulsa el 60 % de la materia después de la digestión. Hay quienes sostienen que la tierra que ha pasado por el intestino de la lombriz, comparada con la tierra vecina es muy diferente ya que tiene aproximadamente, 5 veces más nitrógeno, 7 veces más potasio, el doble de calcio y de magnesio.

La capacidad transformadora de la lombriz ha sido medida en diferentes experimentos, habiéndose obtenido como resultado que una población de 100 000 lombrices, que ocupa un área de 2 m² está en condiciones de producir 2 kg de humus por día.

4.2.7. Fases del proceso

4.2.7.1. Pre-fermentación de los residuos

Después de clasificar los materiales sólidos orgánicos, se los lleva en carretillas hacia las camas donde se cubren con paja y se riegan con agua hasta que penetre todo el sustrato. Se monitorea la temperatura que debe alcanzar de 70 °C a 75°C. Este proceso dura 40 días, en los cuales los microorganismos actúan degradando la materia orgánica. El volumen al final del proceso disminuye del 30%-40%.

4.2.7.2. Siembra de lombrices en pilas o lechos

Cuando ha pasado 40 días se procede a dar la vuelta y a trasladar las lombrices de los criaderos hacia las camas que contienen la materia orgánica pre-fermentada. Este proceso se puede hacer de dos formas, la primera consiste en colocar todo el material de los criaderos y la segunda con-

siste en colocar solo lombrices. Cuando se quiere recupera solo las lombrices de los criaderos se deben colocar al pie de los criaderos un poco de material orgánico fresco y pasto, luego regarlo, en dos días se observa como migran las lombrices hacia este lugar.

Al final de esta etapa el volumen ha caído en un 30% y dura de 3 a 4 meses.

4.2.7.3. Cosechas de lombrices

Aproximadamente cada metro cuadrado de lecho de lombrices, cuando está en su plena capacidad poblacional (50 000 lombrices/ m²), consume 500 kg de alimento/ promedio / año y es capaz de producir entre 250 a300 kg de humus de lombriz/ año, es decir que se registra un grado de eficiencia o conversión de 50 a 60 %.

Se estima que un criadero de lombrices en fase de expansión, se duplica cada tres meses, es decir 16 veces en un año, 256 veces en dos años y así sucesivamente. En el supuesto de que se inicie una explotación de lombrices para la obtención de humus con un lecho de 2 metros cuadrados (1.00 x 2.00 m), con una población de 100 000 lombrices, el desarrollo de este incluyendo la producción de humus responderá a las cifras que se presentan en la siguiente tabla.

Tiempo (Trimestres)	Número de lechos	en m ²	N° de lombrices	Consumo mensual de materia orgánica en kg	Producción de humus en kg	Mano de obra horas /mes
1º Trimestre 1	2		100 000 1	00 7	5	2
2º Trimestre 2	4		200 000 2	00 1	50 3	
3º Trimestre 4	8		400 000 4	00 3	00 4	
4º Trimestre 8	1	6	800 000 8	00 4	50 6	
Después de un año	163	2	1 600 000	1 600	600	10
Después de 2 años	256	512	25 600 000 2	5 600	9 600	120

Tabla 2 Desarrollo de un criadero de lombrices para la obtención de humus a partir de un lecho de 2 m² una población inicial de 100 000 lombrices.

Fuente: Barbado, L. 2003. Cría de Lombrices. Ed. Albatros, Buenos Aires, Argentina.

Las lombrices se cosechan colocando al pie de las camas un poco de material orgánico fresco y pasto, luego hay que regarlos y esperar que las lombrices se acerquen a comer el residuo fresco. Las lombrices pueden migrar directamente a las camas que ya han pasado por el proceso de pre-fermentación.

4.2.7.4. Afino y empaque de humus

El material de las camas sin lombrices se transporta por carretillas hacia el área de secado, donde se esparce por toda la zona. El secado se debe realizar con aire más no directamente con el sol.

Luego se pasa por una primera etapa de tamizaje con una malla de 2,5 mm mientras que en la segunda etapa se trabaja con una malla de 0,5 mm. Se trabaja también con un molino de martillo. Se envase en saquillos de 25 kg.



Ilustración 17 Proceso de lombricultura
Fuente: GADM-LOJA, 2019

4.2.8. Parámetros de control del proceso de la lombricultura

Durante la práctica de la lombricultura, es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

4.2.8.1. Alimentación

El alimento dentro de las camas o “lechos de cría” requiere se observen los factores que se señalan a continuación en la Tabla 3.

Situación	pH (acidez-alcalinidad)	Humedad %	Temperatura ° C	Proteína %
	Óptimo	6,5 – 7,5	75	15 – 25 “ideal”
Adecuado	6,0- 8,5	70 – 80		7,5 – 13 en producción
Inadecuado	< 4,5 – 8,5			

Tabla 3 Factores que deben observarse en el alimento de las lombrices dentro de Los lechos de cría

Fuente: Bollo, E. 2001. Lombricultura, una alternativa de reciclaje. Ed. SobocGrafis, Quito, Ecuador.

4.2.8.2. Manejo

Mantenga suficiente alimento en los lechos formando “lomos” en la parte central del mismo. No descuidar el humedecimiento frecuente del material, para evitar que se deseeque. Observe frecuentemente los parámetros de humedad, pH y temperatura, para evitar la fuga de las lombrices. En un plantel de lombricultura que tenga el carácter de industrial se deberá realizar una instalación de riego mediante micro aspersores a fin de facilitar esta importante actividad.

Cuando se quiere rebajar rápidamente la acidez del sustrato se añade carbonato de calcio, a razón de 300 gramos por metro cuadrado de lecho. Después de preparado el sustrato se riega durante tres a cuatro días consecutivos, y posteriormente una vez por semana. En períodos calurosos se regará cuantas veces haga falta para mantenerlo en buen estado de humedad. Al cabo de un mes y una vez controlado el grado de acidez, el sustrato está apto para recibir a las lombrices.

Con el propósito de evitar la fuga de las lombrices durante la noche en los planteles industriales, se recomienda la instalación de luz blanca, pues estas al ser sensibles a la luz, se mantendrán bajo el sustrato.

Los pájaros y las hormigas en nuestro medio, son los principales enemigos de las lombrices, para controlar el ataque de los primeros que suelen remover con las patas la superficie de los lechos y comérselas, se recomienda cubrir los lechos con paja, hojas de palma, banano o plátano o con mallas de plástico; contra las hormigas que a más de atacar físicamente a las lombrices, se les comen los azúcares de su alimento, se recomienda hacer cebos a base de 1 parte de bórax en polvo (ácido bórico) y tres partes de azúcar blanco, para colocar pequeñas raciones de esta mezcla en tapas de tarrinas y ubicarlas por los sectores por donde andan estos insectos; también se puede hacer una esencia de tabaco, para cuyo efecto se cocinan 4 onzas de tabaco maduro en rama en 1 litro de agua + 1 cucharada de cal, luego con esta esencia se embeben porciones de azúcar que así mismo se colocarán en pequeñas porciones por los sitios donde están las hormigas.

En algunos sectores de la costa, se ha detectado que las lombrices se ven atacadas por un parásito denominado “planaria” en cuyo caso se recomienda, que el alimento que se ponga en los lechos sea prácticamente neutro, lo cual se consigue mediante la aplicación de lechada de cal (500 gramos de carbonato de calcio/20 litros de agua) por cada metro cúbico de alimento que se esté procesando.

4.3. Bokashi

4.3.1. Definición

Es un abono orgánico que resulta de la fermentación aeróbica de desechos de carácter vegetal y animal al que se le pueden agregar elementos de origen mineral para enriquecerlo y microorganismos eficientes para activar el proceso fermentativo. El Bokashi es una de las tecnologías más antiguas utilizadas por los agricultores japoneses para abonar sus suelos, pues consideran que este abono es muy seguro y eficiente ya que contiene los elementos necesarios para la nutrición de las plantas y además posee una alta carga de microorganismos benéficos.



Fuente: Aboneras tipo Bocashi- FAO 2011

4.3.2. Beneficios

- Abono de producción rápida (no más de tres semanas).
- Sus nutrientes se encuentran disueltos en el efluente que resulta del proceso fermentativo y son de fácil asimilación por las raíces de las plantas.
- Material de fácil manipulación.
- Reduce la acidez de los suelos
- Durante el proceso se activan microorganismos benéficos para el crecimiento de planta.

Los secretos para producir un Bokashi de buena calidad radican en los siguientes aspectos:

- Combinar diversos tipos de materiales orgánicos.
- Controlar correctamente la temperatura y la humedad.
- Mantener un olor agradable de la fermentación.

4.3.3. Tipos de residuos susceptibles para realizar Bokashi

- Gallinaza, bovinaza, porquinaza, estiércol de ovejas, caballos, cuyes o conejos.
- Desechos de camarón o de pescado.
- Harina de huesos, harina de sangre.
- Carbón de leña quebrado en partículas pequeñas o cascarilla de arroz carbonizada.
- Polvillo de arroz (pulidura).
- Salvado de trigo o de cebada, granza de quinua, vainas de fréjol trituradas.
- Cascarilla de arroz, pulpa de café, cáscara de cacao o de coco picadas, bagacillo.
- Harina de higuera.
- Desechos de la producción hortícola y frutícola.
- Ráquis de banano, palma o palmito picado.

4.3.4. Tipos de residuos no susceptibles para realizar Bokashi

- Madera con componentes taninos y sustancias aromáticas.

4.3.5. Características de los residuos a compostar

El carbón: mejora las características físicas del suelo, propiciando su aireación, absorción de humedad y calor. Su porosidad beneficia la actividad macro y micro biológica de la tierra, actuando como una esponja capaz de absorber, retener, filtrar y liberar gradualmente nutrimentos útiles para las plantas, disminuyendo la pérdida por lavado de estos en el suelo.

Los estiércoles: constituyen la principal fuente de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. La calidad de estas fuentes de nutrimentos depende de su origen, de la alimentación que reciban los animales y del destino que se den a éstos.

La cascarilla de arroz: cumple el papel de mejoradora de las características físicas del suelo y de los abonos orgánicos, facilitando la aireación, absorción de la humedad y la filtración de los nutrimentos.

El polvillo de arroz: es uno de los ingredientes de gran importancia en la elaboración del Bokashi ya

que posibilita en alto grado el proceso de fermentación del abono, favoreciendo la proliferación de las bacterias ácido-lácticas, aporta nitrógeno, es muy rica en otros nutrimentos tales como: fósforo, potasio, calcio y magnesio, como también en vitaminas y aminoácidos.

Melaza, miel de caña o de panela: es la principal fuente de energía para la fermentación de los ingredientes que se emplean en la fabricación del Bokashi, favorece la multiplicación de la actividad microbiológica. Es rica en nutrimentos tales como potasio, calcio, magnesio, conteniendo además oligoelementos como el boro.

Tierra de bosque o tierra negra: su función es darle consistencia esponjosa al abono para que retenga humedad; con su volumen, se aumenta el desarrollo de la actividad de los microorganismos y se logra una buena fermentación. Alternativamente a la tierra negra, se pueden usar la tierra que queda en el fondo de los estanques o reservorios y de las piscinas que se utilizan para la crianza de peces de agua dulce.

Carbonato de calcio (cal agrícola): la finalidad de la cal es neutralizar la acidez que puede presentarse durante el proceso de fermentación en algunos de los ingredientes utilizados en la fabricación del Bokashi. Alternativamente al uso de la cal agrícola, se puede utilizar ceniza vegetal, con lo que también se incorpora el elemento potasio.

El agua: tiene la función de homogeneizar todos los ingredientes utilizados en la fabricación del Bokashi, creando las condiciones ideales para un buen desarrollo de la actividad y reproducción microbiológica. Para la elaboración de abonos orgánicos fermentados se recomienda no utilizar agua que contenga cloro.

Los Microorganismos Eficientes (EM): Se pueden adquirir en el mercado, o capturarse en el ambiente, utilizando técnicas artesanales o simplemente se puede aplicar porciones de Bokashi curtido. Siempre será necesario que a los Microorganismos eficientes EM, se los aplique acompañados de melaza (500 ml de EM + 500 ml de melaza en 20 litros de agua, por cada metro cúbico de desechos a fermentarse a fin de facilitar energía que posibilite la reproducción acelerada de los microorganismos inoculados. Alternativamente se puede utilizar levadura para pan, la cual acelera el proceso de fermentación (4 onzas de levadura + 500 ml de melaza o miel de panela + 20 litros de agua, por cada metro cúbico de material a fermentarse).

Siempre debe observarse una relación de materiales que vaya entre 2 partes de desechos vegetales y 1 parte de desechos animal o 3 partes de desecho vegetal por 1 parte de desecho animal, con el propósito de tener una relación carbono/nitrógeno C/N, que se encuentre entre 20 a 22 partes de Carbono por 1 de nitrógeno.

4.3.6. Fases de degradación de la materia orgánica

Los materiales orgánicos disponibles, se proceden a triturarse en un tamaño promedio de 0,5 a 1 cm, para luego mezclarlos, humedecerlos e inocularlos con microorganismos eficientes para luego extenderlos en eras que tengan entre 1,00 a 2,00 m de ancho, 3,00 a 30,00 m de largo y 0,60 a 0,70 m de alto. Una vez que se ha extendido la mezcla de desechos orgánicos, es recomendable cubrirla con sacos de fibra o con una capa de paja durante los tres primeros días de la fermentación, con el objetivo de acelerar este proceso, posteriormente se procede a destaparla la era para que se produzca la fase anaeróbica fermentativa.

4.3.6.1. Fase fermentación

En los primeros días, del proceso fermentativo del Bokashi, la temperatura tiende a subir a más de 80° C, lo que no debe permitirse pues los microorganismos benéficos empiezan a sucumbir. Para controlar esta situación se debe voltear la mezcla dos veces diarias (una vez a la mañana y otra vez a la tarde), con lo que se consigue airearla y bajarle la temperatura. Otra buena práctica para evitar que la temperatura suba en exceso es rebajar gradualmente la altura del montón a partir del tercer día hasta lograr más o menos una altura de 20 centímetros al octavo día, de aquí para adelante la temperatura del abono empieza a decrecer y luego a estabilizarse, siendo necesario revolverlo una sola vez al día.

4.3.6.2. Fase maduración

Entre los 12 y 15 días el Bokashi ya ha logrado su maduración y su temperatura es igual a la tem-

peratura ambiente, su color es gris claro, tiene un olor agradable (a tierra de montaña), queda con un aspecto de polvo arenoso y de consistencia suelta. En estas condiciones el abono está listo para aplicarse o para empacarse en sacos de polipropileno y llevarlo a almacenar, para su posterior expendio. Cuando se logra manejar adecuadamente el proceso de fermentación, la fabricación del Bokashi puede llevarse a cabo entre 7 a 15 días y como máximo tres semanas.

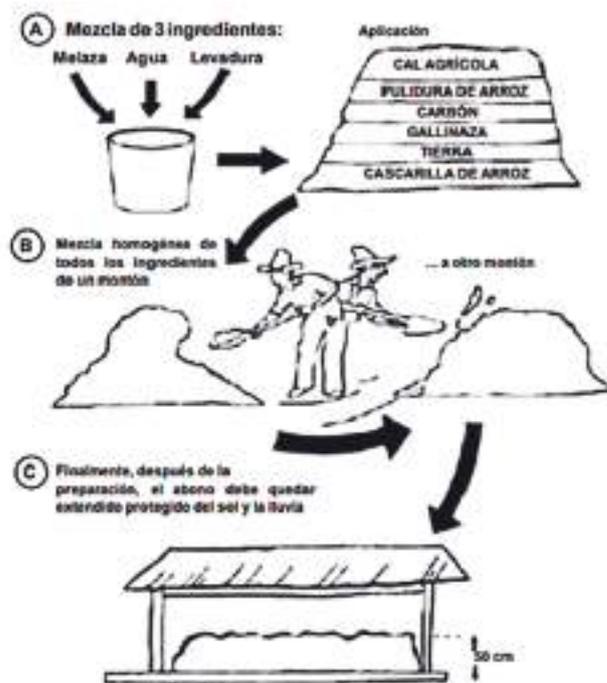


Ilustración 18 Proceso de elaboración del Bokashi
Fuente: ELABORACIÓN Y USO DEL BOKASHI, FAO-PESA,2011

4.3.7. Parámetros de control del método Bokashi

Por ser el Bokashi un abono que posee una elevada carga microbiana se lo deberá proteger siempre de la acción del sol, pues los rayos ultravioletas (UV), pueden desactivar su actividad microbiana.

De tal forma que durante la práctica del Bokashi, es importante tener en cuenta los siguientes parámetros.

Situación	Relación C/N	Humedad %	Temperatura	pH	Tamaño de partícula
Óptimo	20 a 22:1	50-60%	Fase de fermentación: Mayor a 50°C- menor a 75°C Fase de maduración: temperatura ambiente.	6,5 –7,5 0	,5 a 1 cm

Tabla 4 Parámetros a considerarse en la elaboración del Bokashi
Fuente: Elaboración y uso del Bokashi, FAO-PESA,2011

Si el Bokashi se va a almacenar, se debe buscar un lugar cerrado, fresco y aireado, para evitar que este se reseque exageradamente, pierda nutrimentos por lavado o volatilización, como también su carga microbiológica. Bajo las condiciones señaladas el Bokashi se puede almacenar hasta por tres meses.

4.4. Takakura

4.4.1. Definición



Ilustración 19 Elaboración de Takakura
Fuente: GADM- MACAS, 2019

En el método de compostaje Takakura, utiliza los microorganismos que viven en los alimentos fermentados y en ambientes naturales y sirven para eliminar los microorganismos indeseables los cuales se adaptan al suelo. Estas razones se prestan para que cualquier persona pueda realizar compost de una manera sencilla y fácil, conociendo cómo descubrir los microorganismos y cultivarlos.

El uso correcto de estos microorganismos fermentativos posibilita la producción de gran cantidad de compostaje en espacios pequeños y en un corto periodo de tiempo, además que el método Takakura es sencillo, económico y seguro debido a que solo se requiere materiales disponibles en cualquier medio. Este método de compostaje se llama "TAKAKURA" debido a que su inventor es el Sr. Koji Takakura quién desarrolló este método en la ciudad de Surabaya en Indonesia, y posteriormente fue llevado a la ciudad de Macas-Ecuador donde se realizaron adecuaciones para adaptarlo a su realidad local.

4.4.2. Beneficios

- Reduce los residuos orgánicos y mejora la fertilidad del suelo.
- Es un proceso rápido ya que dura 45 días, si se mantiene un buen control de humedad y temperatura.
- Requiere espacios pequeños para el proceso.
- La inversión económica para adquisición de materiales se realiza una única vez, pues es un proceso cíclico, el mismo compost servirá luego como semilla.

4.4.3. Tipos de residuos susceptibles a compostar

- Todos los residuos orgánicos son compostables por el método Takakura.
- Broza de café, aceites usado de cocina y comida.

4.4.4. Tipos de residuos no susceptibles a compostar

- Materiales muy duros que no se pueden compostar en 45 días como los residuos del Coco, huesos de animales grandes, semillas muy duras, etc.

4.4.5. Características de los residuos a compostar

4.4.5.1. Tamaño

El tamaño de los residuos orgánicos es fundamental al momento de compostar, debido a que, a mayor tamaño, mayor tiempo de compost.

Al ser muy variados los tipos de elementos de donde provienen los residuos orgánicos, existen de diferentes tamaños y composiciones, por tal motivo se vuelve necesarios homogeneizar al menos el tamaño, para obtener una degradación uniforme, siendo lo recomendable entre 3 a 5 cm de diámetro. De lo contrario, se debe tener una picadora para acelerar los procesos de los residuos de mayor volumen.

4.4.5.2. Humedad

Los residuos usados para el compost Takakura son orgánicos, y por lo tanto tienden a poseer altos porcentajes de humedad. Para comenzar el compostaje de manera adecuada, se debe tener en cuenta que la humedad ideal para el proceso se encuentra en el rango de 40%-60%. Existen varios métodos para comprobar que la humedad se encuentra en el rango adecuado, el primero se trata de observar el contenido de agua del compostaje semilla al exprimirlo. El segundo, se trata de observar el vapor de agua salir del montículo de compostaje al mezclar el compostaje semilla con el material a compostar (IGES, JICA, City of Kitakyushu, 2010).

4.4.5.3. Potencial Hidrógeno (pH)

El pH inicial depende directamente del tipo de residuos usados para el compostaje. Sin embargo, hay una tendencia a tener un pH aproximado al neutro (pH~7). Este valor varía a lo largo del proceso por lo que es necesario controlar este parámetro en el desarrollo del compost (Roel, Laura, & María Fernanda, 2016).

4.4.5.4. Relación C/N

Al igual que el pH, este parámetro depende del tipo de residuos usados. Se recomienda una relación C/N en la que el carbón es mucho mayor al nitrógeno. Cuando la cantidad de nitrógeno en el compost inicial es muy alta, se observa mayor humedad y malos olores durante el proceso del compostaje Takakura. En estos casos se recomienda agregar materia orgánica rica en carbono al compost, como lo es: hierba o restos de café (Honobe, 2013).

4.4.6. Proceso de degradación de la materia orgánica

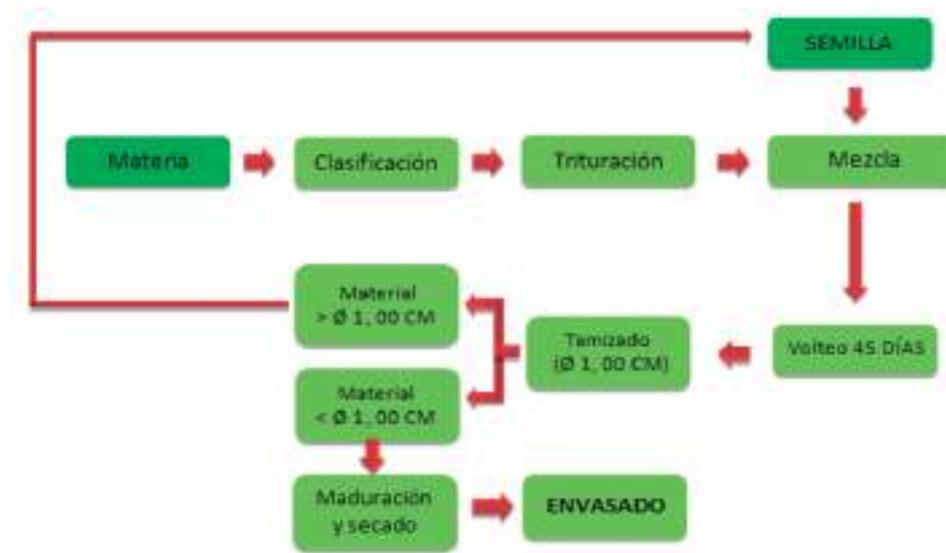


Ilustración 20 Diagrama del proceso de degradación de la materia orgánica
Fuente: GADM de MORONA, JICA, 2019

La gráfica anterior indica el proceso de compostaje que consta de varias partes como:

- Fase de elaboración de semilla.
- Fase de lecho.
- Fase de degradación.
- Fase de afinado y envasado.

4.4.6.1. Fase de elaboración de semilla.

La elaboración de la semilla se realiza utilizando los siguientes productos:

INGREDIENTES		DOMICILIARIO	COMUNITARIO	MUNICIPAL ¹
SOLUCIÓN DE SAL	AGUA	1 L	5L	30 L
	SAL	10 gr	100 gr	1 kg
	NARANJA	1 unidad	3 unidades	10 unidades
	UVA	1/2 lb	1 lb	3 lb
	PAPAYA	1 unidad	unidad	2 unidades
	MANZANA	1 unidad	5 unidades	10 unidades
	LECHUGA	1 unidad	1 unidad	2 unidades
	PEPINILLO	1 unidad	1 unidad	3 unidades
COL	1 unidad	1 unidad	2 unidades	

² Cantidades referenciales iniciar en la elaboración de la semilla.

SOLUCIÓN DULCE	AGUA	1L	5L	30 L
	AZÚCAR	50 gr	500 gr	10 kg
	QUESO	1/2 lb	1 lb	5 lb
	LEVADURA	1 funda (7g/funda)	5 fundas (7g/funda)	1 paquete (175 g/paquete)
	YOGURT	200 mL	1 L	3 galones (3 L/galón)
LECHO	ASERRÍN	15 kg	3 sacos (20 kg/saco)	20 sacos (20 kg/saco)
	HARINA	5 lb	30 lb	1,5 sacos (100 lb/saco)
	HOJARASCA	1 lb	10 lb	1000 lb

Tabla 5 Cantidades de sustrato para la elaboración de soluciones y el lecho para el método Takakura
Elaborado por: GADM de MORONA, JICA, 2019

El día uno se realiza las soluciones salada y dulce, dejándolos reposar por 8 días en un envase plástico protegido de las moscas, en el día 8 se coloca las dos soluciones en el lecho, se remueve y se protege con periódico o tela para evitar el ingreso de moscas y se deja reposar una semana, en el día 15 está listo para ser mezclado con residuos orgánico picados.

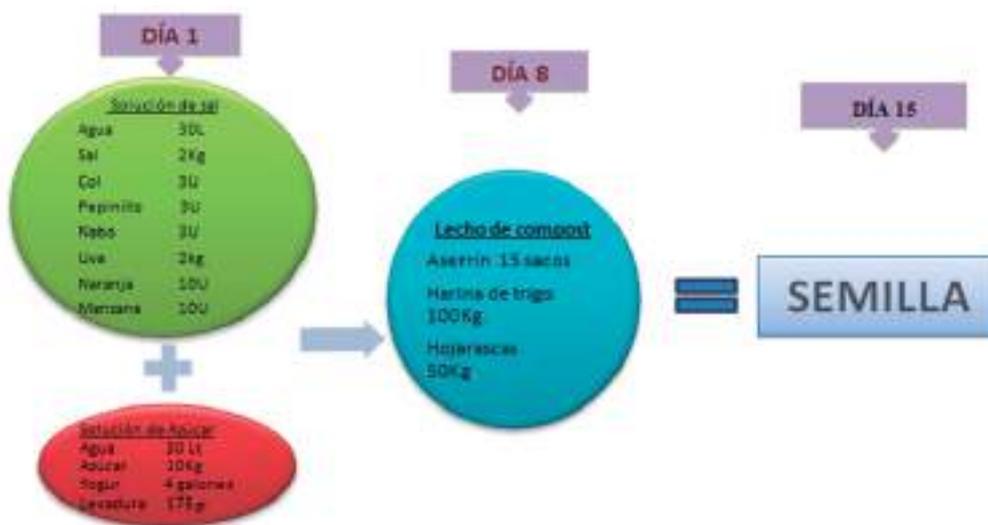


Ilustración 21 Diagrama del proceso para la obtención de la semilla
Fuente: GADM de MORONA, JICA, 2019

Nota. - Desde el día 8 al 15, es muy importante realizar un control de humedad, debiendo mantenerse entre 50% a 60%.



La temperatura debe ser superior a los 45°C

Ilustración 22 Método para verificar la humedad
Fuente: Moran. J, 2017

4.4.6.2.Fase lecho

Consiste realizar la mezcla de residuos orgánicos con las semillas obtenida a través de la formula Takakura, a continuación, se describe la forma de lecho tomando en cuenta el volumen de residuos orgánicos a nivel municipal.

4.4.6.2.1. Tamaño municipal

Cuando el volumen de producción de desechos orgánicos supera los 100 kg diarios, es recomendable la instalación de una planta de compostaje, la cual deberá estar diseñada de tal manera que se ajuste a la realidad de cada localidad.

Al igual que los métodos que antecedieron al presente, antes de iniciar el proceso de compostaje se debe preparar los residuos orgánicos, evitando al máximo la presencia de impurezas y posteriormente homogenizando el tamaño para lograr un compost uniforme en tiempo y textura.



Recepción de residuos orgánicos, posteriormente se realiza la separación de los residuos inorgánicos y se coloca en la plataforma



Triturado de los desechos orgánicos, para homogenizar el tamaño

Ilustración 23 Preparación de los residuos para procedimiento Takakura tamaño municipal
Fuente: GADM de MORONA, JICA, 2019

Una vez que el residuo orgánico esté listo para compostar, preparamos el lecho donde se procederá a colocarlo.



Colocación de material absorbente, aserrín, tamo, etc



Cobertura de los desechos orgánicos con una capa de 5cm de semilla Takakura y luego con otra capa de material absorbente



Colocación de la semilla Takakura

Tendido de la semilla Takakura de al menos 5 cm de espesor

Colocación de los desechos orgánicos triturados, a una altura mínima de 1 m

Cobertura de los desechos orgánicos con una capa de 5cm de semilla Takakura y luego con otra capa de material absorbente

Ilustración 24 Etapas del procedimiento Takakura tamaño municipal
Fuente: GADM de MORONA, JICA, 2019

4.4.6.3. Fase de fermentación

Después de 8 días realizar el primer volteo para lograr aireación dentro del lecho, el volteo es fundamental en el proceso de fermentación del compostaje, por lo que hacer en una frecuencia diaria es lo óptimo, sin embargo, si se carece de recursos para hacerlo en esta frecuencia, se deberá realizar el volteo al menos dos veces por semana. Este proceso se lo realizará por 30 días o hasta notar que el compost empiece a perder temperatura.

4.4.6.4. Fase de maduración

Luego del proceso de fermentación, empezaremos con la maduración, para lo cual las camas de compost serán formadas con una menor altura y mayor superficie de la base para ayudar al proceso de evaporación de líquidos, sin embargo, siguen siendo necesarios los volteos frecuentes hasta que el compost este a temperatura ambiente y carente de humedad, para posteriormente pasar por un tamiz de 0,5 a 1 cm de diámetro, a continuación de muestra dos opciones de tamizado:



Ilustración 25 Tamizado y obtención del producto final
Fuente: GADM de MORONA, JICA, 2019

4.4.7. Parámetros de control

4.4.7.1. Temperatura

Después de mezclar los residuos con el compostaje semilla, se debe procurar mantener la temperatura de la pila entre 60°-80° C. Temperaturas inferiores o superiores a este rango no son adecuadas para el proceso de compostaje, y en caso de alejarse en extremo del rango mencionado el proceso podría fallar. (IGES, 2010).

4.4.7.2. Humedad

Tras finalizar el proceso de Takakura, el porcentaje de humedad óptimo para el compost es de 35-50%. Este porcentaje puede variar por la temperatura máxima que haya alcanzado el compost durante el proceso. Por este motivo se recomienda controlar el parámetro de temperatura durante el proceso. (Jiménez-Antillón, Calleja-Amador, & Luis G., 2018).

4.4.7.3. Potencial Hidrógeno (pH)

El pH varía a lo largo del proceso de compostaje en tres fases. En la fase inicial el pH disminuye, se han reportado casos en los que el pH disminuye hasta 4. En la segunda fase se produce una alcalinización del medio, principalmente por los procesos de degradación de la materia orgánica en el compost. En la tercera fase, el pH tiende a llegar a rangos cercanos a la neutralidad. Se debe controlar este valor, ya que si desde a fase inicial el pH es muy bajo, se inhibe el proceso de degradación de materia orgánica y por lo tanto no se podrá obtener compost. (Rooel, Laura, & María Fernanda, 2016).

4.4.7.4. Relación carbono/nitrógeno (C/N)

El carbono (C) y el nitrógeno (N) son dos de los macronutrientes más importantes en el compost. La cantidad de estos nutrientes dependerá de los residuos usados, pero al madurar el compost, la cantidad de carbono es mucho mayor a la de nitrógeno. En investigaciones previas de caracterización del compost y su proceso se han obtenido relaciones en el rango de 13:1 – 21:1 C: N. (Jiménez-Antillón, Calleja-Amador, & Luis G., 2018).

4.4.7.5. Microorganismos

Generalmente se observan niveles medios de hongos y bajos en bacterias. Debido a las temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostaje, la cantidad de bacterias patógenas en el compost disminuye. Es necesario controlar que el producto final no posea cantidades de bacterias patógenas superiores a las soportadas. En caso de que la presencia de bacterias patógenas en el compost sea superior a la permitida, podría causar efectos negativos sobre la población que consume productos tratados con el compost contaminado. (Rooel, Laura, & María Fernanda, 2016) (Ministerio de Ganadería, 2018).

5. DISEÑO Y OPERACIÓN DE UNA PLANTA PARA LA ELABORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

5.1 Diseño de la planta (Compostaje, Bokashi y Takakura)

5.1.1 Determinación del volumen de materia orgánica a compostar

El volumen de la materia orgánica a compostar al igual que su procedencia depende de cada administración y de la región donde se realice el tratamiento. Cada municipio debe analizar el material que puede obtener y las cantidades que va a tratar para dimensionar la planta y los espacios que necesita.



Ilustración 26 Preparación de pilas para compostar residuos orgánicos
Fuente: GADM de Cuenca, 2019

Para la determinación del volumen, se utiliza la fórmula del volumen de un paralelepípedo como medida aproximada del volumen de una pila (Román, Martínez, & Pantoja, 2013) como se presenta en la siguiente ecuación.



$$V(m^3) = x * y * z$$

Ilustración 27 Diagrama para obtener el volumen de una pila y ecuación para su obtención
Fuente: Román, Martínez, & Pantoja, 2013

Si la pila posee una forma más piramidal, se debe emplear el volumen de una pirámide:

$$V(m^3) = (A_b * h) / 3$$

Dónde: A_b es el área de la base y h es la altura.

Si para una pila el limitante es el área donde realizar el compostaje, entonces el valor fijo es el área base, la longitud y ancho de la pila (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

5.1.2 Dimensión del área de recepción de materiales



Para la recepción de materiales es importante definir lo que requiere ser triturado o no. Lo que no requiere ser triturado puede ser descargado directamente en la nave de fermentación para iniciar la conformación de la pila. Las ramas necesariamente deben ser trituradas por lo que se debe acondicionar el espacio para la trituradora y el área de recepción en función de la cantidad de material que se prevé recibir. Así también elementos grandes como tallos de guineo, frutas grandes, cocos entre otros.

Hay épocas que se producen mayores cantidades de unos u otros desechos para los cuales se debe prever una zona de almacenamiento de los mismos para que puedan ser utilizados en las épocas que baja su generación, por ejemplo, el pasto o residuos de cosechas.

Ilustración 28 Trituración de material
Fuente: GADM de Cuenca, 2019

5.1.3. Diseño de la pila de compostaje

Las pilas de compostaje normalmente tienen una dimensión de 2-3 metros de ancho en la base y 1,5 metros de alto, por facilidad de manejo y mejor aireación, sin embargo, pueden tener mayores dimensiones siempre que la aireación se realice con maquinaria pesada de carga o pueden ser más bajas si el volteo se realiza manualmente; en caso de usar una volteadora mecánica las dimensiones serán dadas por el equipo utilizado. La longitud es variable dependiendo de la cantidad de material que ingresa a la planta de compostaje.



Ilustración 29 Preparación de las pilas
Fuente: GADM de Cuenca, 2019

Una buena conformación de la pila facilita los procesos de descomposición y se logran buenos resultados sin causar problemas ambientales como lixiviados y malos olores.

Sin embargo, para determinar las dimensiones de una pila para compostaje, es necesario tener en cuenta que, durante todo el proceso de compostaje, la pila disminuye hasta un 50% de tamaño, debido a la compactación, descomposición de los residuos y la pérdida de carbono en forma de CO₂ (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Según sea la aireación dentro de la pila, se pueden dividir en:

5.1.3.1. Compostaje en hilera

Consiste en construir hileras del material orgánico al aire libre y dejarlas fermentar durante unas 8 semanas. Las dimensiones típicas de las hileras son de 2 m a 2,3 m de altura por 4 m a 5 m de anchura de la base, siendo la longitud variable. Las dimensiones de la base las suele fijar la volteadora que se encarga de airear la pila. En las primeras semanas se voltea dos veces por semana y se mantiene la temperatura en 55°C. Los volteos favorecen la renovación de la mezcla y del oxígeno en las hileras. La circulación de aire dentro de la pila está limitada a la convección natural: salida del aire caliente de la pila y entrada de aire frío. El principal problema de este método de fermentación es la liberación de compuestos olorosos durante el proceso de volteo, lo que puede producir molestias en las zonas cercanas a la planta. Además, al estar al aire libre, si las pilas no están a cubierto, la lluvia puede producir lixiviados.

5.1.3.2. Compostaje en pila estática aireada

Este método de compostaje consiste en colocar la masa de residuos sobre una red de tuberías perforadas conectadas a un ventilador que aspira o inyecta aire a través de ellas. El control de la temperatura y del oxígeno dentro de la pila se realiza mediante la regulación del caudal del ventilador. Las dimensiones óptimas son de 2 m a 2,5 m de altura. En este caso, no hace falta una anchura específica, ya que no se va a voltear. Se suele colocar encima de la pila de residuos una capa de compost ya maduro para el control de olores. Este sistema permite una transformación de residuos orgánicos en compost más rápida que el método de hileras. (Garrido, 2015).

5.1.4. Dimensionamiento y condiciones del sitio de fermentación de la fracción orgánica de los residuos municipales

Esta área es la más delicada y su dimensionamiento depende de la cantidad de residuos que ingresan a las plantas de compostaje. Aproximadamente se necesitan entre 2,5 y 3 m²/tonelada tratada, para un tiempo de permanencia en esta área de unas 4-5 semanas hasta que se estabilice el material.

Es muy importante que este lugar se encuentre bajo techo y cuente con un piso impermeable (preferiblemente de cemento) ya que el exceso de humedad genera putrefacción y el piso no puede dejar absorber cualquier lixiviado. Los lixiviados deben evitarse, pero en caso de cualquier escurrimiento, éste debe ser canalizado hacia un tanque de recolección pudiendo recircularse al proceso o llevarse para recibir tratamiento.

5.1.5. Determinación del área de maduración del compost

Una vez que el material está estabilizado inicia la maduración del mismo, proceso que puede

realizarse bajo techo. En este caso el alto de la pila puede aumentar y los volteos disminuir. En el espacio que antes ocupaba una pila en fermentación se pueden colocar dos pilas en maduración. Usualmente la maduración dura entre ocho a diez semanas en la sierra; en la costa el proceso se acelera, esto dependerá de los volteos que se realicen y de los materiales con los que realice la mezcla. Normalmente se calcula una necesidad de 1,5 m² por cada tonelada que sale de fermentación.

5.1.6. Densidad de la materia orgánica en las diferentes etapas del proceso de compostaje

Durante todo el proceso el material va cambiando en cuanto a su peso específico y las características del mismo, es así que el peso promedio cuando el material ingresa a la planta es de 270 kg/m³ y al ser triturado este peso cambia a 390 kg/m³. La densidad sigue aumentando a medida que el material se descompone y se vuelve más fino hasta que al finalizar la etapa de maduración y tamizado el peso específico del producto es de unos 500 kg/m³.



Ilustración 30 Tamizado del producto
Fuente: GADM de Cuenca, 2019

5.1.7. Determinación del área de afino y empaque

El dimensionamiento del área de secado y tamizado del producto depende de la cantidad que se produce, del clima de la zona y de los materiales con los que se vaya a construir. Se requiere que sea techado y con piso sólido. Por cada tonelada de material que requiera secarse se necesita aproximadamente unos 10 m² para tener un secado rápido. Cuando el producto tiene un 25% a 30% de humedad se procede a pasar por un tamiz, que de la experiencia observada trabaja mejor el tipo trommel (es decir, un cilindro con malla o lámina metálica perforada).

5.2. Operación de una planta de compostaje

5.2.1. Etapa de selección y trituración

Una vez recibida la materia orgánica se da un registro de peso y/o volumen y dependiendo del residuo, estos van a trituración o directo al área de fermentación

Selección y Clasificación de los materiales: En cada área se retira todo el material inorgánico o inadecuado para el proceso y se lo lleva a los contenedores de basura

Trituración o chipeado: la materia orgánica gruesa procedente de mercado u otros lugares debe triturada, mientras que el chipeado de ramas se lo realiza en una picadora.



Ilustración 31 Descarga y trituración de los residuos orgánicos
Fuente: GADM de Cuenca, 2019

5.2.2. Etapa de fermentación o descomposición inicial

5.2.2.1. Conformación y manejo de la pila

Mezclando todos los materiales en proporciones que favorezcan la descomposición, evitando un exceso de humedad mediante el uso de material seco como viruta o compost maduro. Dura aproximadamente 1 mes, dependiendo del clima y de la aireación que se dé a la mezcla. Es

recomendado el volteo diario para una mejor aireación. Las temperaturas llegan hasta 65°C -70°C, no debe superar este límite porque se calcina el material.

5.2.2.2. Fase de estabilización

- Tiempo: 1 mes aprox. Volteo diario.
- Característica del producto final: olor a similar a tierra, y sin temperatura alta.
- Temperatura entre 20 y 30 °C según el clima; y pH con tendencia a alcalino.
- La humedad: puede evaluarse en laboratorio o a nivel de campo con el método de puño para que se encuentre en un 60%. Sin embargo, un excelente indicador que siempre debe observarse es el escurrimiento, la humedad es adecuada cuando no existe lixiviado en las pilas, generalmente no se requiere adicionar agua, salvo en lugares muy secos, ya que la humedad propia de los residuos orgánicos es suficiente para un adecuado trabajo de los organismos descomponedores, basta con una buena aireación y el proceso ocurre rápidamente. Cuando el material es muy húmedo se debe adicionar material seco como viruta, tamo o compost seco para evitar un exceso de humedad.

5.2.3. Etapa de maduración

5.2.3.1. Conformación de pilas

El material debe ser colocado en las pilas con su respectiva identificación. La aireación o volteo se debe realizar cada 8 días. El tiempo de maduración para el compost es de 1 mes a 2 meses, el producto final va a tener un olor similar a tierra.

5.2.3.2. Cubicar la cosecha

Se miden las pilas (largo, ancho y alto) y se las cúbicas para tener datos iniciales de producción, es mejor si se puede pesar.

5.2.4. Etapa de obtención del producto

5.2.4.1. Secado

Se tiende el material bajo cubierta en capas finas (5 cm a 10 cm de espesor) hasta tener de 20% a 30 % de humedad.

5.2.4.2. Tamizado del producto final

El material se pasa por la zaranda en donde adquiere la granulometría según se desee obtener y queda listo para empacar. Usualmente el tamiz tiene entre 0,8 y 1,5 cm de diámetro de poro.

5.2.4.3. Empacado del producto final

Dependerá de la presentación y el peso que se desee conseguir, puede colocarse en fundas o sacos, incluso puede dejarse al granel para evitar costos y mano de obra.

5.2.4.4. Almacenamiento de producto terminado

El producto terminado debe ser almacenado en un espacio de bodega fresco y ventilado de preferencia, evitando que lleguen aves, roedores u otros animales que puedan dañar o contaminar el producto.

5.2.5. Recomendaciones.

- Realizar un control de vectores sanitarios cada ocho días.
- Mantener en adecuadas condiciones el sistema de recirculación de lixiviados que son producto de la descomposición de los residuos orgánicos.
- El personal que labora en la planta debe usar los equipos de protección personal (mascarilla, guantes, overol, delantal, gorra, protectores auditivos), para garantizar su salud.
- Luego de concluida la jornada de trabajo, el personal deberá cambiarse toda la indumentaria.
- Se prohíbe el consumo de alimentos y el consumo de cigarrillo en el área de trabajo.

- Lavar las herramientas, materiales y las áreas utilizadas durante el trabajo.
- Al conformar la pila se debe utilizar microorganismo descomponedores, material rico en celulosa y material que se encuentra en proceso de compostaje, para mitigar los olores.

Diagrama del proceso

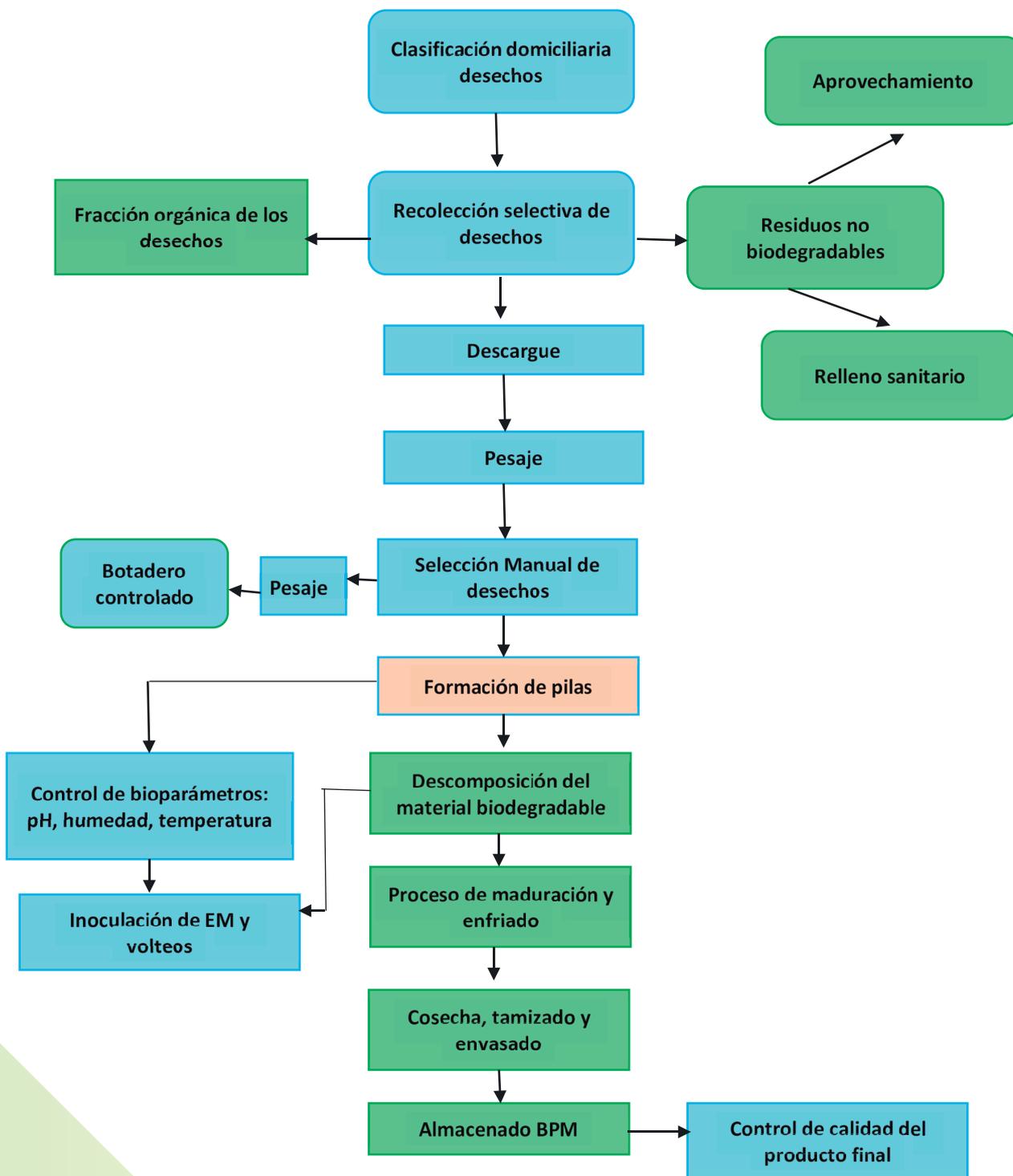


Ilustración 32 Flujograma para el procedimiento de compostaje
Fuente: MAE-PNGIDS (2019)

5.3. Diseño de la planta de Lombricultura

5.3.1. Área de reproducción o pie de cría

La lombriz que se utiliza para la lombricultura es la lombriz roja californiana. Se cría la lombriz en cuatro lechos distribuidos por toda la planta.

Pasos para instalar un pie de cría de manera general.

Los criaderos son camas a las cuales se les ha colocado:

- 1 capa de tallo picado de 5 cm.
- 1 capa de desechos sólidos orgánicos (preferentemente de mercados) de 10 cm.
- 1 capa de estiércol vacuno de 5 cm.
- Otra capa de tallo picado de 5 cm.
- Otra capa de desechos sólidos orgánicos (preferentemente de mercados) de 10 cm.

Al terminar se cubre los criaderos con pasto y se riega agua, hay que tener cuidado que la temperatura no exceda los 25 °C, el criadero de lombrices está listo después 1,5 a 2 meses.

Existen dos métodos para instalar un pie de cría:

MÉTODO 1.

- En el pie de cría se procede a depositar una capa de 10 cm de tallo de guineo picado en Rodajas de 1 a 2 cm des de la base.
- Luego se deposita una capa adicional de 5 cm de estiércol vacuno ya lixiviado anterior a su uso.
- Se introduce una capa de 10 cm de los desechos orgánicos recolectados de los mercados (cortezas de arveja, frijol, zanahoria, col, coliflor, entre otros excepto cítricos).
- Una vez introducidas cada capa se riega con un sistema de aspersión durante 30 o 40 min. para ubicar un mínimo de 1 kg de lombriz (varía de acuerdo al criterio técnico) finalmente es tapado con kikuyo o pasto y se lleva un control diario de la humedad la cual debe mantenerse entre 2 y 3 %.

MÉTODO 2.

- Se ubica una capa de cachaza de caña picada mezclada con estiércol vacuno de 10-15 cm de espesor (este no necesita lixiviación).
- Se ubican 3 capas adicionales una de 10 cm de tallo picado, otra de 5 cm de desechos orgánicos recolectados de los mercados (cortezas de arveja, frijol, zanahoria, col, coliflor, entre otros excepto cítricos), y nuevamente otra de 5 cm de cachaza mezclada con estiércol.
- Una vez introducidas cada capa se riega con un sistema de aspersión durante 30 o 40 min.
- Para ubicar un mínimo de 1 kg de lombriz (varía de acuerdo al criterio técnico) finalmente es tapado con kikuyo o pasto y se lleva un control diario de la humedad la cual debe mantenerse entre 2 y 3%.

5.3.2. Estructura de las camas de reproducción

Un pie de cría o área de reproducción puede hacerse desde 1m de ancho x 1m de largo hasta 1m de ancho x 10 m de largo, teniendo en cuenta que deben tener máximo hasta 30 cm de profundidad y una pendiente que puede variar entre 3 a 5 % esto con el fin de que el exceso de humedad se filtre.

El área de producción de abono orgánico mediante la lombriz consta de 100 camas construidas con ladrillo cuyo largo mira hacia la salida del sol. Las dimensiones de las camas se recomiendan:

- Largo: 20 m
- Ancho: 0,90 m
- Alto: 0,35 m

5.4. Operación de un sistema de lombricultura

5.4.1. Recepción de materia prima

Los vehículos recolectores del municipio colocan los residuos orgánicos provenientes de mercados, ferias y domicilios en el área de clasificación de frente a la criba tambor de selección.

5.4.2. Separación de materiales foráneos

Se lo realiza con la criba tambor que separa los desechos por tamaño y posteriormente se realiza en una cinta transportadora la selección manual, separando el material biodegradable del inorgánico.

5.4.3. Pre-fermentación de los residuos

Una vez clasificados los materiales sólidos orgánicos, se lleva con carretillas hacia las camas se cubre con paja y se riega con agua hasta que penetre totalmente todo el sustrato. Se monitorea la temperatura que debe alcanzar de 70 °C a 80 °C. Este proceso dura 40 días, en los cuales los microorganismos actúan degradando la materia orgánica. El volumen al final del proceso disminuye del 30%-40%.

5.4.4. Siembra de lombrices en pilas o lechos

Cuando ha pasado los 40 días se procede a dar la vuelta y a trasladar las lombrices de los criaderos hacia las camas que contienen la materia orgánica pre-fermentada. Este proceso se puede hacer de dos formas, la primera consiste en colocar todo el material de los criaderos y la segunda consiste en colocar solo lombrices. Al final de esta etapa el volumen ha caído en un 30% y dura de 3 a 4 meses.

5.4.5. Cosechas de lombrices

Las lombrices se cosechan colocando al pie de las camas un poco de material orgánico fresco y pasto, luego hay que regarlos y esperar que las lombrices se acerquen a comer el residuo fresco. Las lombrices pueden migrar directamente a las camas que ya han pasado por el proceso de pre-fermentación.

5.4.6. Afino y empaque de humus

El material de las camas sin lombrices se transporta por carretillas hacia el área de secado, donde se esparce por toda la zona. El secado se debe realizar con aire más no directamente con el sol. Luego se pasa por una primera etapa de tamizaje con una malla de 2,5 mm mientras que en la segunda etapa se trabaja con una malla de 0,5 mm. Se trabaja también con un molino de martillo. Se envase en saquillos de 25 kg al día se produce 300 sacos.

5.4.7. Costos para la implementación de la metodología de aprovechamiento

En la siguiente tabla se especifica el costo de la maquinaria utilizada:

Ítem	Cantidad	Costo unitario \$.	Total
Criba tambor	1	3000	3000
Cinta transportadora	1	1226	1226
Carretillas	10	67,2	672
Varios	-----	3000	3000
Total \$.			7898

Tabla 6 Costo de la maquinaria utilizada
Elaborado por: GADM de Loja, 2019

En la tabla siguiente se detalla el costo de la mano de obra.

Ítem	Cantidad	Sueldo por mes por persona \$.	Total
Operarios	16	386	6175
Supervisor	1	1500	1500

Tabla 7 Costo de la mano de obra
Elaborado por: GADM de Loja, 2019

Diagrama del proceso

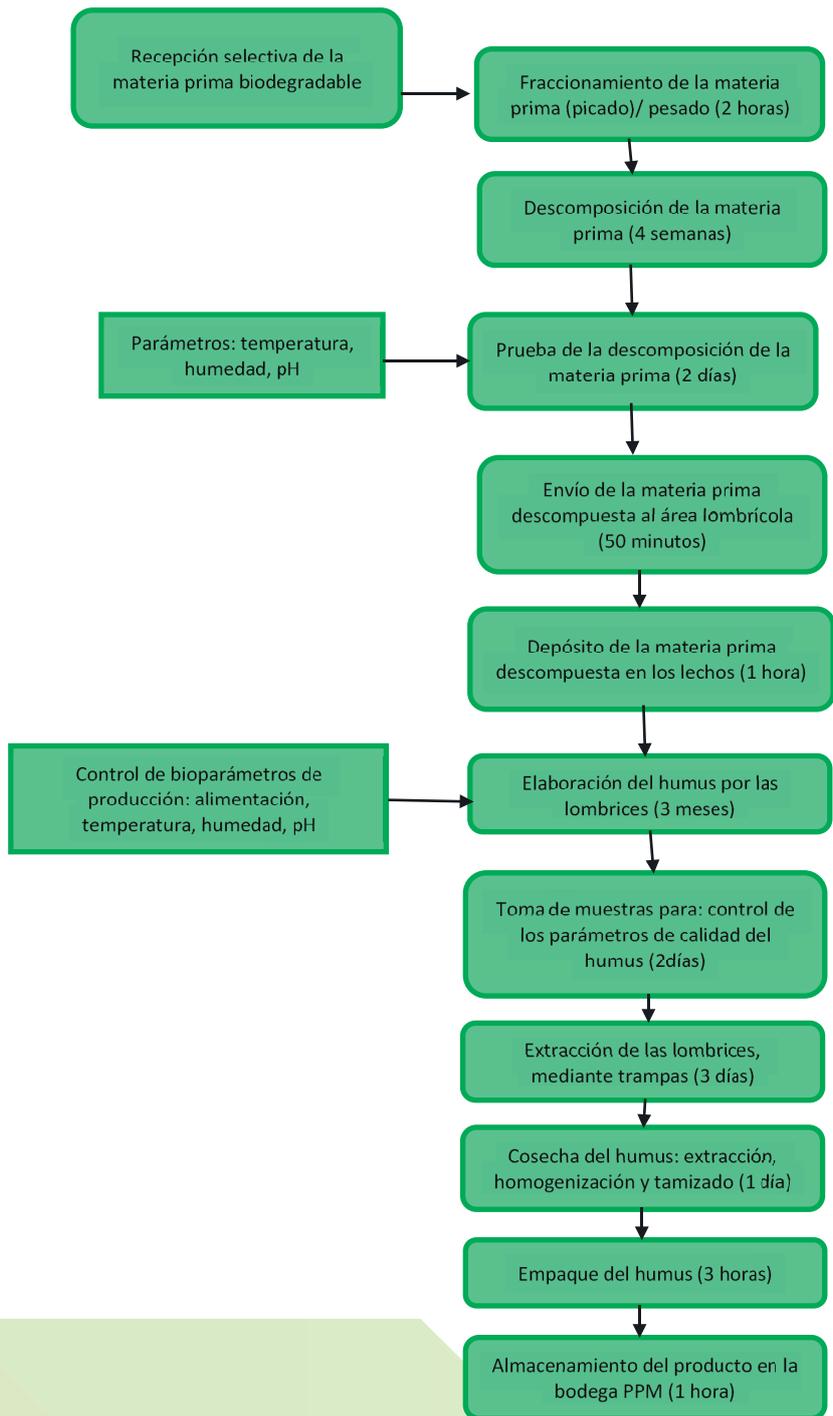


Ilustración 33 Flujograma para el procedimiento de lombricultura
Fuente: GADM de Loja, 2019

6. BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS MUNICIPALES

En el presente capítulo se desarrolla la tecnología de Digestión Anaerobia, aplicada en las Plantas de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos Municipales (BIROM), que permite su transformación en energía renovable eléctrica y térmica, abonos orgánicos y combustible sólido residual (CSR).

6.1. Definición

La Biodigestión Anaerobia es un proceso biológico de degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno, que ocurre naturalmente en pantanos (gas de pantano), descongelamiento del permafrost, rellenos sanitarios y ciertos sitios en el fondo del mar (hidratos de metano). Produce materia prima degradada y biogás formado principalmente por metano (CH_4 – gas combustible), dióxido de carbono (CO_2 – gas inerte), y trazas de gas sulfhídrico (H_2S), oxígeno (O_2), hidrógeno (H_2), vapor de agua (H_2O), aire y compuestos orgánicos volátiles (COV). Dependiendo del sustrato sobre el que se alimenta una planta de biogás, el contenido de metano fluctúa del 40% al 65%; para que el biogás pueda tener aplicaciones como combustible para generación eléctrica, debe contener más del 45% de metano. Su poder calorífico varía entre 15 y 18 MJ/m³ (Barragán, 2016), según la presencia del metano en el biogás.

6.2. Condiciones para la biodigestión anaerobia

Ambiente húmedo. Las bacterias metanogénicas que actúan sobre la materia prima para producir biogás, únicamente actúan en sustratos húmedos (mínimo 30% en biodigestión extra seca), puesto que dichas levaduras y hongos no pueden existir en la fase sólida, en comparación de las bacterias aeróbicas.

- **Ambiente anaerobio:** Las bacterias del metano son estrictamente anaeróbicas. Si existe oxígeno presente en el sustrato, las bacterias aeróbicas deben consumirlo primero, sin embargo, pequeñas cantidades de oxígeno no afectan el proceso.
- **Ambiente oscuro:** La luz inhibe el proceso de formación del biogás, por lo que las reacciones controladas ocurren en reactores cerrados.
- **Temperatura estable:** La temperatura es un factor importante para la actividad de las bacterias metanogénicas. Se diferencian tres zonas de trabajo: 1) Sicrofílica (t menor a 20°C), 2) Mesofílica (entre 25 a 35°C) y 3) Termofílica (t superior a 45°C). Como regla general, se puede considerar que cuanto mayor es la temperatura, la degradación es más rápida, mayor producción de biogás, más corto el tiempo de biodigestión (llamado Tiempo de Retención) y menor contenido de biogás.
- **Nivel de pH:** El potencial hidrógeno debe ser neutro o ligeramente alcalino, máximo 7,5.
- **Tiempo de retención (TR):** Es el número de días en el que la biodigestión de cada tipo de sustrato, alcanza su tasa óptima de producción de biogás por unidad de masa seca; el TR está relacionado directamente con la temperatura de la reacción.
- **Contenido de sólidos:** Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida. El % de sólidos totales del sustrato a biodigestar, es un elemento clave para el diseño del biodigestor en cuanto a si trata de biodigestión húmeda, seca o extra seca, lo que determina el tamaño, TR y accesorios.
- **Relación C/N:** Los micro elementos como hierro, níquel, cobalto, etc., son igualmente importantes para la supervivencia y crecimiento de los microorganismos como los macronutrientes de carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S); la relación óptima de dichos macronutrientes es de 60C : 15N : 5P : 1S.

6.3. Etapas de la Biodigestión anaerobia.

- **Hidrólisis:** Es la primera fase la degradación anaeróbica de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos), bajo la acción de enzimas extracelulares, producido por los organismos hidrolíticos. Si se tratan residuos con alto contenido sólido se puede limitar la velocidad global del proceso, tiempo de retención, nivel de pH, composición del sustrato, tamaño de partícula, entre otros.
- **Fase acidogénica:** Se elimina toda traza de oxígeno y se fermentan las moléculas orgánicas solubles; como resultado se producen compuestos más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga), que serán metabolizados por bacterias en las

siguientes fases.

- **Fase acetogénica:** Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos, los cuales han extraído todo el alimento de la biomasa, eliminando los desechos de sus células como alimento en la siguiente etapa.
- **Fase metanogénica:** Los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, hidrógeno y CO₂.

6.4. Descripción del Proceso

A continuación, se describen de forma sucinta los procesos de la Planta BIROM. En cualquier caso se recomienda realizar previamente las pruebas de biodigestión en laboratorio que determinen las condiciones óptimas para la biodigestión de los ROM de cada Municipio; se determinan: 1) % de humedad o sólidos totales (lo que determina la necesidad de adición de agua o no); 2) Volumen de metano producido por tonelada de ROM fresco (Nm³CH₄/t ROM); 3) Riqueza de metano presente en el biogás (% CH₄/m³ biogás); 4) poder calorífico del biogás (MJ/Nm³ biogás); 5) Cromatografía del biogás, 6) Temperatura de biodigestión mesofílica (35-38 °C) o termofílica (55 °C); 7) Tiempo de retención (TR - días); 8) pH y 9) Necesidad de posibles co-sustratos.

Los procesos que componen una Planta Industrial de Biodigestión de Residuos Orgánicos Municipales, se presentan en la siguiente ilustración:

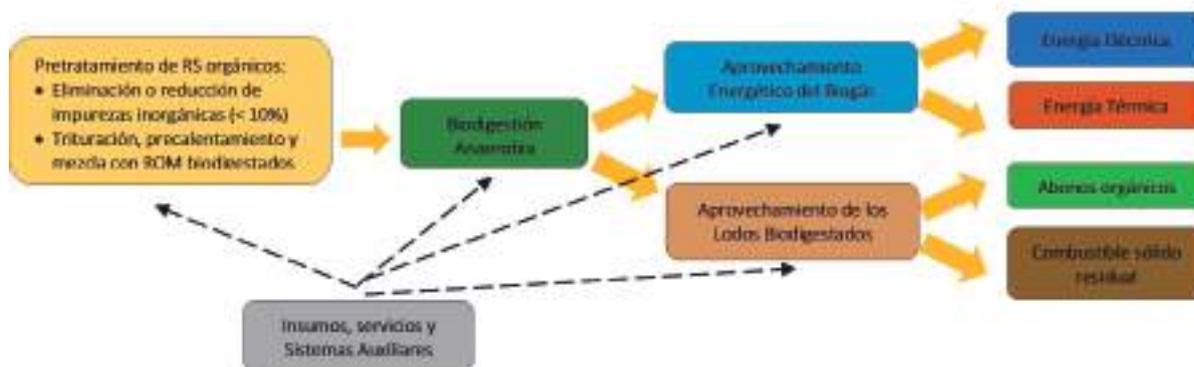


Ilustración 34 Diagrama de procesos de una Planta Industrial de Biodigestión de Residuos Orgánicos Municipales.
Elaborado por: D. Suárez, 2019

6.4.1. Pretratamiento

- **Evaluación de los ROM:** se debe eliminar manual (< 30 t/día de ROM aproximadamente) o mecánica (> 30 t/día de ROM) las impurezas inorgánicas (papel, cartón, plástico, textiles, cerámica, vidrio, arena, materiales de construcción y residuos peligrosos) presentes en el flujo de los ROM a biodigestar, a mucho menos del 10% en peso. Los residuos metálicos se deben eliminar completamente porque inhiben la reacción bioquímica en el biodigestor.
- **Trituración de los ROM sin impurezas:** en trituradoras industriales al tamaño de partícula de diseño y volumen de ROM a procesar diariamente. El tamaño de partícula ideal se encuentra en el rango de 10 a 25 mm de diámetro.
- **Pre tratamiento enzimático y pre calentamiento:** según el tipo de biodigestión aplicado, se precisan este pre tratamientos para acondicionar los ROM a la biodigestión mesofílica o termofílica determinada en el diseño y resultados de laboratorio.
- **Carga del biodigestor:** se mezclan ROM frescos triturados con lodos ya biodigestados en las proporciones de diseño, para evitar choques termoquímicos antes de cargar el sustrato al biodigestor mediante bombas de pistón para sólidos.

6.4.2. Biodigestión

- **Tipos de biodigestores:** Son los equipos centrales de la Planta BIROM, donde se produce el biogás y el digestado luego de aproximadamente 20 días, para su acondicionamiento y aprovechamiento en los siguientes procesos. Se destaca que el proceso es continuo, es decir el volumen del(os) biodigestor(es) se dimensiona(n) para el

peso y volumen diario de ROM que se recolecten. En la siguiente tabla se presentan los tipos de biodigestores para ROM existentes en el mercado.

Modelo de biodigestor	Nombre y Características
	<p>1. Reactor cilíndrico vertical</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos totales: 37 – 55% • Agitación: interna con flujo de biogás a presión • Biodigestión: seca, mesofílica • Tiempo de residencia: 18 - 25 días. • Biogás producción: 82 -106 Nm3/t • Carga de sustrato: inferior <p>2. Dranco. – reactor vertical fijo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos totales: 20 – 50% • Agitación: recirculación de digestado mezclado con sustrato fresco. • Biodigestión: seca - termofílica • Tiempo de residencia: 13 - 30 días • Biogás producción: 100 -120 Nm3/t • Carga de sustrato: superior por rebose interno. <p>3. Komptech – reactor horizontal giratorio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos totales: 23 – 28% • Agitación: mezcla por rotación de cilindro con paletas internas de eje horizontal. • Biodigestión: seca - termofílica • Tiempo de residencia: 15 - 20 días • Biogás producción: 130 Nm3/t • Carga del sustrato: inferior <p>4. GWE – reactor cilíndrico de dos etapas con agitación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sólidos totales: 15 – 20% • Agitación: mezcla por hélices internas de eje vertical. • Biodigestión: húmeda - termofílica • Tiempo de residencia: 15-20 días • Biogás producción: 6,3 Nm3/día.m3 digestor • Carga del sustrato: inferior

Tabla 8 Tipos de Biodigestores para Residuos Orgánicos Municipales

Fuente: biodigestores 1. 2. Y 3: Quevedo/Martins, Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste in Santo André – SP, 2014; biodigestor 4: <http://www.globalwe.com/technologies/raptor/> 2019

6.4.3. Producción de energía eléctrica y térmica renovable por aprovechamiento del biogás

- Línea de biogás. En la siguiente ilustración se muestra el esquema de la línea de biogás: 1) Producción en el biodigestor, 2) Tea automática para quema de exceso de biogás, 3) Gasómetro para acumulación temporal y equilibrio de la presión del biogás, 4) Sistema de filtración de H2S, 5) Sistema de secado por enfriamiento del biogás, 6) Grupo moto generador eléctrico, 7) Sistema de cogeneración para recuperación de energía térmica y producción de vapor. No constan la subestación de interconexión eléctrica con la red pública, ni los tableros de distribución de energía eléctrica para autoconsumo de la Planta BIROM. Como opción, se puede añadir también una unidad de producción de biometano.

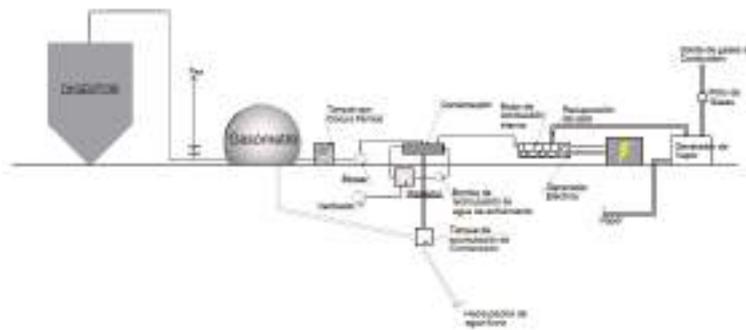


Ilustración 35 Esquema de línea de generación eléctrica y térmica a partir del biogás.

Fuente: ENYA Energies S.A.

6.4.4. Producción de abonos orgánicos por aprovechamiento del digestado

- Línea de producción de abonos orgánicos.** El lodo digestado extraído diariamente de los biodigestores se mezcla con material orgánico estructurante (ramas, astillas u otro residuo orgánico lignocelulósico), y se lo descarga en contenedores semi herméticos para su fermentación acelerada (15 – 20 días) mediante el ambiente controlado de temperatura, humedad, pH y aireación con aire comprimido. En instalaciones de más de 1.000 t/día de ROM, se utilizan galpones de fermentación con volteo por implementos únicos dirigidos remotamente. A continuación, el sustrato fermentado se lo traslada a pilas de maduración en galpones con divisiones para su volteo y control de parámetros. Finalmente, el sustrato se lo limpia de impurezas inorgánicas restantes en un trómel, se lo tamiza mecánicamente, embala en costales o dispone al granel, pesa y almacena temporalmente para su comercialización. Periódicamente el laboratorio de control de calidad de la Planta BIROM, realizará análisis de muestras del digestado y productos finales, para determinar si su composición está dentro de los límites permisibles de metales pesados, humedad, patógenos, etc. De cada 100 toneladas de ROM fresco, se obtienen 30 toneladas de abonos orgánicos, luego de 45 – 55 días desde su ingreso a la planta.

6.4.5. Producción de combustible sólido residual (CSR) por aprovechamiento del digestado

- Línea de producción de combustible sólidos residual.** El lodo biodigestado también puede ser deshidratado, mezclado con sustancias orgánicas con mayor poder calorífico, aglomerante y compactado en varios formatos como ladrillos, cilindros o pastillas, para ser utilizado como combustible sustituto del carbón y la leña, en industrias, comercios y residencias. La Planta certificará el poder calorífico que tenga los CSR, para referencia de los clientes.

6.4.6. Duración del procesamiento de ROM

El período total de duración del procesamiento de cada tonelada de ROM que ingresa a la Planta BIROM, se sintetiza a en la siguiente tabla. Se debe tomar en cuenta que como el proceso es continuo, luego período de del arranque inicial de la Planta (60 días), a continuación, todos los días recibe ROM y produce energía, compost y CSR diariamente.

Proceso	Detalles	Duración (días)
Pretratamiento	• Clasificación manual o mecánica (si se requiere) + Trituración + Pre calentamiento + Carga al Biodigestor	4 horas
Biodigestión	• Tiempo de residencia en el biodigestor, depende de si es régimen termófilico o mesófilico, según las pruebas de laboratorio previas, para asegurar las mejores condiciones y resultados.	15 - 20
Producción de energía	• Generación continua, factor de planta del 90% aproximadamente: significa que los generadores eléctricos a biogás trabajan el 90% del tiempo a la potencia nominal y factor de carga de diseño.	0
Fermentación	• Tiempo de residencia del digestado en los contenedores con ambiente controlado.	15 – 20
Maduración	• Tiempo de residencia del fermentado en las pilas abiertas, con volteo	15 – 20
Fabricación CSR	• Secado del digestado por energía térmica, aglomeración y compactación de pellets.	2 – 3
Período total	• Producción de compost certificado • Producción de CSR	45 – 60 18 – 21

Tabla 9 Tipos de Biodigestores para Residuos Orgánicos Municipales

Fuente: D. Suárez - ENYA Energies S.A.

6.5. Etapas, rendimiento y dimensionamiento de una planta BIROM

6.5.1. Etapas del Desarrollo de Plantas de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos.

El proyecto de una Planta de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos modular se lo realiza en dos fases, luego de la decisión, búsqueda del financiamiento y licitación por parte del Municipio para emprender en su diseño y construcción:

Estudios de pre inversión: 4 – 5 meses

<p>1. Datos de ROM: 1) Caracterización, volumen de producción diaria y proyección a 30 años; 2) Si hay separación en la fuente y recolección selectiva, determinar el % de impurezas inorgánicas; 3) Si no hay separación en la fuente, los RSM mezclados se los debe clasificar en la Planta en una Sección de Clasificación Manual o Mecánica antes de la biodigestión.</p>
<p>2. Estudio del Marco Legal: Estudio de las normas técnicas locales o externas aplicables sobre la calidad de compost y CSR para consumo local o exportación. Recopilación de requisitos legales del sector ambiental, energético, municipal y otros aplicables al proyecto de la Planta BIROM.</p>
<p>3. Estudio de Mercado: Investigación de demanda de biofertilizantes y CSR a nivel nacional y también opciones de exportación; adicionalmente, usos finales de energía eléctrica y térmica en la zona de influencia de la Planta.</p>
<p>4. Estudio de Pre Factibilidad: Cálculo de la capacidad nominal de la Planta BIROM, sus etapas de crecimiento, equipamiento, determinación de su ubicación y presupuesto referencial. Realización del Estudio de pre factibilidad del proyecto, que determine su nivel de viabilidad y sostenibilidad económica, financiera, técnica y ambiental.</p>
<p>5. Diseños Conceptual y Definitivo: Implantación de la Planta en el terreno seleccionado, secciones y proveedores del equipamiento; simulación de la planta y viabilidad del proyecto. Diseños de ingeniería definitivos y selección de equipamiento y proveedores. Elaboración del balance de masa, energía y emisiones de cada proceso.</p>
<p>6. Cumplimiento de requisitos legales: 1) Estudio de Impacto Ambiental y obtención de la licencia ambiental; 2) Firma del Título Habilitante con el ARCONEL, para autoconsumo eléctrico de la Planta, del Municipio o consumidores privados; 3) Estudio de usos de energía térmica excedente; 4) Estudio de seguridad y Riesgos; 5) Cumplimiento de permisos municipales y otros aplicables. 6) Pago de tasas, permisos, pólizas, impuestos y garantías pertinentes.</p>

Construcción y puesta en marcha 10 – 15 meses según la capacidad. Operación: 30 años

<p>7. Construcción: de la Planta de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos Municipales.</p>
<p>8. Personal: Selección, capacitación, pruebas de certificación y contratación de personal técnico, administrativo y operativo para operar y administrar la Planta BIROM.</p>
<p>9. Puesta en Marcha: Pruebas de arranque, calibración, comisionamiento (entrega) y entrada en operación comercial de la Planta BIROM. Acompañamiento del constructor durante los períodos de garantías técnicos y económicos establecidos contractualmente.</p>
<p>10. Operación: Administración, operación, mantenimiento y comercialización de los productos y energía, durante 30 años, vida útil mínima de la Planta BIROM</p>
<p>11. Ampliación: Diseño y construcción del proyecto de ampliación de capacidad (si así hubiere sido establecido), para procesar el incremento de oferta de ROM.</p>
<p>12. Abandono o Repotenciación: Desmontaje del proyecto, o bien su repotenciación según la decisión del Municipio, luego del período de vida útil originalmente establecido.</p>

Hay que tomar en cuenta que las Plantas de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos Municipales, también pueden procesar solos o mezclados con ROM, residuos orgánicos provenientes de los sectores agrícola, pecuario, agroindustrial y de plantas de tratamiento de aguas residuales, previo ciertos análisis respecto del tipo de biodigestor apropiado y su operación según el caso.

6.5.2. Dimensionamiento

Datos de partida. 1) Volumen recolectado a la fecha del proyecto de ROM (t/día), 2) % de impurezas inorgánicas y proyección del volumen año por año a 30 años generado de ROM (t/día). El crecimiento de oferta de ROM se lo calcula mediante métodos estadísticos con los datos de tasa de crecimiento de población, estimaciones socio-económicas, producción per cápita de RSM, hábitos de consumo de la población y desarrollo de ordenanzas municipales. Se determinan la capacidad nominal de la Planta a ser diseñada y construida, y si tendrá ampliaciones de capacidad y/o repotenciacines a los X años de su vida.

Dimensionamiento. Para la capacidad nominal de la Planta BIROM determinada, se simulan, diseñan, cotizan y seleccionan el número, eficiencia y capacidad de procesamiento de las líneas de clasificación manual o mecánica (si se requiere), trituradora, biodigestores, motores de combustión interna y sistemas auxiliares. Se debe tomar muy en cuenta el régimen de trabajo (h/día) de cada máquina o sección, y su capacidad o velocidad, es decir las toneladas por hora de ROM que procesa, y la mano de obra que demanda.

Rendimientos. Los rendimientos de los productos que se obtienen de la Plantas BIROM se muestran en la siguiente tabla. Estos datos sirven para calcular la generación eléctrica, térmica, producción de biofertilizantes y CSR.

Productos	Tasas de Rendimientos
Producción eléctrica bruta (*)	• 250 kWh eléctricos por cada tonelada de ROM fresco que entra a biodigestión
Autoconsumo eléctrico (**)	• 30% de energía en plantas de > 300 t/día • 40% - 60% en plantas de < de 300 t/día
Producción térmica bruta (*)	• 260 kWh térmicos/t ROM orgánico fresco que entra a biodigestión
Autoconsumo térmico (**)	• 15% en plantas de > 300 t/día • 20% - 25% en plantas de < 300 t/día
Producción de Compost (*)	• 25 - 30% de peso de compost por cada tonelada de ROM fresco que entra a la biodigestión.
Producción de CSR (**)	• 15 - 20% de peso de CSR por cada tonelada ROM fresco que entra a la biodigestión

Tabla 10 Rendimientos energéticos del aprovechamiento del biogás en generación eléctrica y térmica
Fuente: (*) OrganicWasteSolutions; (**) ENYA Energies S.A.

6.5.3. Aplicabilidad según el tipo de ROM.

La biodigestión no es recomendada para todos los ROM orgánicos generados en un Municipio o Mancomunidad. En la siguiente tabla se resumen los tipos recomendados, menos recomendados y excluidos para su digestión anaerobia.

ROM recomendados: residuos frescos y preferentemente húmedos.	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de comida: vegetales y frutas verdes y frescos. • Residuos de comida con grasa vegetal. • Residuos de mercados y centros de distribución de alimentos vegetales sin procesar. • Restos de poda de parques, parterres y jardines. • Residuos de camales: estiércol de corrales y rumen de panzas de animales que se puedan recuperar y que no estén contaminados por desinfectantes químicos. • Residuos agrícolas y agroindustriales sin químicos inhibidores de la biodigestión como detergentes o preservantes. • Lodos de PTAR: el lodo biodigestado resultante no se debe compostar sino deshidratar y usar como combustible sólido residual (CSR), a califiquen como fertilizante.
ROM menos recomendados.	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos lignocelulósicos altos en lignina: cortezas, troncos, ramas • Sangre de animales faenados en camales.
ROM prohibidos.	<ul style="list-style-type: none"> • Restos de carne, huesos, pelos, pezuñas y pieles. • Residuos orgánicos ya descompuestos aerobiamente (podridos). • Compuestos de química orgánica como disolventes, desinfectantes y similares.

Tabla 11 Residuos Sólidos Orgánicos Biodigestibles
Fuente: ENYA Energies S.A.

6.5.4. Aplicabilidad según la Clasificación en la Fuente de los Residuos Sólidos Municipales (RSM)

Los biodigestores diseñados para procesar residuos orgánicos municipales, admiten máximo un 10% en peso de impurezas inorgánicas, y 0% de residuos metálicos. Esto plantea dos escenarios:

1. Si hay separación en la fuente y recolección selectiva, los ROM deberán estar separados en la fuente casi al 100%, de tal manera los ROM entren directamente a la biodigestión, por ejemplo, de mercados y camales.
2. Si no hay separación en la fuente ni recolección selectiva, los RSM deben ser separados y clasificados manual o mecánicamente en la Planta de Biodigestión Industrial, para que la fracción orgánica pueda ser biodigestada sin presencia de inorgánicos.

Municipios	Acciones Recomendadas
Todos los Municipios	<ul style="list-style-type: none"> No se admiten ningún residuo metálico (férricos o no férricos), peligrosos o inertes como materiales de construcción, vidrio o cerámicas en el flujo de ROM a biodigestar. Se debe retirarlos manual o mecánicamente antes de triturar los ROM para su biodigestión. El papel impreso y cartón también debe ser retirado en su totalidad.
Con separación	<ul style="list-style-type: none"> Antes de la trituración y biodigestión, verificar que el porcentaje de presencia de inorgánicos en los ROM, sea menor que el 10% en peso. Si excede, retirar manual o mecánicamente los RS inorgánicos y metálicos presentes.
Sin separación	<ul style="list-style-type: none"> Realizar la separación manual y/o mecánica en una facilidad diseñada y construida para esos fines, para lograr reducir al 10% o menos, los inorgánicos.

Tabla 12 Recomendaciones para Municipios con y sin Separación en la Fuente de Residuos Sólidos.
Elaborado por: D. Suárez – ENYA Energies S.A.

6.5.5. Aplicabilidad según el Volumen de residuos orgánicos municipales disponibles.

Técnicamente, la biodigestión de residuos orgánicos municipales puede realizarse desde menos de 1 kilogramo por día (pruebas en laboratorio), hasta cualquier número de toneladas por día en una Planta de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos Municipales donde operen varios biodigestores industriales simultáneamente. Para cada Municipio o Mancomunidad, se recomienda que se realicen en primer lugar los Estudios de Prefactibilidad Económica-Financiera y Ambiental para determinar la viabilidad y sostenibilidad de cualquiera de las tres opciones.

Niveles de Plantas	Tamaño de Municipios	Sección para eliminación o reducción de RSM inorgánicos si su presencia es mayor al 10% en peso	Recomendación de Secciones de las Plantas BIROM	Superficie terreno requerida
Baja inversión	Pequeños: menor a 30 t ROM/día (equivalente a 50 t RSM/día aprox.)	Planta de clasificación manual	Únicamente sección de compostaje tradicional o tecnificado.	1 ha.
Media inversión	Medianos: entre 30 y 100 t ROM/día (entre 50 y 150 t RSM/día aprox.)	Planta de clasificación mecánica	Secciones de: biodigestión + generación de energía eléctrica y térmica sólo para autoconsumo + sección de compostaje tecnificado de lodos biodigestados.	1 – 3 ha
Alta inversión	Grandes: entre 100 y 1000 t/día ROM (entre 150 t 1500 RSM/día aprox.)	Planta de clasificación mecánica	Secciones de: biodigestión + generación de energía eléctrica y térmica para autoconsumo y venta de excedentes + compostaje tecnificado + producción de CSR de lodos biodigestados	3 – 15 ha

Tabla 13 Tamaños de Plantas de Biodigestión Industrial según el Volumen de Residuos Orgánicos a ser procesados.
Elaborado por: D. Suárez – ENYA Energies S.A.

6.5.6. Beneficios

- **Capacidad de procesamiento:** la biodigestión industrial, es la única tecnología que puede procesar todos los ROM generados en cada Municipio o Mancomunidad, desde 30 t/día (límite para su sostenibilidad económica) hasta más de 1000 t/día, es decir se aplica a todas las ciudades cuya población sea mayor a 80.00 habitantes del Ecuador aproximadamente.
- **Beneficios Económicos:** ingresos por comercialización de los productos y energía, generación de nuevas plazas de trabajo digno directo e indirecto y ahorro de divisas en importación de agroquímicos y uso de combustibles fósiles.
- **Ambientales:** eliminación total de los impactos ambientales como malos olores y emisiones generadas en botaderos y rellenos sanitarios, contaminación por lixiviados del suelo y agua superficial y subterránea.
- **Beneficios Energéticos:** producción de energía eléctrica y térmica renovable descentralizada y continua (factor de planta del 90% aproximadamente) con biomasa residual renovable, en cantidad suficiente para ser autosostenible energéticamente. Producción de CSR para reemplazo de combustibles fósiles, carbón y leña.

6.6. Valores referenciales de inversión, operación e ingresos

6.6.1 Montos Referenciales de Inversión y Operación

La capacidad nominal de procesamiento de toneladas de ROM por día establecida en los estudios de pre inversión, determina:

- **Inversión:** monto de inversión bruto (USD) y específico por tonelada (USD/t).
- **Operación:** costo de operación y mantenimiento anual (USD/año) y por tonelada ROM (USD/t) procesada.

Con base a la información solicitada a fabricantes, investigación y diseños realizados de diferentes tamaños de Plantas de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos Municipales con y sin clasificación mecánica de RSM mezclados (CORPORACION ENYA & IICA, 2015), se presentan en la siguiente tabla. Se destaca que, a mayor capacidad de procesamiento, los costos de inversión y operación bajan significativamente por tonelada procesada. A dichos valores, se deben añadir los correspondientes a las secciones de clasificación manual o mecánica de RSM, en caso de requerirlo.

Peso de RS orgánicos que entran a biodigestión	Unidades	60 t ROM/día = 100 t RSM/día	120 ROM/día = 200 t RSM/día	300 ROM/día = 500 t RSM/día
Inversión bruta estimada (CAPEX)	mm USD	9,8	11,6	19,8
Inversión por tonelada	USD/t	490	290	198
Costo de operación (OPEX)	USD/t	37,8	31,2	27,8

Tabla 14 Valores referenciales de inversión y costo de operación (USD, sin impuestos).

Fuente: OWS y ENYA Energies S.A.

6.6.2 Ingresos

Los ingresos de la Planta BIROM, dependen de dos variables: volumen de la producción y del precio unitario de venta de cada producto:

$$\text{Ingresos} = \text{volumen de producción} \times \text{precio unitario}$$

Productos	Ingresos económicos
Energía eléctrica	$I_e = \text{kWh/mes} \times \text{tarifa (USD/kWh)}$
Energía térmica	Por acordar con potenciales usuarios de energía térmica residual
Compost	$I_c = \text{kg compost} \times \text{precio de venta (USD/kg)}$
CSR	$I_s = \text{kg CSR} \times \text{precio de venta (USD/kg)}$

Tabla 15 Ingresos por comercialización de productos de la Planta de Biodigestión Industrial de Residuos Orgánicos.

Fuente: ENYA Energies S.A.

Por razones estrictamente económicas y ambientales, se recomienda vigorosamente que los municipios pequeños se mancomunেন entre sí, y/o se asocien a municipios medianos y grandes vecinos geográficamente, para beneficiarse de la economía de escala en favor de todos los participantes. Mientras mayor es la capacidad de la Planta BIROM, es menor el costo de inversión y operación por tonelada de ROM procesado.

7. EXPERIENCIAS DE APROVECHAMIENTO DE ORGÁNICOS

7.1. Experiencia Takakura

7.1.1. GADM DE MACAS

Nombre del Proyecto	Proceso de compostaje por el método Takakura
(Financiamiento):	GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA / JICA ECUADOR
Ubicación	Macas - Morona
Fecha de inicio de operación	2014
Objetivo de la planta	Implementación de una de compostaje mediante el método TAKAKURA, utilizando los desechos orgánicos de los mercados municipales del Cantón Morona.
Materia prima	Desechos sólidos orgánicos generados en el Cantón Morona
Origen materia prima	Macas, Morona Santiago
Diseño y construcción	Gobierno Municipal del Cantón Morona
Cantidad de materia prima procesada	2 ton / lote
Producto Final	Compost 100% orgánico
Cantidad de producto final	400Kg/día
Características producto final	Nitrógeno, fósforo, potasio
Horas de operación día	6 h
Número de trabajadores	2
Mantenimiento	Limpieza de la planta de manera diaria
Sistema de Operación	Manual, semi-automatizada
Inversión	150 000 USD



PROCESO DE COMPOSTAJE TAKAKURA

En el método de compostaje Takakura, las sustancias orgánicas son sometidas al compostaje con los medios de cultivo de microorganismos que se adaptan al suelo y están comúnmente disponibles en el ambiente natural y sirven para eliminar los microorganismos indeseables manteniendo únicamente los benéficos para el suelo. Los microorganismos fermentativos juegan un papel central ya que se adaptan perfectamente al compostaje y los podemos encontrar en nuestros alrededores. Estas razones se prestan para que cualquier persona pueda realizar compost de una manera sencilla y fácil.

Este proceso puede adaptarse a diferentes metodologías dependiendo del volumen de generación de desechos orgánicos, pudiendo realizarse en domicilios unifamiliares, multifamiliares, barrios, comunidades, establecimientos educativos y obviamente a nivel municipal. A diferencia de los métodos convencionales, este método es sustentable en lo que respecta a la elaboración de la semilla, ya que se requiere realizarla una sola vez.

Tabla 16 Ficha técnica experiencia de Takakura

7.2. Experiencia Lombricultura

7.2.1. GADM Cuenca (EMAC)

Nombre del Proyecto	Planta de Compostaje de la EMACEP	
Partes involucradas	EMACEP y ciudadanía del cantón Cuenca	
Ubicación	Ecoparque de El Valle (Cochapamba) – Parroquia El Valle - Cuenca	
Fecha de inicio	Aproximadamente desde el 2002	
Objetivo de la planta	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la cantidad de residuos sólidos que se depositan en el Relleno Sanitario de Pichicay. • Obtener abono orgánico para las áreas verdes que embellecen a Cuenca. • Promover la separación y aprovechamiento de los residuos orgánicos. • Obtener un mejoramiento de los suelos libre de productos químicos y patógenos nocivos para la salud y fomentar su uso. 	
Materia prima	Producto 100% natural, obtenido a partir del material orgánico seleccionado procedente de los mercados de la ciudad de Cuenca, de grandes generadores, del corte de gramado y poda de las especies forestales.	
Características de la materia prima	Materiales orgánicos de los mercados de la ciudad, los residuos que se generan en las Áreas Verdes (pasto y podas) y el material orgánico de grandes generadores.	
Diseño y construcción	EMACEP	
Cantidad de materia prima procesada	626,8 ton/mes (año 2019)	
Producto final	Compost y humus de lombriz	
Cantidad de producto final	48,6 ton/mes de compost y 5,08 ton/mes de humus de lombriz (año 2019)	
Características producto final	Aspecto	Tierra negra
	pH	7 - 8
	Humedad al ensacar	30%
	Materia Orgánica	25 – 35%
	Relación C/N	15 – 25
	Nitrógeno total	0,8 – 1,2 %
	Fósforo	568 ppm
Potasio	0,584 ppm	
Horas de operación día	8 horas de lunes a domingos	
Número de trabajadores	11 trabajadores directos y 4 indirectos	
Mantenimiento	Plan de mantenimiento de las instalaciones de la EMACEP	
Sistema de Operación	Sistema de compostaje, Condiciones aerobias con volteo diario	



Luego del cierre del antiguo vertedero de desechos ubicado en la parroquia de El Valle, la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMACEP, con el afán de dar un uso ambiental al espacio implementó una la Planta Piloto de Compostaje. Posteriormente y gracias al apoyo de DESURBAL, Desechos Urbanos en América Latina (Unión Europea), se mejoró la infraestructura inicial. La EMACEP ha continuado invirtiendo para la ampliación y mejoramiento de la infraestructura y la adquisición de maquinaria de acuerdo a la creciente necesidad.

EMACEP recolecta los materiales orgánicos de los mercados de la ciudad, los residuos que se generan en las Áreas Verdes (pasto y podas) y el material orgánico de grandes generadores. Luego de un proceso técnico estos residuos se transforman en Compost y Humus, es decir, abono orgánico para las áreas verdes de la ciudad y para el uso de particulares que los requieren.

Ubicación: La Planta de Compostaje es parte del proyecto de recuperación del antiguo botadero de basura, hoy Eco parque de El Valle, a 9 km de la ciudad Cuenca.

Tabla 17 Ficha técnica experiencia lombricultura EMAC

7.2.2. GADM Loja

Nombre del Proyecto	Planta piloto de abono orgánico - Humus en Loja
Partes involucradas en el Proyecto (Financiamiento):	MUNICIPIO DE LOJA
Ubicación	Loja
Fecha de inicio de operación	1998
Objetivo de la planta	Implementación de planta piloto para la producción de abono orgánico-humus a través de residuos sólidos orgánicos generados en domicilios, mercados y ferias libres
Materia prima	Residuos Sólidos Orgánicos o Biodegradables
Origen prima	Loja
Diseño y construcción	Municipio de Loja
Cantidad de materia prima procesada	50 ton/ semana
Producto Final	Humus
Cantidad de producto final	1000 saco/mes
Características producto final	NT: 1,72%, P ₂ O ₅ : 2,11%, K ₂ O: 4,94%, CaO: 9,78%, MgO: 0,99%
Horas de operación día	8 horas
Número de trabajadores	12
Mantenimiento	Limpieza de las instalaciones después de cada jornada trabajo.
Sistema de operación	Semi mecánico
Inversión	100 000 USD



En la Planta de Abono Orgánico se cuenta con personal capacitado que prestan sus servicios en el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos o biodegradables provenientes de domicilios, mercados y ferias libres, para obtención de abono orgánico (Humus) a través del proceso de Lombricultura con lombriz roja californiana en un período de 4 a 5 meses, luego pasa al área de secado para tamizar y envasar el abono orgánico (humus) para su comercialización, una parte de Humus está destinado para el Vivero Municipal en la producción de plantas para los parques de la ciudad, reforestación de cuencas hidrográficas del Cantón Loja, capacitación a agricultores en el área rural, y venta a la ciudadanía del cantón y provincia de Loja.

El humus de lombriz es el resultado de la digestión de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sustancia de color oscuro liviana totalmente inodora. Es un sustrato de gran uniformidad, contenido nutricional y excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de la humedad durante un tiempo prolongado, lo que proporciona a las plantas todas las sustancias nutritivas para su desarrollo y máximo rendimiento; también es un fertilizante orgánico asimilable por plantas.

Actualmente esta planta está a cargo del Centro de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Dirección de Higiene, Municipio de Loja.

Tabla 18 Ficha técnica experiencia lombricultura GADM Loja

7.4. Experiencia Biodigestión anaerobia

7.4.1. GADM de Quito

Nombre del Proyecto	Sistema de captación de biogás para generación de energía eléctrica en el Relleno Sanitario El Inga del Distrito Metropolitano de Quito
GADM	Distrito Metropolitano de Quito
Ubicación	Km 14,5 vía Pifo - Sangolquí
Fecha de inicio de operación	04/02/2016
Objetivo de la planta	Captación del biogás y producción de energía eléctrica dejar de emitir 10 000 toneladas de metano, lo que significa 250 000 toneladas de dióxido de carbono (CO ₂).
Descripción de áreas y procesos de funcionamiento de la planta	La central incluye principalmente una instalación de tubería de HDPE en las zonas de disposición de residuos, un sistema de "blower" que aspira el biogás por la tubería, un proceso de secado para separar el metano de los otros componentes y 5 generadores de un potencial de 6,2 MW que transforman el biogás en energía eléctrica (energía limpia)
Potencia instalada	6,2 MW
Materia prima	Biogás m ³ /h
Cantidad de materia prima procesada	3,143 Nm ³ /h
Producto Final	Energía eléctrica
Cantidad de Generación de energía	5 MW/h
Destino final de la energía generada	Sistema Nacional Interconectado
Horas de operación al día	24 horas
Número de trabajadores	11 colaboradores en planta
Vida útil	25 años de cumplimiento de programas de mantenimiento Overhaul
Inversión	USD. 13 000 000



La Central de generación de energía eléctrica desde la obtención de biogás en el relleno sanitario "El Inga" está ideado por la Alianza Estratégica de la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos (EMGIRS-EP) y la empresa Privada GASGREENSA.

En promedio ingresan cerca de 2.200 toneladas diarias de residuos en el relleno sanitario, y alrededor del 60% de ellos son de origen orgánico.

El biogás de rellenos sanitarios y/o vertederos están creados por la descomposición bacteriana de los residuos orgánicos. Este biogás consiste principalmente en metano y dióxido de carbono. El biogás de relleno sanitario "El Inga" tiene una composición en promedio de 58% de metano, 40% CO₂ y 2% de otros gases. El metano puede ser utilizado para generar electricidad y calor.

El objetivo del proyecto de la Central es la captación de biogás, aprovechando su valor calorífico para producir energía eléctrica de 5 MW que abastecen para 25.000 viviendas y dejar emitir alrededor de 10.000 toneladas de metano, lo que significa 250.000 toneladas de dióxido de carbono (CO₂).

Tabla 19 Ficha técnica experiencia de biodigestión - Quito

8. CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO Y REGISTRO

8.1. Requisitos sanitarios

Los abonos orgánicos son utilizados para mejorar y fertilizar los suelos agrícolas (Noriega & Altamirano, 1993; Jeavons, 2002; Cuesta, 2002; Paneque & Calaña, 2004). La calidad de las enmiendas orgánicas se evalúan a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas (Lasaridi et al., 2006). Según (Leblanc, Cerrato, Miranda, & Valle, 2007.), la calidad de los abonos orgánicos se determina a partir de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo.

8.2. Requisitos microbiológicos

Los abonos orgánicos ensayados de acuerdo a las normas correspondientes deben cumplir con los requisitos microbiológicos que se muestran en la siguiente tabla:

Tipo de microorganismo	Límite permisible	Método de ensayo
<i>Coliformes fecales</i>	<1000 NMP por gramo de abono	TMECC 07.01-B
<i>Salmonella sp.</i>	Ausente en 25 gramos de abono	TMECC 07.02
<i>Huevos de helmintos</i>	< 1 en 4 gramos de abono	TMECC 07.04

Tabla 20 Requisitos microbiológicos del abono orgánico.
Elaborado por: (Rea & Fernandez, 2018)

8.3. Requisitos Físico - Químicos

8.3.1. Olores

Los abonos orgánicos no deben registrar presencia de malos olores.

8.3.2. Humedad

El contenido de humedad de los abonos orgánicos debe ser mayor al 35% y menor 50% del peso del producto en base húmeda (determinado según NTEINEN 0222).

8.3.3. Densidad Aparente

La densidad aparente de los abonos orgánicos debe encontrarse dentro del rango de 550 a 850 kg/m³ (determinado según TMECC 03.03).

8.3.4. Tamaño del granulo

El tamaño máximo del gránulo de abono orgánico corresponde al producto que pase por el tamiz INEN 16 mm (ver NTEINEN 0154), permitiendo una retención no superior al 10% del peso total.

8.3.5. Materiales inertes

Los materiales inertes presentes en el abono orgánico ensayado de acuerdo a las normas correspondientes no deben sobrepasar los valores máximos que se presentan en la siguiente tabla.

Material inerte	Contenido en peso seco (%)	Método de ensayo
Vidrio, metal y plásticos rígidos	0.5	TMECC 03.06
Plásticos ligeros y flexibles	≤ 0.05	TMECC 03.06

Tabla 21 Especificaciones y métodos de ensayo para el contenido de material inerte
Elaborado por: (Rea & Fernandez, 2018)

8.3.6. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de los abonos orgánicos debe encontrarse en el rango de 2 a 4 dS/m (determinado según TMECC 04.10).

8.3.7. Potencial hidrógeno (pH)

El pH del abono orgánico debe ser mayor a 6.5 y menor a 8.5 (determinado según TMECC 04.11).

8.3.8. Contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica presente en el abono orgánico debe ser igual o mayor al 20% (determinado según TMECC 05.07-A).

8.3.9. Contenido de nutrientes

El contenido de nutrientes presentes en el abono orgánico ensayado de acuerdo a las normas correspondientes, deben cumplir con los requisitos que se muestran en la tabla 21.

Elemento	Valor mínimo (%)	Valor máximo (%)	Método de ensayo
Nitrógeno	0.3	1.5	NTEINEN 2025
Fósforo	0.1	1	NTEINEN 0233
Potasio	0.3	1	NTEINEN 0235
Magnesio	0.2	0.7	NTEINEN 0240
Calcio	2	6	NTEINEN 0240/
			NTEINEN 0238

Tabla 22 Especificaciones y métodos de ensayo para el contenido de nutrientes en el compost
Elaborado por:(Rea & Fernandez, 2018)

8.3.10. Relación C/N

La relación carbono/nitrógeno (C/N) expresada como cociente entre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total debe ser mayor a 10 y menor a 20.

8.3.11. Conductividad

La capacidad de intercambio catiónico del abono orgánico debe ser mayor a 65 cmol/kg (determinado según TMECC 04.09).

8.3.12. Contenido de metales pesados

El contenido de metales pesados presentes en el abono orgánico ensayado de acuerdo a las normas correspondientes no debe exceder los valores máximos que se muestran en la tabla 22.

Metal pesado	Máximo contenido (ppm)	Método de ensayo
Arsénico	15	TMECC 04.06-AS
Cadmio	2.5	TMECC 04.06-CD
Cobre	250	TMECC 04.06-CU
Cromo	200	TMECC 04.06-CR
Mercurio	2	TMECC 04.06-HG
Níquel	80	TMECC 04.06-NI
Plomo	150	TMECC 04.06-PB
Zinc	1000	TMECC 04.06-ZN

Tabla 23 Valores máximos y métodos de ensayo para el contenido de metales pesados en el compost
Elaborado por: (Rea & Fernandez, 2018)

8.3.13. Presencia de semillas viables de maleza

El abono orgánico debe contener como máximo dos semillas viables de malezas por litro de compost (determinado de acuerdo a TMECC 05.09).

8.3.14. Sustancias fitotóxicas

El abono orgánico no debe presentar sustancias fitotóxicas, para lo cual, el índice relativo de germinación y la elongación radicular relativa debe ser mayor al 95% (determinado de acuerdo a TMECC 05.05-B).

8.4. Requisitos adicionales

8.4.1. Muestreo

La toma de muestras debe realizarse de acuerdo a lo establecido en la norma NTEINEN 0220 vigente o la que la remplace.

8.4.2. Aceptación o rechazo

Si una muestra no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma, el lote será rechazado.

8.4.3. Etiquetado del Producto

El etiquetado del producto debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTEINEN 0221 y además contener la información siguiente:

- Contenido de materia orgánica total
- Contenido de humedad
- Relación C/N
- Contenido de material inerte
- Valor de pH
- Origen de la materia prima.

8.5. Registro y comercialización

Para el registro y comercialización de los productos que describe el presente manual se deberá registrar y dar cumplimiento a la normativa vigente establecida por el organismo de control pertinente, que al momento es AGROCALIDAD o el organismo sustituyente.

El producto orgánico para ser comercializado debe cumplir con los siguientes parámetros:



Ilustración 36 Flujograma para el procedimiento de lombricultura
Elaborado por: (Rea & Fernandez, 2018)

En el caso de registrar productos que contengan microorganismos descomponedores de materia orgánica, hay que cumplir con los siguientes parámetros.

- Declaración del Tipo de producto.
- Declaración del contenido de concentración mínima por cada microorganismo en UFC/g o UFC/ml.
- Declaración de la pureza microbiológica mínima.
- Declaración de actividad enzimática hidrolítica (amilolítica o celulolítica o proteolítica).
- Declaración de ausencia de patógenos.
- Declaración de parámetros fisicoquímicos.
- Declaración de la Función del Producto y sobre la forma de aplicación del mismo.
- Declaración de Incompatibilidad.
- Declaración de hojas de seguridad del producto.
- Declaración de tipos de envases, del producto a comercializar.
- Declaración de la vida útil del producto.

IMPORTANTE: Los parámetros antes mencionados, están sujetos a modificaciones de acuerdo a lo tipificado en la normativa vigente de la entidad respectiva que al presente es AGROCALIDAD.

9. Anexos

9.1. Calculo la relación C / N

A continuación se presenta una tabla explicando las características más importantes para el compostaje en diversos materiales.

Material	% N (peso seco)	C/N (peso a peso)	% Humedad (peso húmedo)
Mazorca de maíz	0,4 - 0,8	56 - 123	9 - 18.
Tallos de maíz	0,6 - 0,8	60 - 73	12
Residuos de frutas	0,9 - 2,6	20 - 49	62 - 88
Cascarilla de arroz	0,0 - 0,4	113 - 1120	7 - 12.
Residuos vegetales	2,5 - 4,0	11 - 13.	*
Cama de aves de corral (broiler)	1,6 - 3,9	12 - 15.	22 - 46
Estiercol de ganado	1,5 - 4,2	11 - 30.	67 - 87
Estiercol de caballo	1,4 - 2,3	22 - 50	59 - 79
Residuos de cocina	1,9 - 2,9	14 - 16	69
Papel (de basura doméstica)	0,2 - 0,25	127 - 178	18 - 20
Desperdicios de comida	0,6 - 1,3	34 - 80	
Lodos de aguas residuales	1,0 - 6,9	5 - 16.	72 - 84
Césped cortado	2,0 - 6,0	9 - 25.	
Hojas	0,5 - 1,3	40 - 80	
Podas de arbustos	1	53	15
Podas de árboles	3,1	16	70
Aserrín	0,06 - 0,8	200 - 750	19 - 65

* No reportado

Tabla 24 Características de los materiales a compostar

Fuente: MAE-PNGIDS (2019)

Fuente: Tchobanoglous y Kreith, 2002

Para el cálculo de la relación C/N se empleará la siguiente fórmula:

$$R = \frac{Q_1(C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(C_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1(N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2(N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3(N_3 \times (100 - M_3)) + \dots}$$

- Donde:
- R = relación C / N
- Qn = masa del material n ("tal cual" o "peso húmedo")
- Cn = carbono (%)
- Nn = nitrógeno (%)
- Mn = contenido de humedad (%) del material n

En los siguientes links podemos encontrar una calculadora que nos permite realizar la mezcla adecuada tomando en cuenta hasta 3 materiales con la fórmula del cálculo explicada para ambos casos (Cornell Waste Management Institute, s.f., 1996).

Calculadora Relación C/N(hasta 3 materiales):

- <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Calculadora Humedad (hasta 3 materiales):

- <http://compost.css.cornell.edu/calc/1a.html>

9.2. OrganEcs – Herramienta para la Estimación de Costos para el Manejo de Residuos Sólidos Orgánicos Separados en Origen

La Iniciativa de Residuos Sólidos Municipales (MSWI, por sus siglas en inglés) de la Coalición Clima y Aire Limpio (CCAC, por sus siglas en inglés) está trabajando con ciudades en todo el mundo para mejorar la gestión municipal de residuos sólidos y reducir las emisiones de contaminantes climáticos de vida corta (CCVC) como el metano o carbono negro, también llamados súper contaminantes climáticos.

El manejo de los residuos orgánicos a través de diferentes tecnologías presenta una oportunidad única para avanzar en la reducción de emisiones en el sector residuos y la mejora en la gestión municipal de residuos sólidos. Pero el diseño y la implementación de proyectos de tratamiento de residuos orgánicos requieren de una comprensión detallada de los costos para la construcción y operación de plantas de tratamiento de este tipo de residuos. Por ello, la MSWI impulsó la creación de OrganEcs.

9.2.1. Objetivo de la Herramienta

OrganEcs permite estimar los costos asociados con un proyecto de tratamiento de residuos orgánicos. La herramienta proporciona asistencia general para la planificación a gobiernos municipales, profesionales del sector residuos, técnicos de políticas públicas, operadores, desarrolladores de proyectos y otras partes interesadas para ayudarles a tomar decisiones financieras sobre potenciales proyectos de gestión de residuos orgánicos.

En base a los costos e ingresos proyectados se puede decidir si interesa seguir adelante con un estudio de factibilidad detallado del proyecto. Por ello, estimar los costes de un proyecto de este tipo puede ser caro e intensivo en recursos, pudiendo llevar a gastar mucho dinero y recursos para determinar si el proyecto es económicamente viable o no.

Necesidades de las ciudades	Cómo OrganEcs puede ayudarles
Apoyo para tomar decisiones sobre el desarrollo y operación de proyectos de gestión de residuos orgánicos	Identifica los costos y otros factores que las ciudades necesitan considerar antes de realizar un estudio de factibilidad detallado
Asistencia para estimar los costos e ingresos de proyectos de gestión de residuos orgánicos	Permite obtener: <ul style="list-style-type: none"> • Tarifas de residuos adecuadas (ej. Tasa de disposición de residuos en el relleno) • Precios de los productos óptimos (ej. Precio de compost o biogás) • Tasa Interna de Retorno (TIR)
Evitar gastar cuantiosos recursos	OrganEcs es gratis y no requiere una alta capacitación

Tabla 25 Cantidades de sustrato para la elaboración de soluciones y el lecho para el método Takakura

Fuente: waste.ccacoalition.org

9.2.2. Bases de la herramienta

OrganEcs considera cuatro opciones tecnológicas para proyectos de tratamiento de residuos, dos de compostaje y dos de digestión anaeróbica:

1. Compostaje abierto sin aireación forzada;
2. Compostaje con aireación forzada;
3. Digestión anaeróbica seca; y
4. Digestión anaeróbica húmeda.

Para cada uno de estos cuatro tipos de proyectos de tratamiento de residuos orgánicos, OrganEcs permite a los usuarios calcular:

- Tasa Interna de Retorno (TIR) esperada del proyecto en base a los datos proporcionados;
- Tarifas de residuos adecuadas (ej. tarifa de disposición de residuos) para lograr los objetivos de retorno económico requeridos por los inversores;
- Precios de venta de los productos (ej. compost, electricidad) para que el proyecto sea financieramente viable.

9.2.3. Diseño de la herramienta

Pestañas

OgranEcs tiene 22 pestañas (sin incluir la portada) a las que se les ha asignado el siguiente código de colores para facilitar su uso:

- **Marrón:** Información contextual, incluyendo las instrucciones de uso (Pestañas 1-4)
- **Azul:** Datos a introducir (insumos) por el usuario (Pestañas 5-7)
- **Amarillo:** Valores predeterminados (Pestaña 8)
- **Negro:** Resultados (Pestaña 9)



Ilustración 37 Inicio de OrganEcs

Fuente: waste.ccacoalition.org

- **Gris:** Resultados detallados por tipo de tecnología de tratamiento (Pestañas 10-17)
- **Verde:** Supuestos y Fuentes (Pestañas 18-22)



Ilustración 38 Pestañas de Organ ECS

Fuente: waste.ccacoalition.org

Las pestañas de insumos (azules) son tres y se corresponden a la entrada de los siguientes tipos de datos:

- Datos de la planta ("5-Facility Inputs")
- Datos de los residuos ("6-Waste Inputs")
- Datos económicos ("7-Economic Inputs")

Celdas

El código de colores de las celdas es el siguiente:

- Azul: celdas de insumos que requieren la entrada de datos por parte del usuario. Cambian a color azul más claro después de que se introduzca un dato.
- Amarillo: celdas de valores predeterminados. Estos valores pueden ser modificados por el usuario, y de darse este caso el color cambiará a marrón.
- Rojo: algunas celdas incluyen un sistema de validación, de tal modo que se si incluye un dato o valor que es incorrecto o supone una selección inválida, la celda cambia a color rojo y un mensaje de error aparece. En estos casos, el usuario ha de corregir el error antes de poder continuar.

9.2.4. Uso en la práctica de la herramienta

El usuario ha de introducir todos los datos requeridos en las celdas azules de las tres pestañas de insumos ("5-Facility Inputs," "6-Waste Inputs," and "7-Economic Inputs") a fin de obtener resultados correctos y precisos.

En la pestaña "8-Default Values" el usuario puede revisar y modificar los valores predeterminados si así lo desea.

A continuación, se presentan ejemplos del uso de la herramienta utilizando como ejemplo el caso de la municipalidad de Quito, para la cual se utilizó OrganEcs con el fin de analizar diferentes proyectos alternativos para el tratamiento de residuos orgánicos en base a las capacidades y contexto local.

9.2.5. Avisos

Para el correcto funcionamiento de la herramienta, siga las siguientes instrucciones:

- Asegúrese de descargar la última versión de OrganEcs disponible de la Plataforma de Conocimiento de la Iniciativa de Residuos Sólidos Municipales de la CCAC en: <http://www.waste.ccacoalition.org/document/organecs-cost-estimating-tool-managing-source-separated-organic-waste>
- Guarde el archivo con el nombre de la ciudad antes de introducir ningún dato (ej. OrganEcsQuito.xlsm). Asegúrese de guardar el archivo como "Type: Excel Macro-Enabled Workbook".
- No use una versión que ya contiene información o que fue usada previamente para otra ciudad.
- Al abrir el archivo, siempre habilite ("Enable") los macros pulsando el botón "Habilitar Contenido" ("Enable Content") junto al mensaje de advertencia en la parte superior de la planilla.

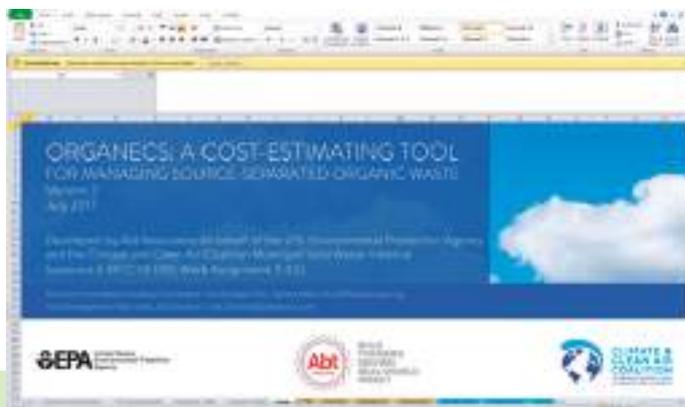


Ilustración 39 Pantalla de inicio del programa
Fuente: waste.ccacoalition.org

9.2.6. Limitaciones de la herramienta

- En la actualidad la herramienta sólo está disponible en inglés.
- Las tecnologías suponen proyectos de escala municipal, por lo que cada opción tecnológica tiene asignados unos umbrales mínimos requeridos de producción y capacidad para poder generar resultados (la herramienta no es por tanto adecuada para modelar proyectos pequeños y descentralizados).
- Valores mínimos para la TIR, el periodo de retorno de inversión y el porcentaje de inversión de capital deben ser introducidos en la pestaña de Insumos Económicos para que la herramienta proporcione resultados (los valores mínimos requeridos vienen indicados en notas en cada celda).
- Los costos calculados son para residuos orgánicos que se suponen ya separados en la fuente y no consideran los costos de separación y recogida selectiva.
- Los resultados que la herramienta ofrece son preliminares y deben ser verificados a través de un estudio de factibilidad detallado u otros análisis antes de tomar la decisión de inversión.

9.2.7. Acceso a la herramienta

OrganEcs está disponible en la Plataforma de Conocimiento de la Iniciativa de Residuos Sólidos Municipales de la CCAC:

www.waste.ccacoalition.org/document/organecs-cost-estimating-tool-managing-source-separated-organic-waste

9.3. Tabla comparativa de métodos de aprovechamiento para residuos orgánicos

Parámetro	Compostaje	Lombricultura	Bokashi	Takakura	Biogas
Tipos de residuos susceptibles a compostar	Restos de comida: vegetales y frutas verdes y frescos, Residuos de mercados y centros de distribución de alimentos vegetales sin procesar. Gallinaza, bovinaza, porquinaza, estiércol de ovejas, caballos, cuyes o conejos. Harina de huesos, de sangre o híguerilla. Productos de la poda. Pasto cortado. Restos vegetales Restos de camales, especialmente el ruminal. Lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales (se requiere realizar una caracterización previa)	Residuos de origen vegetal Rastrojos de diferentes cultivos Residuos de la industria maderera Residuos de actividad urbana Estiércol vacuno, conejos, cuyes, ovino, porcino.	Gallinaza, bovinaza, porquinaza, estiércol de ovejas, caballos, cuyes o conejos. Desechos de camarón o de pescado. Harina de huesos, de sangre o híguerilla. Residuos de la madera. Polvillo de arroz, pulpa de café, cáscara de cacao o de coco picadas, bagacillo. Salvado de trigo o de cebada, granza de quinua, vainas de fréjol trituradas. Desechos de la producción hortícola y frutícola. Ráquis de banano, palma o palmito picado.	Todo tipo de residuos orgánicos Broza de café, aceites usado de cocina y comida	Restos de comida: vegetales y frutas verdes y frescos, grasas vegetales. Residuos de mercados y centros de distribución de alimentos vegetales sin procesar. Restos de poda Residuos de camales Residuos agrícolas y agroindustriales sin químicos inhibidores de la biodigestión Lodos de PTAR
Tipos de residuos no susceptibles a compostar	Excretas de perro y gato Los residuos cárnicos o procedentes de mariscos	Estiércol de explotaciones intensivas de aves, estiércol procedente de cualquier especie animal cuyo período de maduración o fermentación sea superior a dos años. No mezclar estiércoles de distintas procedencias	Madera con componentes taninos y sustancias aromáticas	Materiales muy duros que no se pueden compostar en 45 días como los residuos del Coco, huesos de animales grandes, semillas muy duras, etc.	Restos de carne, huesos, pelos, pezuñas y pieles. Residuos orgánicos ya descompuestos aerobíamente (podridos). Compuestos de química orgánica como disolventes, desinfectantes y similares.
Relación carbono/nitrógeno (C/N)	25 a 35:1	25 a 35:1	20 a 22:1	Relación C/N inicial recomendable 25 a 35:1	60:15
Humedad	Una vez mezcladas las materias primas a compostarse del 40% al 60%	75 % óptimo	50-60%	40%-60%	Baja concentración: 10% – 20% Alta concentración: 40% – 60%
Temperatura	Dependiendo de la fase en que se encuentre varía de 45 °C a 75°C, llegando en etapas finales a temperatura ambiente	15 – 25 “ideal”	Mayor a 50°C- menor a 75°C	Materiales muy duros que no se pueden compostar en 45 días como los residuos del Coco, huesos de animales grandes, semillas muy duras, etc.	Temperatura de biodigestión mesofílica (35-38 °C) o termofílica (55 °C)
Tamaño de partícula	3 a 5 cm	Lo más fino posible	0,5 a 1 cm	3 a 5 cm de diámetro	10 a 25 mm
pH	Si es más bajo de 7 en el resultado final, el proceso no es adecuado	6,5 – 7,5 óptimo	6,5 – 7,5 óptimo	pH aproximado al neutro (pH~7)	Neutro o ligeramente alcalino, máximo 7,5

10. Bibliografía

Agencia Catalana de la Seguridad Alimentaria. (2016). Agencia Catalana de la Seguridad Alimentaria. Recuperado el 2019, de <http://acsa.gencat.cat/es/detall/article/Dioxines>

Agencia de Regulación Fito y Zoosanitario. (s.f.). Agencia de Regulación Fito y Zoosanitario. Obtenido de <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dria/031.-MANUAL-DE-FERTILIZANTES.pdf>
 AgroLanzarote. (2013). Recuperado el 2019, de <http://www.agrolanzarote.com/sites/default/files/Agrolanzarote/01Actualidad/documentos/manual-lombricultura.pdf>

Bidligmaier, W. (1993). Odour emissions from composting plants. *Waste Management Chair*, 1 (4) , 64-68.

Bollo, E. (2001). *Lombricultura, una alternativa de reciclaje*. Quito: SobocGrafis.

Buenrostro, O., Cram, S., Bernache, G., & Bocco, G. (2000). La digestión anaerobia como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*; Vol. 16, Núm. 1 .

Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25(2) , 209-213.

Cornell Waste Management Institute. (1996). Cornell Waste Management Institute. Obtenido de <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Cornwell Waste Management Institute. (1996). Cornwell Waste Management Institute. Obtenido de <http://compost.css.cornell.edu/calc/1a.html>

Cristales, O. (1997). Sistema de crianza de lombriz de tierra, alternativas de uso para el manejo de desechos sólidos. El Salvador: Fundación para el fomento de empresas para la recolección y tratamiento ambiental de sólidos , 22-23.

Cuesta, M. (2002). *La Agricultura Orgánica y las dimensiones del desarrollo*.

De-Carlo, E., Rosa, A., Benintende, S., Cariello, M., Castañeda, L., Figoni, E., y otros. (2001). Estudio de la Población Microbiana en las Etapas Iniciales del Compostaje. *Revista CERES* , 48(280) , 699-715.

Díaz, E. (2002). *Guía de lombricultura*. La Rioja: ADEX.

Díaz, M., Madejón, E., Cabrera, F., Jiménez, L., & DeBertoldi, M. (2004). Using a Second-Order Polynomial Model to Determine The Optimum Vinasse/Grape Marc Ratio For In-Vessel Composting.

Compost Science & Utilization , 12(3) , 273-279.

Directiva 1999/31/CE del Consejo, relativa al vertido de residuos. (1999).

Directiva 2008/98 - Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (19 de Noviembre de 2008). Europa.

Eco Consultorías e Ingeniería SAC. (s.f.). Obtenido de https://www.nefco.org/sites/nefco.org/files/pdf-files/1a_estudio_de_caracterizacion_fisica_de_residuos_solidos_municipales_en_la_ciudad_de_piura.pdf

Ekinci, K., Keener, H., Elwell, D., & Michel, F. (2004). Effects of aeration strategies on the composting

process: Part 1-Experimental studies. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 47(5) .

Espinosa, J. (1998). *Materia organica en el suelo. Conceptos basicos*. Quito: INPOFOS.

Espinosa, J. (1998). *Materia organica en el suelo. Conceptos basicos. Serie de diapositivas*. Quito: INPOFOS.

FAO. (2015). *Food Wastage Footprint and Climate Change*. Roma: FAO.

FAO. (2011). *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention*. Roma.

FAO. (2013). listed in Annex A, Chapter 3, Other waste streams, under Topic Sheets. Food waste .

FAO, & PESA. (2011). *Elaboración y uso del Bokashi*. EL SALVADOR: FAO.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina*. Santiago de Chile, Chile. ISBN 978-92-5-307845-5.

FLPC; University of Arkansas. (2016). *Leftovers for Livestock: A Legal Guide for Using Food Scraps as Animal Feed*, Harvard Law School Food Law and Policy Clinic (FLPC) and Food Recovery Project at University of Arkansas School of Law. Arkansas, U.S.A.

GAD de la Provincia de Pichincha. (2012). *Estudio de mercado y disponibilidad de materia prima para la instalación de una planta de transformación de subproductos y/o residuos orgánicos, en bioinsumos (compost, humus de lombriz, bioles EMA´S) para el incremento de la producción agropecuaria*.

Garcia-Serrano, P., Lucena, J., Ruano, S., & Nogales, M. (2009). *Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Parte I*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Garrido, A. (2015). Recuperado el 2019, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/90483/fichero/TFGAidaGarrido.pdf>

Golueke, C. (1977). *Biological Reclamation of Solid Wastes*.

Gómez, D., & Vásquez, M. (2011). *ABONOS ORGÁNICOS.PYMERURAL*, 27.

Gouleke, C. (1977). *Biological Reclamation of Solid Wastes*. Rodale Press, Emmaus.

Gouleke, C., & Díaz, L. (1987). *Composting and the Limiting Factors Principle*. BioCycle, 28(4) , 4-22.

Harrison, H. (1994). *Recycling organic wastes: research, engineering and outreach*. Cornell Engine .

Haug, T. (1993). *The Practical handbook of Composting Engineering*. Florida: Lewis Publishers.

Honobe, Y. (2013). *El Método Takakura Herramienta de responsabilidad ambiental*. Quito: Publiasesores.

IGES. (2010). *Compostaje para la Reducción de Residuos JUEGO DE INFORMACIONES*.

IGES, JICA, City of Kitakyushu. (2010). *Compostaje para la reducción de residuos JUEGO DE INFORMACIONES*. Kytakyushu.

INEC. (2015). INEC. Recuperado el 2019, de www.ecuadorencifras.com

INEC; AME. (2015). Estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales .

Jaquenod, S. (2007). Vocabulario ambiental práctico. Jurídico - Técnico - Etimológico. Con ejercicios y ejemplos prácticos. Madrid: DYKINSON, S. L.

Jaramillo, G., & Zapata, L. (2008). Aprovechamiento de los residuos orgánicos en Colombia . Universidad de Antioquía, Medellín, Colombia .

Jeavons, J. (2002). Cultivo Biointensivo de Alimentos. Cultive Biointensivamente .

Jeris, J., & Regan, R. (1973). Controlling environmental parameters for optimum composting. *Composting Science*, 14(1) , 10-15.

Jhorar, B., Phogat, V., & Malik, E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different carbon: Nitrogen ratios in a semiarid environment. *Arid Soil Research and Rehabilitation* , 5(4):297-306 , 297-306.

Joaquín, J.-A., Carlos, C.-A., & Luis G., R.-E. (2018). Food Waste Recovery with Takakura Portable Compost Boxes in Offices and Working Places. *Resources* .

Kiehl, F. (1985). Fertilizantes Orgánicos. Sao Paulo: Agronómica Ceres Ltda.

Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. (2012). Lost Food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and their Impacts on Freshwater, Cropland, and Fertiliser Use." *Science of the Total Environment* 438: 477–489. . Food Loss and Waste Accounting and Reporting Standard .

La lombriz roja. (2015). La lombriz roja. Recuperado el 2019, de <http://lalombrizroja.com/>

Lacasa Mirabal, A. (1990). Fertilización de origen biológico. La Habana: Centro de Información y Documentación Agropecuario.

Lasaridi, K., Protopapa, I., Kotsou, M., Pilidis, G., Manios, T., & Kyriacou, A. (2006). Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management*, 80(1) , 58-65.

Leblanc, H., Cerrato, M., Miranda, A., & Valle, G. (2007). Determinación de la Calidad de los Abonos Orgánicos a Través de Bioensayos. *Tierra-Tropical* , 97-107.

Liang, C., Das, K., & McClendon, R. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology*, 86(2) , 131-137.

Madejón, E., Diaz, M., López, R., & FranciscoCabrera. (2001). New approaches to establish optimum moisture content for compostable materials. *Bioresource Technology*, 85(1) , 73-78.

Michel, F., Pecchia, J., & Rigot, J. (2004). Mass and Nutrient Losses During the Composting Of Dairy Manure Amended with Sawdust or Straw. *Compost Science & Utilization* , 12(4) , 323-334.

MIDUVI. (2015). Habitat y Vivienda. Recuperado el 2019, de www.habitatyvivienda.gob.ec

Minasny, B., Malone, B., McBratney, A., Angers, D., Arrouays, D., Chambers, A., y otros. (2017). Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292 , 59–86.

Ministerio de Ganadería, A. y. (12 de octubre de 2018). Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay. Recuperado el 04 de junio de 2019, de <http://www.mgap.gub.uy/unidad-organica>

zativa/direccion-general-de-servicios-agricolas/normativa/23-10-2018/resolucion-de-dgsa.

Ministerio del Ambiente de Ecuador (MAE). (2018). Reporte: Historial de aprovechamiento y reciclaje de los GAD's a nivel nacional (2015-2016-2018). Quito, Pichincha, Ecuador.

Miyatake, F., & Iwabuchi, K. (2006). Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *Bioresource Technology*, 97(7) , 961-965.

Mora, B. (2013). Control Biológico de olores en la parte pecuaria con el kit Bioremediador. Recuperado el 2019, de http://www.controlbiologico.com/control_olores_cerdos_porcicola.html

Mundo Verde. (2011). Mundo Verde. Recuperado el 2019, de http://mundoverdearquitectura.com/index.php?option=com_k2&view=item&id=91:bokashi-home-composts&Itemid=142&lang=es
Noriega, G., & Altamirano, A. (1993). Manual de Lombricultura. Mexico: Universidad Autónoma de Chapingo.

Ocampo, C. (1999). Proyecto de Factibilidad técnica económica para la producción de Humus en el altiplano de Bolivia. La Paz.

Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). FAO. Recuperado el 2019, de <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. (2009). Ingeniero Ambiental. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>

Orrego, A. (2006). Guía didáctica y módulo de gestión ambiental. Bogotá: Fundación Universitaria "Luis Amigó".

Ortega, P. (2012). Produccion de bokashi sólido y liquido. Monografía. Cuenca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca.

Ortega, P. (2012). Produccion de bokashi sólido y liquido. Monografía. Cuenca: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cuenca.

Ortiz, D. C., & Arévalo, N. E. (s.f.). Recuperado el 2019, de <http://www.aeca1.org/xviiencuentroaeca/comunicaciones/113h.pdf>

Pacheco, F., & Uribe, L. (2006). Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. San Jose de Costa Rica: Centro Nacional Especializado en Agricultura Organica-INA / CIA-UCR.

Paneque, V., & Calaña, J. (2004). Abonos Orgánicos, conceptos prácticos para su evaluación y aplicación. La Habana.

Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización de enmiendas orgánicas en cultivos agrícolas. *R.C.Suelo Nutrición Vegetal*, 8(4) , 10-29.

Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). CARACTERIZACIÓN FÍSICA-QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS APLICADAS EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS EN REPÚBLICA DOMINICANA. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 8 , 10-29.

PNGIDS. (2015). Ministerio del Ambiente Ecuador. Recuperado el 2019, de <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pgnids-ecuador>.

- Puerta, S. M. (s.f.). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores del suelo. *Lasallistas de Investigación* 1(1) , 56-65.
- Quevedo de Lima, H., & Martins, G. (2014). Anaerobic digestion (AD) of municipal solid waste in Santo André - SP: Review.
- Raggi, R. (1990). Importancia de la materia orgánica en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Panamá.
- ReFed. (2016). A Roadmap to Reduce U.S. Food Waste by 20 Percent.
- Registro estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes - España. (2007). Recuperado el 2019, de <http://www.prtr-es.es/Dioxinas-y-Furanos-PCDDPCDF,15634,11,2007.html>
- Roben, E. (2002). Recuperado el 2019, de <http://www.resol.com.br/Cartilha7/ManualCompostaje-paraMunicipios.pdf>
- Rodriguez M., G., & Paniagua, J. (2006). Horticultura orgánica: una guía basada en la experiencia en Laguna de Alfaro Ruiz, Costa Rica. San Jose de Costa Rica: Fundacion Guilombe.
- Rodriguez, M., & Córdova, A. (2006). Recuperado el 2019, de <http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>
- Rodríguez, M., & Córdova, A. (2006). Manual de Compostaje Municipal: tratamiento de residuos sólidos urbanos. . Mexico: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Rodríguez, M., M. O., Calero, B., Montero, A., Martínez, F., Limeres, T., y otros. (2012). Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 33(2) , 5-12.
- Roman, P., & Martínez, M. &. (2013). MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR Experiencias en América Latina. Santiago de Chile.
- Rooel, C.-R., Laura, B.-P., & María Fernanda, J.-M. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Tecnología en Marcha* , 25-32.
- Rondón, E., Szantó, M., & Pacheco, J. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Chile: CEPAL.
- Sánchez-Monedero, M., Roig, A., Paredes, A., & Bernal, M. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78(3) , 301-308.
- Sasaki, S. (1999). Técnicas Básicas de Agricultura Orgánica. Guía para agricultores. Proyecto de Agricultura Orgánica en Constanza. Santo Domingo: SEA-JICA.
- Singh, C., & A.Amberger. (1990). Humic substances in straw compost with rock phosphate. *Biological Wastes*, 31(3) , 165-174.
- Suler, D., & Finstein, S. (1977). Effect of Temperature, Aeration and Moisture on CO₂ formation in Bench-Scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Applied and Environmental Microbiology*, 33(2) , 345-350.

- Suquilanda, M. (1996). *Agricultura Orgánica. Alternativa tecnológica del futuro*. Quito: Fundagro / Abya-Yala.
- Sztern, M. &. (1999). *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. OMS /OPS / Presidencia de la Republica del Uruguay.
- Sztern, P. (2008). *Manual para elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos*. México.
- Tapia Yáñez, C., Murgueitio, M. J., & Nabernegg, M. (2016). *Estadística Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (Gestión de Residuos Sólidos 2016)*. Gestión de Residuos Sólidos .
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management. Second Edition*. McGraw-Hill.
- Tchobanologus, G., Theisen, G., & Eliassen, R. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid: McGrawHill.
- Tello, C. R., & Pacheco, J. M. (2015). *Estrategia de sensibilización ambiental en manejo integral de residuos sólidos aplicada a la Escuela Primaria de Iroquois*.
- Tello, P., Martínez, E., Daza, D., M., S., & H., T. (2010). Recuperado el 2019, de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3286/Informe%20de%20la%20Evaluación%20Regional%20del%20Manejo%20de%20Residuos%20Sólidos%20Urbanos%20en%20América%20Latina%20y%20el%20Caribe%202010.pdf?sequence=2>
- The Economist and Barilla Center for Food & Nutrition. (2017). *Food Sustainability Index*.
- Tomati, U., Madejón, E., & Galli, E. (2000). Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. *Compost Science & Utilization* , 8(2) , 108-115.
- TRAUTMANN, N. M., & KRASNY, M. E. (1997). *Composting in the Classroom Scientific Inquiry for High School Students*.
- Trautmann, T., & Olynciw, E. (2000). *Science & Engineering*. Recuperado el 2019, de http://agrienvarchive.ca/bioenergy/download/cornell_composting.pdf
- UNEP. (2015). *Global Waste Management Outlook*. ISWA.
- Zucconi, F., & DeBertoldi, M. (1987). *Compost Specifications for the Production and Characterization of Compost from Municipal Solid Waste*. En F. Zucconi, & M. DeBertoldi, *Compost: Production, Quality and Use* (págs. 276-295).



 @Ambiente_Ec

 @AmbienteEc

 @ambienteec

 ambienteec

Dirección: Calle Madrid 1159 y Andalucía

Código postal: 170525 / Quito - Ecuador

Teléfono: 593-2 398-7600

Lenín

