

Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de Cornare.

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Gestión de Residuos Sólidos y Peligrosos

Arley Camilo Hernández Ceballos

Walter Tamayo Guerra

Oscar León Vélez Arteaga

Asesor

Javier Antonio Parra Bedoya

Ingeniero Sanitario Especialista en Planeación Urbano Regional.

Corporación Universitaria Lasallista

Facultad de Ingenierías

Especialización en Gestión de Residuos Sólidos Ordinarios y Peligrosos

Caldas-Antioquia

2016

Tabla de contenido

Introducción	26
Justificación	29
Objetivos.....	31
Objetivo general	31
Objetivos específicos	31
Marco teórico	32
Metodología.....	36
Resultados.....	37
Generalidades sobre los residuos orgánicos	37
Los residuos orgánicos. características y clasificación.....	37
Generación de residuos sólidos orgánicos	41
En el ámbito mundial	42
En América y el Caribe	44
En Colombia	46
En la región del oriente Antioqueño	47
Marco normativo aplicable a los residuos orgánicos	49
Leyes, políticas, decretos y resoluciones sobre residuos solidos	49
Documentos de referencia sobre residuos sólidos	52

Normas técnicas colombianas sobre gestión ambiental residuos sólidos	53
Requerimientos técnicos y ambientales para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos	57
Requerimientos técnicos.....	57
Requerimientos ambientales.....	64
Impactos ambientales por el aprovechamiento de residuos orgánicos....	66
Propósitos del aprovechamiento	68
El proceso de biodegradación.....	69
Factores a considerar en el proceso de compostaje.....	71
Digestión anaeróbica de la materia orgánica.....	84
Presencia y coexistencia de los microorganismos en el compostaje	85
Técnicas de aprovechamiento de los residuos orgánicos.....	87
Técnica del compostaje	87
Sistemas anaerobios	87
Pilas estáticas	90
Sistemas aerobios	95
Ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología de compostaje	108
Infraestructura empleada	110

Lombricultura.....	114
Ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología de la lombricultura.....	122
Producción de abonos mineralizados líquidos.....	126
Biofermentos.....	126
Biofertilizantes.....	127
Bocashi.....	130
Sistemas para la generación de energías alternativas.....	133
Producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel, biogás).....	134
Biometanización.....	134
Biodiesel.....	142
Bioetanol.....	142
Ecodiésel o diésel sintético.....	144
Gasificación.....	148
Pirolisis / Termólisis.....	153
Plasma.....	155
Incineración.....	158
Conclusiones.....	162
Recomendaciones.....	165

Referencias.....168

Tabla de tablas

Tabla 1 Características fisicoquímicas y microbiológicas de los RS.....	38
Tabla 2 Clasificación de los residuos sólidos.	39
Tabla 3 Fracciones de Residuos Sólidos Orgánicos Biodegrada	40
Tabla 4 Generación de Residuos Sólidos Urbanos per –cápita de países de Europa, Estados Unidos y América Latina y El Caribe.....	41
Tabla 5 proyección de la producción mundial per cápita de los residuos por regiones para los años 2012 y 2015.	42
Modificado a partir de Avendaño Acosta, Edwin en PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, Tabla 6 NACIONAL Y DISTRITAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. ANÁLISIS DEL CASO BOGOTÁ D.C. PROGRAMA BASURA CERO. 2015 (Avendaño, 2015).....	43
Tabla 7 tratamiento de los residuos urbanos en Europa 2012 – 2013.....	43
Tabla 8 Generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) y urbanos (RSU) en américa latina y del caribe 2012 – 2013.....	45
Tabla 9 Composición física de los residuos sólidos para diferentes ciudades y según ingreso per - cápita por habitante	46
Tabla 10 recuperación y generación de residuos sólidos domiciliarios en la región del Oriente Antioqueño 2015.....	47
Tabla 11 la Identificación de Impactos en la gestión de residuos orgánicos municipales.	66

Tabla 12 Materiales residuales ricos en carbono y en nitrógeno	76
Tabla 13 Valores de referencia de humedad (%), carbono (%), nitrógeno (%), relación c/n en materias primas para el compostaje.	76
Tabla 14 Condiciones ideales para el compost	80
Tabla 15 Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de patógenos.	80
Tabla 16 Cotización de la empresa Representaciones Girasol marzo de 2016 .	93
Tabla 17 Costos de los sistemas modulares comercializados por la empresa KONTROLGRUN.	95
Tabla 18 Costos para el establecimiento de un sistema modular de aireación forzada comercial.....	102
Tabla 19 niveles aceptables y óptimos de los factores físicos y químicos para el compostaje.....	104
Tabla 20 requisitos de calidad del compost.....	104
Tabla 21 Posibilidades de uso del compost por categorías	106
Tabla 22 presupuesto general de construcción de una compostera.....	112
Tabla 23 Condiciones ideales para el establecimiento de la lombriz.....	116
Tabla 24 Composición del humus de lombriz	121
Tabla 25 COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESOS DE COMPOSTAJE Y EL BOCASHI	131

Tabla 26 Reciclaje vs. Incineración: análisis de ahorro energético..... 159

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Proceso del compost.....	72
Ilustración 2 Evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración (Rodrigo Ilarri javier, Rodrigo clavero maria elena, 2015)	74
Ilustración 3 Mecanismos de pérdida de calor en una pila de compost.....	82
Ilustración 4 Sucesión microbiana y ambiental durante el proceso de compostaje (Lopez Wong, 2010).....	86
Ilustración 5composteras del oriente antioqueño fuente propia.....	89
Ilustración 6 Diferentes prototipos de composteras confinadas o cerradas	91
Ilustración 7 Sistemas Anaerobios de compostaje – SAC	92
Ilustración 8 Sistemas comerciales de compostaje cerrado anaerobio	94
Ilustración 9 sistema de compostaje con aireación forzada en Granda Antioquia Fuente propia	97
Ilustración 10 características de la tecnología EARTHGREEN	102
Ilustración 11 Diagrama de flujo del proceso de compostaje y lombricultura ...	106
Ilustración 12 cultivos de lombriz	119
Ilustración 13: Lombridarios en mampostería, San Carlos - Antioquia	120
Ilustración 14 Lombridarios en madera. Sistema de alimentación.....	120
Ilustración 15 Diagrama de flujo del proceso de lombricultura	125

Ilustración 16 Producción y almacenamiento de Biofermentos. **¡Error! Marcador no definido.**

Ilustración 17 Comparación de un semillero de frutales con aplicación y si aplicación de Biofertilizantes 130

Ilustración 18 Alternativas de aprovechamiento energético de residuos orgánicos con alta tasa de biodegradabilidad..... 134

Ilustración 19 Etapas de la Digestión Anaerobia 137

Ilustración 20 Diagrama de una planta de Biometanización 141

Ilustración 21 Diagrama de flujo para la producción de Bioetanol 143

Ilustración 22 Esquema del proceso de fabricación de Ecodiesel 148

Ilustración 23 Esquema de planta de gasificación 153

Ilustración 24 Aplicaciones principales de los productos obtenidos de la Pirolisis 154

Ilustración 25 Esquema de procesos en la tecnología de Pirólisis 155

Ilustración 26 Proceso de Plasma 158

Ilustración 27 Plantas de incineración. 159

Presentación

El territorio espacial al cual va dirigido el trabajo es la región del oriente antioqueño, jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, ente corporativo de carácter público, descentralizado e independiente del orden nacional, adscrito al Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, integrado por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica. Dotada de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las políticas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Está conformada por 23 municipios en la zona Oriente, dos (2) municipios de la zona del Nordeste (Santo Domingo y San Roque) y un (1) municipio (Puerto Triunfo) de la zona del Magdalena Medio, con un área aproximada de 827.600 hectáreas correspondientes al 13% del departamento de Antioquia y el 0.7% de Colombia, distribuida en cinco (5) subregiones así:

Valles de San Nicolás con un área de 176.600 ha. (31.400 urbanas y 145.200 rurales) correspondientes a los municipios de El Carmen de Víbora, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente;

Bosques, con 162.700 ha. (2.200 urbanas y 160.500 rurales) e integrada por los municipios de Cocorná San Francisco San Luis y Puerto Triunfo (zona Magdalena Medio);

Aguas, con una extensión de 146.500 ha. (Urbana 4.600 y rural 141.900) correspondiente a los municipios de El Peñol, Granada, Guatapé, San Carlos y San Rafael;

Porce-Nus, con un área correspondiente a 101.700 ha. (Urbana 7.200 y rural 94.500) de los municipios de Alejandría, Concepción, San Roque y Santo Domingo (zona Nordeste);

Páramo, en una extensión de 240.200 ha. (urbana 6.600 y rural 233.600) correspondiente a los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón

En cuanto a la población asentada en esta región, es muy variable dada la condición de desplazamiento por la alteración de orden público sufrida a finales de la década de los 90 y principios del presente milenio y en la actualidad por el fenómeno del retorno y muy especialmente por el turismo y la alta movilidad de población flotante y veraneante, que como particularidad alteran grandemente la generación per cápita de residuos en los municipios del Oriente Antioqueño.

Presentamos a continuación los datos demográficos de estos municipios, según proyecciones DANE y el Sistema de Información Ambiental Regional – SIAR de CORNARE, además de un resumen del estado de los residuos domiciliarios en la jurisdicción de CORNARE donde se relacionan por regional las estaciones de manejo de residuos orgánicos e inorgánicos, la cantidad mensual de aprovechamiento de estos residuos, la disposición final y la recuperación per – cápita regional.

Datos demográficos de la Región del Oriente Antioqueño

POBLACIÓN MUNICIPAL REGIÓN ORIENTE ANTIOQUEÑO (2015)			
SUBREGIÓN / MUNICIPIO	TOTAL	URBANO	RURAL
Subregión Valles de	403.438	265.240	138.198
Carmen de Viboral	46.751	30.107	16.644
El Retiro	19.108	9.972	9.136
El Santuario	27.120	22.999	4.121
Guarne	47.797	17.609	30.188
La Ceja	52.723	45.779	6.944
La Unión	19.119	10.726	8.393
Marinilla	53.374	41.861	11.513
Rionegro	120.249	78.804	41.445
San Vicente	17.197	7.383	9.814
Subregión Bosques	51.291	17.283	34.008
Cocorná	14.972	3.965	11.007
Puerto Triunfo	20.062	6.178	13.884
San Francisco	5.318	2.446	2.872
San Luis	10.939	4.694	6.245
Subregión Aguas	60.071	29.253	30.818
El Peñol	15.889	9.149	6.740
Granada	9.859	3.656	6.203
Guatapé	5.279	4.155	1.124
San Carlos	16.064	6.031	10.033
San Rafael	12.980	6.262	6.718
Subregión Porce-Nusa	34.134	11.520	22.614
Alejandría	3.466	1.812	1.654
Concepción	3.463	1.426	2.037
San Roque	16.789	6.298	10.491
Santo Domingo	10.416	1.984	8.432
Subregión Páramo	80.685	26.846	53.839
Abejorral	19.290	6.681	12.609
Argelia	8.699	2.550	6.149
Nariño	17.291	2.506	14.785
Sonsón	35.405	15.109	20.296
Región	629.619	350.142	279.477

DANE - SIAR CORNARE PROYECCIONES DE POBLACIÓN 2010 - 2020 TOTAL MUNICIPAL Y SUBREGIÓN

Recuperación de residuos en cada una de la regionales de Cornare

DIRECCIONES REGIONALES	PLANTAS DE BIODEGRADACIÓN	BODEGA DE RECICLAJE	RESIDUOS ORGANICOS REC. (TON/MES)	% RESIDUOS ORGANICOS REC. (TON/MES)	RESIDUOS INORG. RECUP.	% RESIDUOS INORG REC (TON/MES)	TOTAL MATERIAL RECUPERADO	% MATERIAL REC.	RESIDUOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO	% RES. DIS. EN EL RELLENO SANITARIO	TOTAL RESIDUOS MANEJADOS	POBLACIÓN URBANA	PPC Kg /Hab /Día
VALLES DE SAN NICOLÁS	6	13	670,7	11,6	83,7	10,5	250,0	22,2	5.145,8	77,8	6.569,8	265.240	0,826
BOSQUES	3	4	4,1	11,2	6,6	15,7	12,3	6,7	738,2	93,3	313,9	17.283,0	0,605
PARAMÓ	2	2	59,1	7,1	10,5	1,1	110,0	8,3	546,7	91,7	616,3	26.846,0	0,765
AGUAS	6	6	178,0	26,9	68,5	11,0	2.727,0	37,9	561,6	69,7	808,1	29.253,0	0,921
PORCE - NUS	3	5	11,8	6,1	43,1	14,1	474,0	20,2	247,9	79,8	302,8	11.521,0	0,876
TOTAL REGIÓN	20	30	923,7	12,6	212,4	10,5	3.573,3	19,1	7.240,2	82,5	8.610,8	350.143,0	0,820

Fuente: Elaboración propia de los datos reportados a Cornare en los proyectos MIRS _PGIRS 2015

Como se puede observar se presentan unas PPC muy altas y esto obedece básicamente a que a que la base del cálculo es la población urbana, sin considerar que igualmente en algunos municipios realizan recolecciones de residuos en las zonas rurales desconociendo estos a que cantidad de población se le cargan estos residuos que en la gran mayoría de los casos se disponen en los rellenos sanitarios, además en algunas regionales donde se asientan municipios como Guatapé, El Peñol, San Rafael y San Carlos son visitadas por turistas, población flotante y veraneante que incrementan grandemente la generación de residuos.

Por la creciente generación de residuos en la región y la problemática que esto conlleva, la aplicación de este trabajo podría tener aplicación en todo el territorio colombiano donde se pretendan aplicar procesos tecnológicos para el aprovechamiento eficiente no solo de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, sino también para los generados en el sector agropecuario e industriales.

En el marco de la normativa vigente se aplican el decreto 1077 de 25 de mayo 2015, decreto único reglamentario del sector de vivienda, ciudad y territorio, que compilo entre otros el decreto 2981 de 2013 que regula la prestación del servicio público de aseo y el decreto 838 de 2005 sobre disposición final de residuos.

La resolución 0754 de noviembre de 2014, establece la metodología para el proceso de revisión y actualización de los Planes de Gestión integral de Residuos sólidos – PGIRS municipales 2015 - 2027 de segunda generación, por todo esto se hace imprescindible dimensionar el problema, adquirir conocimientos, contar con sistemas y procesos tecnológicos viables para el aprovechamiento de los residuos

sólidos de tal forma que se minimicen al máximo los residuos no aprovechables que son dispuestos finalmente en los rellenos sanitarios y se conviertan, los residuos aprovechables (orgánicos e inorgánicos) en insumos o materias primas que reactiven y cierren el ciclo de los procesos industriales, minimizando los impactos que la inadecuada gestión genera en el medio ambiente, disminuyendo la presión sobre los recursos naturales y el consumo de fuentes energéticas fósiles grandes contaminantes y causantes del efecto de invernadero y el calentamiento global.

Glosario

El Decreto No. 2981 de 20 /12/2013 "Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo", compilado por el decreto 1077 de mayo de 2015 y la NTC 5167, adopta entre otras las siguientes definiciones:

Aforo: Es el resultado de las mediciones puntuales, que realiza un aforador debidamente autorizado por la persona prestadora, respecto de la cantidad de residuos sólidos que produce y presenta un usuario de manera individual o conjunta al prestador del servicio de aseo.

Almacenamiento de residuos sólidos: Es la acción del usuario de guardar temporalmente los residuos sólidos en depósitos, recipientes o cajas de almacenamiento, retornables o desechables, para su recolección por la persona prestadora con fines de aprovechamiento o de disposición final.

Aprovechamiento: Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje.

Báscula: Instrumento técnico de medida mecánico o electrónico debidamente calibrado y certificado por la entidad competente, acorde con las normas vigentes que regulan la materia, para determinar el peso de los residuos sólidos.

Caja de almacenamiento: Es el recipiente técnicamente apropiado, para el depósito temporal de residuos sólidos de origen comunitario, en condiciones de aislamiento que facilite el manejo o remoción por medios mecánicos o manuales.

Corte de césped: Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en cortar el pasto ubicado en áreas verdes públicas sin restricción de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos que incluye el bordeo y plateo. Comprende la recolección y transporte del material obtenido hasta los sitios de aprovechamiento prioritariamente o de disposición final.

Estación de clasificación y aprovechamiento: Son instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuenten con las autorizaciones ambientales a que haya lugar.

Frecuencia del servicio: Es el número de veces en un periodo definido que se presta el servicio público de aseo en sus actividades de barrido, limpieza, recolección y transporte, corte de césped y poda de árboles.

Generador o productor: Persona que produce y presenta sus residuos sólidos a la persona prestadora del servicio público de aseo' para su recolección y por tanto es usuario del servicio público de aseo.

Gestión integral de residuos sólidos: Es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización

energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables.

Lixiviado: Es el líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de los residuos sólidos bajo condiciones aeróbicas o anaeróbicas y/o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Multiusuarios del servicio público de aseo: Son todos aquellos suscriptores agrupados en unidades inmobiliarias, centros habitacionales, conjuntos residenciales, condominios o similares bajo el régimen de propiedad horizontal vigente o concentrados en centros comerciales o similares, que se caracterizan porque presentan en forma conjunta sus residuos sólidos a la persona prestadora del servicio en los términos del presente decreto o las normas que lo modifiquen, sustituyan o adicionen y que hayan solicitado el aforo de sus residuos para que esta medición sea la base de la facturación del servicio público de aseo. La persona prestadora del servicio facturará a cada inmueble en forma individual, en un todo de acuerdo con la regulación que se expida para este fin.

Pequeños generadores o productores: Son los suscriptores y/o usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos sólidos en volumen menor a un (1) metro cúbico mensual.

Persona prestadora del servicio público de aseo: Es aquella encargada de una o varias actividades de la prestación del servicio público de aseo, en los términos del artículo 15 de la Ley 142 de 1994 y demás que la modifiquen o complementen.

Plan de gestión integral de residuos sólidos - PGIRS: Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS.

Poda de árboles: Es la actividad del servicio público de aseo que consiste en el corte de ramas de los árboles, ubicado en áreas públicas sin restricciones de acceso, mediante el uso de equipos manuales o mecánicos. Se incluye la recolección y transporte del material obtenido hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento o disposición final.

Presentación de los residuos sólidos: Es la actividad del usuario de colocar los residuos sólidos debidamente almacenados, para la recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. La presentación debe hacerse, en el lugar e infraestructura prevista para ello, bien sea en el área pública correspondiente o en el sitio de presentación conjunta en el caso de multiusuarios y grandes productores.

Puntos críticos: Son aquellos lugares donde se acumulan residuos sólidos, generando afectación y deterioro sanitario que conlleva la afectación de la limpieza del

área, por la generación de malos olores, focos de propagación de vectores, y enfermedades, entre otros.

Reciclador de oficio: Es la persona natural o jurídica que se ha organizado de acuerdo con lo definido en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994 y en este decreto para prestar la actividad de aprovechamiento de residuos sólidos.

Recolección y transporte de residuos aprovechables: Son las actividades que realiza la persona prestadora del servicio público de aseo consistente en recoger y transportarlos residuos aprovechables hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento.

Recolección puerta a puerta: Es el servicio de recolección de los residuos sólidos en el andén de la vía pública frente al predio del usuario.

Residuo sólido: Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles. Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables.

Residuo sólido aprovechable: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso para quien lo genere, pero que es susceptible de aprovechamiento para su reincorporación a un proceso productivo.

Residuo sólido ordinario: Es todo residuo sólido de características no peligrosas que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso es recolectado, manejado, tratado o dispuesto normalmente por la persona prestadora del servicio público de aseo. El precio del servicio de recolección, transporte y disposición final de estos residuos se fija de acuerdo con la metodología adoptada por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

Los residuos provenientes de las actividades de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles ubicados en vías y áreas públicas serán considerados como residuos ordinarios para efectos tarifarios.

Separación en la fuente: Es la clasificación de los residuos sólidos, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, de acuerdo con lo establecido en el PGIRS, para ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso.

Sistema de pesaje: Es el conjunto ordenado y sistemático de equipos, elementos y maquinaria que se utilizan para la determinación certera del peso de los residuos objeto de gestión en uno o varios de las actividades del servicio público de aseo y que proporciona información con datos medibles y verificables.

Unidad de almacenamiento: Es el área definida y cerrada, en la que se ubican las cajas de almacenamiento o similares para que el usuario almacene temporalmente los residuos sólidos, mientras son presentados a la persona prestadora del servicio público de aseo para su recolección y transporte.

Unidad Habitacional: Apartamento o casa de vivienda independiente con acceso a la vía pública o a las zonas comunes del conjunto multifamiliar y separada de las otras viviendas, de tal forma que sus ocupantes puedan acceder sin pasar por las áreas privadas de otras viviendas.

Unidad Independiente: Apartamento, casa de vivienda, local u oficina independiente con acceso a la vía pública o a las zonas comunes de la unidad inmobiliaria.

Usuario no residencial: Es la persona natural o jurídica que produce residuos sólidos derivados de la actividad comercial, industrial y los oficiales que se benefician con la prestación del servicio público de aseo.

Usuario residencial: Es la persona que produce residuos sólidos derivados de la actividad residencial y se beneficia con la prestación del servicio público de aseo. Se considera usuario residencial del servicio público de aseo a los ubicados en locales que ocupen menos de veinte (20) metros cuadrados de área, exceptuando los que produzcan más de un (1) metro cúbico mensual.

Vehículo recolector: Es el vehículo utilizado en las actividades de recolección de los residuos sólidos desde los lugares de presentación y su transporte hasta las estaciones de clasificación y aprovechamiento, plantas de aprovechamiento, estaciones de transferencia o hasta el sitio de disposición final.

Vía pública: Son las áreas destinadas al tránsito público, vehicular o peatonal, o afectadas por él, que componen la infraestructura vial de la ciudad y que comprende: avenidas, calles, carreras, transversales, diagonales, calzadas, separadores viales,

puentes vehiculares y peatonales o cualquier otra combinación de los mismos elementos que puedan extenderse entre una y otra línea de las edificaciones.

Resumen

El trabajo está enfocado en realizar un inventario de posibles alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos aplicables inicialmente en los municipios del Oriente Antioqueño, Jurisdicción de CORNARE, pero que por sus características podría tener aplicación en municipios de todo el territorio nacional con iguales condiciones poblacionales y de generación de residuos que el Oriente Antioqueño. Se trata de una revisión bibliográfica de metodologías o tecnologías para el aprovechamiento de los residuos orgánicos urbanos a fin de tratar el 65 % de los residuos que genera la población y disminuir no solo los volúmenes de disposición final sino de minimizar los impactos ambientales que estos residuos generan como las emisiones de gases efecto de invernadero ocasionando el calentamiento global, la contaminación del suelo, las fuentes hídricas superficiales y subterráneas y la generación de olores ofensivos y proliferación de agentes patógenos como insectos y roedores. Trataremos entonces aquí de técnicas tradicionales y cada vez con más desarrollo tecnológico y comercial como el compostaje anaerobio y aerobio, la lombricultura y algunas alternativas de valorización energética como la metanización o biogás, gasificación, pirolisis, plasma e incineración entre otras.

Palabras claves:

Valorización de residuos, residuos orgánicos, compostaje aerobio, compostaje anaerobio, lombricultura, valorización energética, tratamiento de residuos, biogás, gasificación, termólisis, pirolisis, Incineración.

Abstract

The work is focused on making an inventory of possible technological alternatives for the use and recovery of solid organic waste initially applicable in the municipalities of Eastern Antioquia, jurisdiction of CORNARE, but which by its nature could be applied in municipalities throughout the national territory with equal population conditions and waste generation Antioqueño the East. This is a literature review of methodologies and technologies for the use of urban organic wastes to treat 65% of the waste generated by the population and reduce not only the volume of final disposal but to minimize environmental impacts that these residues generated as emissions of greenhouse gases causing global warming, pollution of soil, surface and ground water sources and the generation of offensive odors and proliferation of pathogens such as insects and rodents. Then we try here traditional techniques and increasingly technological and commercial development as anaerobic and aerobic composting, vermiculture and some alternative energy recovery as methanation or biogas, gasification, pyrolysis, plasma and incineration among others.

Keywords:

Reusing waste, organic waste, aerobic composting, anaerobic composting, vermiculture, energy recovery, waste treatment, biogas, gasification, thermolysis, pyrolysis, incineration.

Introducción

En todo el planeta y muy específicamente en el territorio de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare – CORNARE, región del Oriente Antioqueño, los residuos sólidos orgánicos han representado una de las mayores dificultades en la gestión de residuos municipales, pues además de presentar afectaciones sanitarias, ambientales y sociales, este tipo de residuo, representan los volúmenes más altos en su generación, según los nueve (9) PGIRS presentados a CORNARE a febrero de 2016, entre el 60 y el 65% de los residuos urbanos, mientras que entre el 15 y 30% de residuos son inorgánicos o reciclables y solo entre el 10 y 20% de residuos no son aprovechables o no se dispone de la tecnología para el aprovechamiento integral de estos, por lo que se llevan a una disposición final controlada o relleno sanitario.

Los principales gases efecto de invernadero son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el sector de los residuos contribuye grandemente a esta generación, ya que provienen estos gases de los residuos que generamos cada día: carbono de origen fósil (contenidos en los plásticos y combustibles fósiles como el gas natural, el carbón y el petróleo), carbono orgánico de degradación lenta (como la contenida en el material vegetal en forma de lignina y celulosa) y el carbono de degradación rápida (como los residuos del mantenimiento del jardín, los desechos de cocina y el mismo papel y cartón). Así mismo son generados en los procesos de recolección, almacenamiento, biodegradación o compostaje, en la disposición final en rellenos sanitarios o en la incineración de residuos.

Invertir la pirámide de la jerarquía en el manejo de los residuos sólidos podría ser una alternativa para minimizar la generación de gases efecto de invernadero –GEI. Es decir, en la cúspide de esta estaría la eliminación de los desechos no aprovechables en vertederos, sitios de disposición final controlada o rellenos sanitarios seguidos de la valorización energética, el reciclaje, la reutilización y en la base como pilar fundamental la reducción en la cantidad y en la prevención del riesgo asociado a su gestión.

Para Greenpeace, La tasa de reciclado y compostaje de RSU al 2006 en Estados Unidos es del 32,5%, y presupone: si se aumentara esta tasa al 50% produciría un ahorro de emisiones de entre 70 y 80 millones de toneladas de CO₂ más respecto del ahorro actual. Si se aumentara aún más esta tasa llevándola al 100%, es decir, reciclando y compostando la totalidad de los RSU, entonces se ahorrarían 300 millones de toneladas de CO₂ más, respecto a la línea de base del 32,5% del 2006.

Este trabajo de investigación documental y de revisión de experiencia locales de gestión de residuos, tiene por objeto realizar un inventario y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, agropecuarios e industriales, busca las tecnologías para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, aplicables a los 26 municipios del Oriente del Departamento de Antioquia, jurisdicción de CORNARE, la misma que se describió en la presentación inicial.

En el desarrollo del trabajo describiremos algunas generalidades de los residuos sólidos, sus características y clasificación, generación de residuos en el ámbito mundial, continental, nacional y local , revisaremos el marco normativo vigente que rige

la gestión de los residuos en Colombia, algunos requerimientos técnicos y ambientales a considerar para el desarrollo de un proyecto de aprovechamiento de residuos orgánicos, los impactos ambientales generados en la gestión de este tipo de residuos, describiremos en detalle el proceso de biodegradación y los factores que afectan o limitan este proceso natural y las características de algunas de las tecnologías para el manejo, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos desde procesos de biodegradación de la materia orgánica a través de procesos como el compostaje aerobio y anaerobio, el empleo de este compost como enmiendas o bioabonos para los suelos agrícolas, la utilización de la lombricultura para el procesamiento de estos desechos y algunas alternativas mucho más sofisticadas, empleadas en países desarrollados para la generación de energía a través de los residuos sólidos urbanos. Para cada una de estas se presentará en lo posible una descripción de los flujos del proceso, ventajas y desventajas de la tecnología. De tal forma que se constituyan en un referente para que los entes municipales puedan seleccionar la tecnología más viable según las características de cada población y las cantidades de residuos generados.

Justificación

Según la Ingeniera Elizabeth Carvajal, citando al MMA 2010, en la Especialización en Gestión de Residuos Sólidos Ordinarios y Peligrosos, febrero 27 de 2016, en el ámbito municipal los residuos sólidos urbanos domésticos representan en término medio el 73% de los residuos generados, el 13% lo genera el comercio, el 7% el sector institucional, el 4% la industria y el 3% otros generadores, de todo esto, los residuos orgánicos o biodegradables representan el 65 % , el 24 % lo representan los residuos inorgánicos y el 11 % corresponden a residuos no aprovechables.

Los municipios de la jurisdicción de CORNARE, según lo encontrado en las visitas de control el 35% no cuenta con un sistema o alternativa para el manejo de los residuos sólidos orgánicos (San Vicente, El Retiro, Rionegro, San francisco, Cocorná, Argelia, Nariño, Santo Domingo y San Roque). Los restante 65% ha implementado como única alternativa el compostaje aerobio con volteo manual en diferentes estados de avance tecnológico, de los cuales el 23% (El Peñol, Granada, El Santuario, Guarne, El Carmen de Víbora y San Luis), están empleando sistemas de compostaje anaerobio – SAC, con la obtención de abonos líquidos mineralizados a partir del lixiviado y sistemas aerobios con aireación forzada.

El incremento en los volúmenes de generación y el manejo inadecuado de los residuos generan graves impactos ambientales, como por ejemplo: contaminación visual o paisajística, material particulado al aire, humos, vapores y presencia de olores ofensivos, problemas sanitarios a operadores del servicio y vecinos de los centros de aprovechamiento y disposición final, contaminación del suelo por inadecuado manejo

de residuos e infiltración de lixiviados que afectan los depósitos de aguas superficiales y subterráneas, problemas socioculturales por los altos costos para la prestación del servicio público de aseo, pérdida del potencial de recuperación al contaminar los residuos inorgánicos aprovechables con residuos orgánicos y pérdida del potencial económico al disponer estos residuos aprovechables en los sitios de disposición final o rellenos sanitarios.

Es por esta situación que se hace necesario conocer alternativas tecnológicas para el manejo de los residuos que permitan mejorar su gestión desde la misma separación en la fuente de generación, la recolección selectiva y hasta el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos generados, a fin de reducir los impactos sociales, sanitarios y ambientales y las cantidades de residuos que son llevados a los rellenos sanitarios, incrementando con esto su vida útil

Los residuos orgánicos así recuperados y beneficiados permitirán la valorización de este desecho convirtiéndolo en materia prima para la generación de energías limpias, la producción de abonos y fertilizantes para la recuperación de suelos y áreas degradadas, la generación de empleo productivo y sostenible.

Objetivos

Objetivo general

Identificar y caracterizar las alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos aplicables en los municipios de la jurisdicción de CORNARE.

Objetivos específicos

- Identificar las posibles alternativas tecnológicas para el manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos en los municipios de la jurisdicción CORNARE.
- Caracterizar el proceso metodológico, flujos o diagramas del proceso, tipos de residuos orgánicos a los que aplica, las ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología.

Marco teórico

En materia ambiental las afectaciones al medio ambiente vienen considerándose desde 1972 cuando en Estocolmo se realizó la primera conferencia mundial en cuestiones ambientales; pero fue en Rio de Janeiro Brasil en 1992 en la conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, donde nace la Agenda 21 que en su capítulo 21 establece el manejo de los residuos sólidos municipales como parte del desarrollo sostenible y debe contemplar: la minimización de la producción, el reciclaje, la recolección y tratamiento y la disposición final adecuada (Ideam; Unicef; Cinara, 2005). En el año de 1997 se presenta en Colombia la política de gestión integral de residuos sólidos donde se realiza un diagnóstico, bases, objetivos y metas, estrategias y plan de acción; clasificando los residuos y definiendo los residuos aprovechables como el conjunto de fases sucesivas de un proceso cuando la materia inicial es un residuo y el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable (Ambiente, 1997), el manejo integral de los residuos sólidos se articuló con la prestación del servicio público de aseo con el decreto 1713 de 2002 (derogado por el decreto 2981 de 2013 y compilado por el decreto 1077 de mayo de 2015) , donde obliga a los municipios a elaborar implementar y a mantener actualizado el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS (Román, Pilar; Martínez, María; Pantoja, 2013).

Los residuos orgánicos están definidos en la normativa vigente en Colombia (Decreto 1077 de 2015), como los materiales o semisólidos de origen animal, humano o vegetal que se abandonan, botan, desechan, descartan y rechazan y son

susceptibles de biodegradación incluyendo aquellos considerados como subproductos orgánicos provenientes de los procesos industriales (For, Organic, & Wastes, 2006).

La guía para la selección de tecnologías de manejo de residuos sólidos define con este término a cualquier objeto, material, sustancia o elemento de naturaleza sólida que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de Servicios e instituciones de salud (Descripci & Term, 2000).

Para Gladys Jaramillo Henao, Gladis y Zapata Lina María “los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de éstos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales” (Henao & Márquez, 2008). Como lo plantea la Política para la gestión integral de los residuos sólidos uno de los principios específicos es la gestión integrada de residuos sólidos (GIRS), la cual consta de cuatro etapas bien diferenciadas así: La reducción en el origen, el aprovechamiento y valorización, el tratamiento y transformación y la disposición final controlada. El aprovechamiento se inicia desde la separación y recogida de materiales residuales en el lugar de su origen, la preparación de estos materiales para su reutilización, el procesamiento, la transformación en nuevos productos, y la recuperación de productos de conversión como compost, la energía en forma de calor y biogás combustible. El aprovechamiento entonces, es una forma de conservar y reducir la demanda o la presión sobre los recursos naturales, minimizando los consumos de energía, reduciendo la

contaminación e incrementando la vida útil de los sitios de disposición final, pero también el aprovechamiento tiene un potencial económico ya que los residuos se convierten en materias primas que pueden comercializarse para su tratamiento y transformación en otros productos (Ambiente, 1997). La separación en la fuente se constituye en la base fundamental para una adecuada gestión de los residuos, la cual consiste en la separación inicial y de manera selectiva de los residuos producidos en los centros o fuentes de generación, para lo cual se deben disponer de los recipientes adecuados para su correcta clasificación, empleando en lo posible el código de colores, para el caso específico de los residuos biodegradables u orgánicos se emplea un recipiente beige con bolsa plástica del mismo color (Aburrá, 2004).

Los residuos sólidos generan graves problemática ambiental y entre ellos los residuos sólidos urbanos, los orgánicos son tal vez los residuos que más problemas ambientales generan, tanto porque constituyen el componente más importante como por las características de sus procesos naturales de la descomposición de la materia orgánica, por la acción de los organismos biológicos, estos nacen, crecen, se reproducen, mueren y se descomponen para reintegrarse a los ciclos biogeoquímicos propios de la naturaleza. Esta descomposición se lleva a cabo por la acción de microorganismos, como las bacterias, las cuales transforman a la materia orgánica en sus componentes más simples como los gases (especialmente dióxido de carbono - CO_2 y el metano CH_4), vapor de agua y minerales. El consumo de alimentos y otros productos orgánicos en los centros urbanos hace que se genere en ellos un volumen tal de residuos orgánicos y a unas tasas tales que la naturaleza no puede descomponerlos a sus tasas normales de descomposición, como consecuencia de esto

los residuos orgánicos se acumulan en la naturaleza y generan numerosos problemas, entre los cuales se podrían enumerar:

- Proliferación de insectos y roedores vectores de enfermedades.
- Incremento de poblaciones de aves (gallinazos) y otros animales carroñeros.
- Contaminación del aire por emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros), lo que genera a su vez olores ofensivos.
- Contaminación del suelo y de las aguas superficiales y subterráneas debido a los lixiviados o líquidos generados como producto en el proceso de descomposición de la materia orgánica.
- Afectación del paisaje
- Deterioro de la salud de la población rural o urbana localizada en los alrededores de los botaderos, rellenos sanitarios o sitios de acumulación incontrolada (Mavdt & Epam, 2008).

Estos problemas exigen la adecuada disposición de los residuos orgánicos, y para ello existen alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, como el aprovechamiento biológico, encaminado a la producción de abonos o fertilizantes orgánicos mediante técnicas de compostaje y lombricultura se ha mostrado como uno de los más utilizados, eficaces y útiles. También su aprovechamiento para fines de generación de energía mediante incineración y para la producción de alimentos son opciones altamente interesantes que cada vez adquieren mayor importancia en el mundo (Mavdt & Epam, 2008).

Metodología

Para el trabajo de Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos, aplicables en los municipios de la jurisdicción de CORNARE, se hará una revisión de documentos de consulta. Se indagará en fuentes confiables las posibles alternativas tecnológicas para el aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos.

Revisión del marco normativo aplicable. Se buscará la normativa ambiental aplicable al aprovechamiento de los residuos orgánicos, entre otras leyes, decretos, resoluciones, así como también documentos de políticas y documentos técnicos aplicables según el caso.

Revisión del estado de manejo y operación de los residuos sólidos en el ámbito nacional, departamental y para el caso de la región del oriente antioqueño, se tomará como base los datos y líneas base construida producto de las visitas de control y seguimiento de los funcionarios de CORNARE a los proyectos municipales para el manejo de los residuos sólidos.

Documentación de las alternativas de manejo de residuos orgánicos aplicables al contexto regional y presentación del informe final.

Resultados

Para realizar una Identificación y caracterización de tecnologías para el aprovechamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos es necesario identificar algunas generalidades de los residuos orgánicos como se describen a continuación:

Generalidades sobre los residuos orgánicos

Los residuos orgánicos. características y clasificación

Los residuos orgánicos son aquellos que provienen del aprovechamiento, procesamiento y transformación de insumos o materias primas de origen vegetal y animal y que por sus características son biodegradados y desmineralizados de forma natural (Ciclos biogeoquímicos) o través del hombre para ser incorporados nuevamente al suelo como abono orgánico en procesos de recuperación de suelos degradados por acción natural o antrópica, reforestación y mantenimiento de zonas verdes, entre otros usos.

Por sus propiedades químicas estos residuos son descompuestos por la acción natural de organismos vivos como lombrices, bacterias y hongos y actinomiceto principalmente, llamados también residuos biodegradables, están constituidos por desechos, sobrantes y desperdicios que se generan normalmente en actividades económicas como el comercio, la industria agropecuaria y de alimentos, los colegios y los hogares entre otros.

En cuanto a las características de los residuos orgánicos, estos se pueden resumir como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 1 Características fisicoquímicas y microbiológicas de los RS

CARACTERÍSTICA	TIPO	UNIDAD	DEFINICIÓN
Químicas	Poder calorífico	Kcal/Kg	Capacidad potencial de calor que puede desprender un material cuando es quemado
	Potencial de Hidrógeno	Unidades pH	Indicador del grado de acidez o alcalinidad de los residuos
	Sustancias químicas compositivas	%	Porcentajes de cenizas, materia orgánica, C, N, K, Ca, P, relación C/N, humedad, entre otros.
	Composición gravimétrica	%	Peso porcentual de cada componente en relación con el peso total de RS.
Físicas	Materia orgánica	%	Indica la capacidad de biodegradación de los residuos sólidos.
	Humedad	%	Característica de gran importancia al momento de la compresión de residuos, producción de lixiviados, transporte, procesos de transformación, incineración y recuperación energética
	Compresibilidad	%	Grado de compactación o reducción de volumen de una masa de residuos sólidos bajo presión determinada
	Peso específico	Kg/m ³	Relación del peso de los RS en función del volumen
Microbiológicas	Agentes patógenos o microorganismos degradadores (virus, bacterias, hongos, otros)	UFC	Microorganismos presentes en los RS que pueden ayudar en la degradación de los mismos o convertirlos en focos patógenos.
Producción per cápita		Kg/hab/día	Relación de la cantidad de residuos generados diariamente por un habitante de un lugar o región determinada

Fuente: Tomado de PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, NACIONAL Y DISTRITAL, 2015. pág.27(Avendaño, 2015).

Los residuos sólidos suelen clasificarse de otras diversas formas, por ejemplo: de acuerdo a su origen (domiciliar, industrial, comercial, institucional, público); a su composición (materia orgánica, vidrio, metal, papel, textiles, plásticos, inerte y otros), o

de acuerdo con su peligrosidad (tóxicos, reactivos, corrosivos, explosivos, radioactivos, inflamables e infecciosos o biológicos)(López Wong, 2010).

En la Tabla 2 se presenta una clasificación más amplia y funcional de los residuos sólidos, pues de la correcta clasificación que se haga de los residuos sólidos se garantizara la optimización de las prácticas de manejo, aprovechamiento y disposición final

Tabla 2 Clasificación de los residuos sólidos.

CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS	
Según su fuente de generación	Domésticos
	Comerciales
	Industriales
	Institucionales
Según su naturaleza	Aprovechables
	No aprovechables
Según su grado de peligrosidad	Peligrosos
	No peligrosos
Según sus características biológicas	Inertes
	Patógenos
Según su poder calorífico	Bajo poder calorífico
	Alto poder calorífico
Según su composición química	Orgánicos
	Inorgánicos
Según su peligrosidad	Corrosivos
	Reactivos
	Radiactivos
	Explosivos

	Tóxicos
	Infeciosos - Biológicos
	Volátiles

Elaboración propia a partir de Avendaño (2015), pág. 29

El reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento técnico – RAS, en su título F. Sistema de aseo urbano, propone una clasificación de los residuos orgánicos biodegradables como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Fracciones de Residuos Sólidos Orgánicos Biodegrada

Tipo de generador		Tipo de residuo
Naturales - forestales		Residuos de leña – ramaje - follaje
Industria agrícola	Actividades pecuarias	Residuos generados por el manejo de animales: Estiércol vacuno, caballar, gallinaza, porquinaza, pollinaza previamente estabilizados.
	Agricultura	Residuos vegetales de cosechas.
	Acondicionamiento de frutas y verduras	Bagazo, Cáscara o semilla, Residuos orgánicos excedentes de proceso
	Cereales y otros granos	Afrecho – Almidones – Bagazo - Borra de café
	Madera y pulpa	Viruta y aserrín • Almidón
Institucional y comercial	Plazas de mercado	Residuos orgánicos frescos
	Actividades de jardinería	Residuos de poda, corte de césped y jardinería
	Plantas de tratamiento de agua residual domiciliaria	Lodos procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales que no contienen residuos peligrosos y cumplen con los valores mínimos para ser materia prima según la NTC 5167 V.2 o aquellas que la modifiquen o sustituyan.
Doméstico		Residuos orgánicos frescos, Residuos de poda, corte de césped y jardinería

Adaptado del RAS. Título F. Capítulo 6. Ministerio de Ambiente, vivienda, ciudad y territorio. Bogotá 2012 (Ministerio de Vivienda, 2012)

La generación per cápita mundial ha venido en crecimiento, siendo la América Latina y el caribe la que arroja la menor generación por habitante día, en comparación con otros países del mundo, como se observa en la Tabla 4

Tabla 4 Generación de Residuos Sólidos Urbanos per –cápita de países de Europa, Estados Unidos y América Latina y El Caribe

PAISES / REGIÓN	Kg/Hab/día
Estados Unidos	2.8
Suiza	1.95
Alemania	1.59
España	1.59
Reino Unido	1.56
Italia	1.51
Francia	1.48
Suecia	1.42
América latina y el caribe-ALC	0.93

Elaboración a partir del Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe 2010, pág. 105

Como se puede observar existe una gran brecha entre la generación per cápita de los países desarrollados en comparación a lo aportado en América Latina y el Caribe, que invita a dejar de un lado el consumismo y retomar el camino hacia la minimización en el consumo y el aprovechamiento integral de residuos a través de los procesos biológicos que son más amigables con el medio ambiente.

Generación de residuos sólidos orgánicos

Es condición humana el generar desechos o residuos en cada una de sus actividades cotidianas, domiciliarias, comerciales e industriales, cada residuo con unas características que lo diferencian uno de otro, algunos, en su gran mayoría, con posibilidades de ser aprovechados y reincorporados nuevamente al ciclo productivo a través del reuso y el reciclaje como los residuos inorgánicos o en procesos de biodegradación como los residuos orgánicos y en procesos de generación energética,

otros tantos con características de peligrosidad los cuales ameritan un tratamiento y disposición final más especial, como los residuos de origen biológico. Veremos entonces como es el comportamiento en la generación y aprovechamiento de residuos desde el nivel global hasta el local.

En el ámbito mundial

En su tesis de grado Avendaño, Edwin, sintetiza y proyecta la producción de residuos según su producción per – cápita y la población, la cual se visualiza en la Tabla 5. Observaremos como en el periodo 2012 a 2015, se incrementan las producciones per capitas excepto en los países de la POCED, donde se evidencia una pequeña disminución de 0.08 Kg/hab/día. Lógicamente en todos los continentes se evidencia un acelerado crecimiento población que hace que la generación de residuos crezca de forma exponencial.

Tabla 5 proyección de la producción mundial per cápita de los residuos por regiones para los años 2012 y 2015.

Región	AÑO 2012			AÑO 2015		
	PPC promedia	Población Urbana	Pdn Total	PPC promedia	Población Urbana	Pdn Total
	(Kg/Hab/Día)	(millones de habitantes)	(Ton/Día)	(Kg/Hab/Día)	(millones de habitantes)	(Ton/Día)
África	0,65	261	61.922.250	0,85	518	160.709.500
Asia Oriental	0,95	777	269.424.750	1,52	1230	682.404.000
Europa y Asia Central	1,12	227	92.797.600	1,48	240	129.648.000
Latinoamérica y El Caribe	1,09	400	159.140.000	1,56	466	265.340.400
Medio Oriente y África del Norte	1,07	162	63.269.100	1,43	257	134.141.150

Países de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo	2,15	729	572.082.750	2,07	842	636.173.100
Asia del Sur	0,45	426	69.970.500	0,77	734	206.290.700
TOTAL	1,07	2.982	1.288.606.950	1,38	4287	2.214.706.850

Modificado a partir de Avendaño Acosta, Edwin en PANORAMA ACTUAL DE LA SITUACIÓN MUNDIAL, Tabla 6 NACIONAL Y DISTRITAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS. ANÁLISIS DEL CASO BOGOTÁ D.C. PROGRAMA BASURA CERO.2015 (Avendaño, 2015)

Para el caso del aprovechamiento vemos como los países desarrollados cada vez disminuyen los volúmenes de disposición final de sus residuos en los rellenos sanitarios y retoman el camino hacia el reciclaje y la recuperación de abonos orgánicos a través del compostaje y el aprovechamiento energético, equilibrándose en los países europeos los porcentajes de los diferentes sistemas de tratamiento y disposición final, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 7 tratamiento de los residuos urbanos en Europa 2012 – 2013

PAIS	PPC	DISP. FINAL	APROVECHAMIENTO		
	Kg/Hab/Año		RECICLAJE	COMPOST	INCINERACIÓN
			%	%	%
Grecia	506	82	16	0	2
Lituania	304	64	21	7	8
Alemania	617	0	47	18	35
Rep. Checa	307	56	0	24	20
Francia	532	28	21	17	34
Eslovaquia	333	77	6	5	12
Polonia	297	63	17	20	0
Italia	187	38	26	15	21
Finlandia	470	25	19	14	42
Belgica	193	0	34	21	45

Luxemburgo	662	17	28	20	35
Rumania	250	97	3	0	0
Croacia	SD	84	14	2	0
Austria	578	4	24	35	37
Países bajos	526	1	25	25	49
Chipre	624	79	12	9	0
Dinamarca	747	2	28	17	53
Suecia	465	1	36	16	47
Hungría	378	65	21	5	9
Portugal	514	55	11	13	21
Malta	570	88	6	6	0
Letonia	301	83	11	6	0
Reino Unido	521	35	28	16	21
España	449	60	15	15	10
Irlanda	586	50	34	16	0
Bulgaria	410	70	25	5	0
Estonia	279	16	14	6	64
Eslovenia	414	38	55	4	3
Promedios	445,19	45,64	21,32	12,75	20,29

Modificación propia a partir de www.vidasostenible.org/informes/tendencias_en_el_tratamiento_de_residuos_urbanos_en-Europa_2012-2013.

Si observamos los valores promedios nos damos cuenta como en término medio un europeo está generando 1,24 Kilogramos al día de residuos y de estos un 45,64 % es dispuesto en Rellenos sanitarios, el 21,32 se recicla, el 12,75 se composta y el 20,29 se somete a procesos de incineración y producción energética.

En América y el Caribe

Para el caso de América Latina y el caribe, la Organización Panamericana de la Salud, en su Informe de la Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos

Urbanos en América Latina y el Caribe 2010, reporta la generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) y urbanos (RSU) en América Latina y del Caribe 2012 – 2013, datos que se resumen en la Tabla 8

Tabla 8 Generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) y urbanos (RSU) en América Latina y del Caribe 2012 – 2013

PAIS	GENERACIÓN PER CÁPITA	
	RSD	RSU
Argentina	0,77	1,15
Belice	SD	SD
Bolivia	0,46	0,49
Brasil	0,67	1
Chile	0,79	1,25
Colombia	0,55	0,62
Costa Rica	SD	0,88
Ecuador	0,63	0,71
El Salvador	0,51	0,89
Guatemala	0,49	0,61
Guyana	SD	SD
Honduras	0,62	SD
Jamaica	0,72	SD
México	0,59	0,94
Nicaragua	0,74	SD
Panamá	0,55	1,22
Paraguay	0,69	0,94
Perú	0,47	0,75
República Dominicana	0,85	1,1
Uruguay	0,75	1,03

Venezuela	0,65	0,86
	0,64	0,9025
América latina y el caribe - ALC	0.63	0.93

Elaboración propia a partir de Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC. 2010, pág. 104.

Como se observa en la tabla anterior en América Latina y El Caribe, se presenta una generación per cápita en el sector residencial de 0.64 Kg /Hab /día, mientras que para el sector urbano de 0.90 Kg /Hab /día, una diferencia de 0.26 Kg /Hab /día, mientras que para Colombia la diferencia es de tan solo 0.07 Kg /Hab /día.

En Colombia

Para el caso colombiano, la generación de residuos está muy ligada a la capacidad de pago o de ingresos que tiene la población, como lo relaciona Avendaño (2015) en su trabajo de grado, en la Tabla 9 que se relaciona a continuación para tres (3) de las grandes ciudades de Colombia según tipo de residuos, la producción per cápita en Kg / Hab. /día..

Tabla 9 Composición física de los residuos sólidos para diferentes ciudades y según ingreso per - cápita por habitante

COMPONENTE	PAISES DE BAJOS INGRESOS	PAISES DE MEDIANOS INGRESOS	BOGOTÁ	CALI	MEDELLÍN
Residuos de comida	40 a 85	20 a 25	64,3	82,4	59,5
Papel y Cartón	1 a 10	8 a 30	8,2	7,9	12
Plásticos y caucho	1 a 5	1 a 6	18,7	2,6	11,3
Textiles	1 a 5	2 a 10	4	0,8	1,9
Cuero	1 a 5	1a 4	0,3	-	0,3
Madera	1 a 5	1 a 10	0,6	1,4	-
Vidrio	1 a 10	1 a 10	1	1,6	2,7

Metales	1 a 5	1 a 5	0,8	0,1	1,3
Suciedad, cenizas, etc	1 a 40	1 a 30	2,1	3,2	3

Modificado a partir de Avendaño Acosta, Edwin en panorama actual de la situación mundial, nacional y distrital de los residuos sólidos. Análisis del caso Bogotá D.C. programa basura cero.2015

En la región del oriente Antioqueño

Para la región del Oriente Antioqueño, jurisdicción de CORNARE y conformada por 26 municipios, distribuidos para su administración y manejo en cinco (5) direcciones regionales (Valles de San Nicolás, Aguas, Paramó, Bosques y Porce – Nus) como se caracterizó en la presentación inicial y que corresponde a la gran despensa de alimentos para el Área Metropolitana del Valle del Aburra, además de su generación eléctrica para el territorio nacional y zona con un gran auge turístico e industrial, la generación de residuos orgánicos es cada vez más creciente no solo de origen domiciliario y agropecuario sino también industrial. Pero nos enfocaremos a los residuos domiciliarios recuperados en las jornadas de recolección por parte de los operadores del servicio públicos de aseo.

En la Tabla 10 se presenta el consolidado de la recuperación (no generación) por el prestador del servicio públicos de aseo de residuos sólidos domiciliarios urbanos para el año 2015, tomado de los reportes mensuales dados a CORNARE, por los coordinadores de los proyectos MIRS – PGIRS y cofinanciados por la misma Corporación, los valores aquí relacionados están dados en promedio de toneladas mensuales para dicho año.

Tabla 10 recuperación y generación de residuos sólidos domiciliarios en la región del Oriente Antioqueño 2015.

REGIONAL	MUNICIPIO	PLANTAS DE BIODEGRADACIÓN	BODEGA DE RECICLAJE	RESIDUOS ORGAN. RECUP. (TON/MES)	%	RESIDUOS INORGAN. RECUP. (TON/MES)	%	TOTAL MATERIAL RECUPERADO	% MATERIAL RECUPERADO	RES. DISP. EN EL RELLENO SANITARIO (Kg/día 2015)	%	TOTAL RESIDUOS MANEJADOS (PROM/MES)	POBLACIÓN URBANA	KPC (K) Kg/Hab/día
REGIONAL VALLES DE SAN NICOLÁS	EL CARMEN	1	1	125,0	19,8	27,5	5,9	170,0	25,5	474,3	74,5	826,8	30.107	0,705
	EL RETIRO	0	1	0,0	0,0	27,8	7,3	10,7	7,3	254,8	21,7	282,4	9.972	1,178
	EL SANTUARIO	1	1	80,0	26,1	47,5	11,5	100,0	57,6	99,9	42,4	121,4	22.999	0,321
	GUARNE	1	1	31,0	3,8	45,3	8,3	110,0	13,1	481,3	87,9	547,5	17.609	1,028
	LA CIBA	1	1	231,0	27,4	41,1	3,4	242,0	20,8	825,8	89,1	1.107,9	45.779	0,880
	LA UNIÓN	1	1	23,7	2,1	5,0	1,8	77,0	10,9	125,5	29,1	10,728	10.728	1,122
	MARINILLA	1	3	80,0	8,3	110,0	11,5	99,0	19,8	789,8	80,1	929,8	41.881	0,764
	RIONEGRO	0	3	0,0	0,0	433,1	19,8	80,0	19,8	1.730,9	80,4	2.154,0	78.304	0,911
	SAN VICENTE	0	1	0,0	0,0	15,0	15,8	0,0	15,8	79,8	84,1	94,8	7.353	0,428
	TOTAL	8	10	870,7	11,8	762,3	10,6	993,7	22,2	6.148,8	77,8	8.688,8	286.240	0,829
REGIONAL BOSQUES	COCORNA	0	1	6,6	6,6	7,7	7,6	11,0	14,1	88,8	85,9	101,1	3.968	0,850
	PUERTO TRINIDAD	1	6	6,6	1,4	14,9	3,2	197,0	4,6	445,8	95,4	467,2	6.178	1,211
	SAN FRANCISCO	1	2	1,1	1,7	3,0	4,4	2,3	6,0	84,0	94,0	88,1	2.446	0,928
	SAN LUIS	1	1	2,2	1,6	0,8	0,6	10,0	2,1	141,8	97,9	144,6	4.694	1,037
	TOTAL	3	8	16,6	2,8	26,3	3,8	220,3	8,7	738,2	88,3	781,0	17.283	1,231
REGIONAL AGLIAS	EL PERIOL	1	1	84,6	28,0	16,1	5,3	1.148,0	33,3	201,0	68,7	301,5	9.149	1,099
	GRANADA	1	1	26,4	27,4	10,5	10,9	460,0	38,3	59,4	61,7	95,3	3.658	0,978
	GUATAPÉ	1	1	27,1	22,7	11,4	9,5	322,0	32,2	81,0	67,8	119,5	4.159	0,959
	SAN CARLOS	2	2	17,4	17,8	4,9	5,1	328,0	22,9	75,3	77,1	97,6	6.031	0,939
	SAN RAFAEL	1	1	22,6	11,7	25,6	13,2	469,0	25,0	144,9	75,0	193,1	6.262	1,028
TOTAL	6	6	178,0	21,6	88,6	8,8	2.727,0	30,3	681,8	88,7	808,1	28.263	0,901	
REGIONAL PARAVANDI	ABOORRAL	1	1	22,1	11,2	0,6	0,3	48,0	11,4	175,5	88,6	198,1	6.681	0,989
	ARGELIA	0	0	7,0	4,4	0,0	0,0	7,0	4,4	151,3	95,6	158,3	2.350	1,071
	NAERIO	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	29,5	100,0	29,5	2.506	0,392
	SONSON	1	4	30,0	13,0	10,0	4,3	48,0	17,4	190,1	82,6	230,2	15.109	0,508
TOTAL	2	5	69,1	7,1	10,6	1,1	110,0	8,8	648,7	81,7	618,3	26.848	0,880	
REGIONAL PORCENUS	ALBANDRIA	1	1	3,4	5,5	1,8	2,8	53,0	8,3	57,8	91,7	62,8	1.812	1,155
	CONCEPCION	1	1	8,3	19,0	10,8	24,1	134,0	43,0	25,0	57,0	44,0	1.427	1,027
	SAN ROQUE	0	1	0,0	0,0	3,6	4,0	79,0	4,0	85,4	96,0	89,0	6.298	0,471
	SANTO DOMINGO	1	2	0,0	0,0	27,2	25,4	208,0	25,4	79,8	74,6	107,0	1.984	1,798
TOTAL	3	5	11,8	8,1	43,1	14,1	474,0	20,2	247,8	79,8	302,8	11.621	1,118	
TOTALES	20	38	898,1	8,8	801,7	7,7	4.626,0	17,6	7.240,2	82,6	9.077,8	360.143	1,033	

RP CDM Residencia Per - Capital. Puesto que el cálculo se hace teniendo como base los reportes de residuos manejados desde el prestador del servicio público y los grupos de recicladores y no de un estudio de caracterización de residuos.

Fuente Creación propia a partir del reporte mensual de los coordinadores de los proyectos MIRS - PGIRS CORNARE 2015

Como se observa en la anterior tabla, se presentan los datos para cada uno de los municipios de la jurisdicción de CORNARE y distribuidos por direcciones regionales, donde la región CORNARE cuenta en la actualidad con un total de 20 plantas de biodegradación para el tratamiento de los residuos orgánicos provenientes de separación en la fuente y recolección selectiva por parte del operador del servicio de aseo, cada una de estas plantas de propiedad del municipio, no se cuentan con gestores privados de residuos orgánicos domiciliarios. Además, cuenta la región con más de 38 bodegas de reciclaje, algunas de propiedad del mismo municipio o del prestador del servicio de aseo o de asociaciones de recicladores y particulares que comercializan el reciclaje. Igualmente se observa en la tabla las cantidades (ton/mes) promedios mensuales para el año 2015) de residuos orgánicos (936,1 ton/mes) e

inorgánicos (901,7 ton/mes) recuperados en procesos de separación en la fuente y recolección selectiva, lo que representa un aprovechamiento del 17,5 %, siendo la regional Aguas la que presenta el mayor aprovechamiento con un 30,3 %.

Las altas recuperaciones per cápita obedecen a que solo se tienen en cuenta para la generación del dato, la población urbana y no la población veraneante y flotante que visita el territorio, además de la población rural que no se tiene cuantificada y se le presta el servicio de recolección y disposición final.

No se cuantifica aquí la producción per cápita (PPC), debido a la desactualización de los datos presentados ya que a diciembre de 2015 solo se habían presentado actualizados tres (3) de los 26 PGIRS municipales, dos (2) de ellos desactualizados acordes con la normativa vigente (resolución 0754 de 25 de noviembre de 2014).

El consolidado en toneladas por mes (TON/MES), su valor porcentual (%) para cada una de las cinco (5) regionales de los datos de recuperación de residuos orgánicos e inorgánicos, así como las cantidades que se disponen en los rellenos sanitarios se relacionaron en la presentación inicial.

Marco normativo aplicable a los residuos orgánicos

Leyes, políticas, decretos y resoluciones sobre residuos sólidos

La normativa más relevante y vigente en la legislación colombiana se describe a continuación:

Decreto 2202 de 1968: Por el cual se reglamenta la industria y comercio de los abonos o fertilizantes químicos simples, químicos compuestos, orgánicos naturales,

orgánicos reforzados, enmiendas y acondicionadores del suelo, y se derogan unas disposiciones.

Ley 99 de diciembre 22 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones.

Decreto 605 de 1996. Por medio del cual se establecen los lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección y transporte, transferencia hasta su disposición final y las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo (Capítulo I del título IV derogado por el decreto 2981 de 2013).

Resolución 1096 de 2000. Por el cual se adopta el Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico- RAS-2000.

Resolución 201 de 2001. Por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y Resultados.

Decreto 1505 del 4 de junio de 2003. Por el cual se modifica parcialmente Decreto 1713 de 2002 (derogado por el decreto 2981 de 2013) en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Resolución 1045 del 26 de septiembre de 2003.(derogada por la resolución 0754 de noviembre 25 de 2014). Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones.

Decreto 838 de 2005. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos, consideraciones ambientales sobre Rellenos sanitarios, fomento a la regionalización de los rellenos sanitarios y se dictan otras disposiciones y hoy compilado por el decreto 1077 de mayo de 2015.

Ley 1259 de 19 de diciembre de 2008, por el cual se instaure en todo el territorio nacional el Comparendo Ambiental.

Decreto 3695 de 25 de septiembre de 2009, reglamenta la aplicación del comparendo ambiental

Decreto 1287 de 10 de julio de 2014 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales".

Resolución 0754 de 25 de noviembre de 2014, por la cual se adopta la metodología para el proceso de revisión y actualización de los PGIRS municipales

Decreto 1077 de mayo de 2015, que compila el decreto 2981 de 2013. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Establece normas orientadas a reglamentar el Servicio público de aseo en el marco de la gestión

integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios.

Documentos de referencia sobre residuos sólidos

Los documentos de referencia sobre residuos sólidos relacionados en la Política Nacional para la gestión Integral de Residuos, 1997. Contiene el diagnóstico de la situación de los residuos, los principios específicos (Gestión integrada de residuos sólidos, análisis del ciclo del producto, gestión diferenciada de residuos aprovechables y basuras, responsabilidad, planificación y gradualidad), los objetivos y metas, las estrategias y el plan de acción. Plantea como principio la reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, el tratamiento y transformación y la disposición final controlada, cuyo objetivo fundamental es "impedir o minimizar" de la manera más eficiente, los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos y peligrosos, y en especial minimizar la cantidad o la peligrosidad de los que llegan a los sitios de disposición final, contribuyendo a la protección ambiental eficaz y al crecimiento económico.

Guía metodológica para la elaboración del plan de gestión integral de residuos sólidos - PGIRS del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial resolución 1045 de 2003 derogada por la Resolución 0754 de 25 de noviembre de 2014 Por la cual se adopta de la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos –PGIRS.

Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, versión 2012 publicado por el Ministerio de Desarrollo Económico.

Guía Ambiental para la selección de tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos, Ministerio del Medio Ambiente, 2002.

Proyectos de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Guía Práctica de Formulación, Ministerio del Medio Ambiente, 2002.

Documento CONPES 3530 de 2008, plantea como propósitos en el mediano y largo plazo: realizar una planeación integral del servicio de aseo con objetivos para cada uno de los componentes del servicio, fortaleciendo la formulación, implementación seguimiento de los PGIRS; establecer esquemas regionales, para el servicio público de aseo, contando con la dinámica de los desarrollos tecnológicos; y aprovechando economías de escala; fomentar esquemas para facilitar la comercialización de los productos generados en los procesos de aprovechamiento y adelantar actividades y acciones que impliquen la implementación de sistemas de aprovechamiento y reciclaje definidas, bajo criterios ambientalmente sostenibles y responsables socialmente.

Normas técnicas colombianas sobre gestión ambiental residuos sólidos

NTC 2581. 89-06-21. Abonos o fertilizantes. Determinación de carbonatos totales y proporciones aproximadas de carbonatos de calcio y magnesio en calizas y calizas dolomíticas. Establece ensayos.

NTC 3795. 95-08-23. Fertilizantes sólidos. Derivación de un plan de muestreo para la evaluación de una entrega grande.

NTC-ISO 8633. 95-08-23. Fertilizantes sólidos. Método de muestreo simple para lotes pequeños. Define un plan de muestreo para el control de las cantidades de fertilizante sólido de máximo 250 t y presenta el método a emplear. Se aplica a todos los fertilizantes sólidos a granel o empacados.

NTC-ISO 8634. 95-08-23. Fertilizantes sólidos. Plan de muestreo para la evaluación de una entrega grande. Fertilizantes sólidos. Plan de muestreo para la evaluación de una entrega grande.

NTC 234. 96-11-27. Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para la determinación cuantitativa del fósforo. Contiene definiciones, requisitos, métodos de ensayo e informe.

GTC 35: 97-04-16. Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos. Suministra pautas para efectuar una recolección selectiva como parte fundamental en el proceso que permite mantener la calidad de los materiales aprovechables

NTC 4150. 97-06-25. Abonos o fertilizantes. Método cuantitativo para la determinación del nitrógeno amoniacal por titulación previo tratamiento con formaldehído. Establece un método cuantitativo para determinar el contenido de nitrógeno amoniacal en abonos o fertilizantes.

NTC 4173. 97-06-25. Fertilizantes sólidos y acondicionadores del suelo. Ensayo de tamizado. Especifica un método para la determinación, mediante ensayos de tamizado, la distribución del tamaño de partículas de los fertilizantes sólidos y los acondicionadores de suelos.

NTC 4175. 97-06-25 Fertilizantes sólidos. Preparación de muestras para análisis químicos y físicos. Especifica los métodos para la preparación de las muestras o porciones de muestras requeridas para los ensayos químicos o físicos de fertilizantes sólidos. Contiene definiciones, aparatos, rotulado y reporte de preparación de muestra.

NTC 370. 97-08-27. Abonos o fertilizantes. Determinación del nitrógeno total. Establece el método para determinar el contenido de nitrógeno total en abonos o fertilizantes. Contiene definiciones y ensayos.

NTC 35. 98-03-18. Abonos y fertilizantes. Determinación de la humedad. Del agua libre y del agua total. Establece los métodos para determinar el contenido de humedad, agua libre y agua total en abonos o fertilizantes.

GTC 24: 98-12-16. Guía para la separación en la fuente. Establece directrices para realizar la separación de residuos en las diferentes fuentes generadoras: doméstica, industrial, comercial, institucional y de servicios con el fin de facilitar su posterior aprovechamiento.

NTC 202. 01-08-01. Métodos cuantitativos para la determinación de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes de materias para su fabricación. Establece los métodos cuantitativos para la determinación del Contenido de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes. De materias primas, para su fabricación.

NTC 1927. 01-10-31. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones. Clasificación y fuentes de materias primas. Define los términos relacionados con

fertilizantes, acondicionadores del suelo, fuentes de materias primas, y sus clasificaciones.

Resolución 074 de 2002: elaborada por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Por la cual se establece el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, Almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. El prefijo BIO únicamente puede ser utilizado en acondicionadores orgánicos registrados para agricultura ecológica, que involucren microorganismos en su composición.

Resolución ICA No. 00150 del 21 de enero de 2003. Expedida por el Instituto Colombiano Agropecuario. Por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilización y acondicionadores de suelos para Colombia.

NTC 40. 03-03-19. Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Etiquetado. Establece los requisitos que debe cumplir el etiquetado de los envases y embalajes destinados para fertilizantes y acondicionadores de suelos.

NTC 5167. Por la cual se establecen los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Reglamenta los límites actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia parámetros para los análisis microbiológicos.

Requerimientos técnicos y ambientales para el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos

Requerimientos técnicos

Los requerimientos técnicos para el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos están basados en el documento técnico de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000, versión 2012. Según el documento la maximización del aprovechamiento de los residuos generados y por ende la minimización de los volúmenes a generar, contribuye a conservar y reducir presión sobre los recursos naturales, disminuir el consumo de energía, incrementa la vida útil de los sitios de disposición final y reducir sus costos en la prestación del servicio público de aseo, así como a reducir la contaminación ambiental.

El aprovechamiento y valorización deben realizarse siempre y cuando sean económicamente viables, técnicamente factibles y ambientalmente convenientes. De modo tal, que las normas y acciones orientadas hacia los residuos aprovechables y valorizables deben tener en cuenta lo siguiente:

Se trata de materia prima secundaria con valor comercial, considerada como insumo o subproducto para otros procesos productivos, sujeta a las condiciones de oferta y demanda del mercado.

b. Su destino es el aprovechamiento, de manera directa o como resultado de procesos para su valorización agronómica o energética: insumo industrial, insumo para procesos agronómicos o energéticos.

c. La determinación de los residuos aprovechables se deberá hacer en el marco de los planes de gestión de residuos sólidos (PGIRS). La calificación de residuo aprovechable debe darse teniendo en cuenta que existan tecnologías de acondicionamiento y transformación que genere valor agregado y un mercado para los productos obtenidos.

d. El aprovechamiento de residuos debe integrar a los generadores, los transformadores y los consumidores y promover incentivos e instrumentos económicos considerando el ciclo de vida; es decir el proceso productivo en su integridad, de modo que no se distorsionen los objetivos de la gestión ambiental, que consisten no sólo en disminuir un impacto ambiental específico – asociado al posconsumo, sino también los que se generan durante el proceso de producción y consumo.

e. Los recicladores de oficio deberán ser reconocidos y vinculados formalmente en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y valorización de residuos (Ministerio de Vivienda, 2012).

Igualmente, el RAS 2000, en su título F. Recomienda que para el servicio público de aseo y en articulación con la Política para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, se deberá tener en cuenta como elementos esenciales en la planificación y prestación del servicio los siguientes lineamientos de actuación en orden jerárquico:

a. Promover la cultura de consumo responsable para reducir la generación de residuos sólidos, fortaleciendo la reutilización de envases y empaques, entre otros.

b. Promover procesos de separación en la fuente, recolección y transporte selectivo en estaciones de aprovechamiento que incorporen valor agregado a los materiales con potencial de reciclaje.

c. Aprovechar las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables separadas en la fuente y con recolección y transporte selectivo, para valorización agronómica en la producción de acondicionadores de suelo, abonos y enmiendas orgánicas a través de su estabilización biológica o para valorización energética (biogás y combustibles alternativos).

d. Disponer en los rellenos sanitarios la menor cantidad posible de residuos. Lo ideal es que allí se dispongan solamente los residuos realmente no aprovechables y no peligrosos (Ministerio de Vivienda, 2012).

Para el Decreto 2981 de 2013, compilado por el decreto 1077 de mayo de 2015, en su artículo 2.3.2.2.2.9.86 las estaciones de clasificación y aprovechamiento. Las estaciones de clasificación y aprovechamiento deberán cumplir como mínimo con los siguientes requisitos:

1. Tener en cuenta para su ubicación los usos del suelo establecidos en las normas de ordenamiento territorial.

2. La localización y el número de estaciones de clasificación y aprovechamiento deberá estar sustentada técnicamente en el marco del PGIRS.

3. La zona operativa y de almacenamiento de materiales debe ser cubierta y con cerramiento físico con el fin de prevenir o mitigar los impactos sobre el área de influencia.

4. Contar con el respectivo diagrama de flujo del proceso incluida La: recepción, pesaje y registro.

5. Contar con las siguientes áreas de operación: • Recepción. • Pesaje. • Selección y clasificación. • Procesos para materiales aprovechables. • Procesos para materiales de rápida biodegradación:

6. Contar con instrumentos de pesaje debidamente calibrados de acuerdo con la normatividad vigente.

7. Contar con un sistema de ventilación y extracción adecuado, que controle la emisión de olores mediante trampas y sistemas de adsorción.

8. Contar con sistema de prevención y control de incendios.

9. Contar con sistema de drenaje para el control de las aguas lluvias y escorrentía subsuperficial y sistema de recolección tratamiento de lixiviados cuando sea del caso

10. Contar con las autorizaciones a que haya lugar.

11. Las instalaciones deben tener impermeabilización de los pisos y paredes y deben estar construidas en materiales que permitan su aseo, desinfección periódica y mantenimiento mediante lavado.

12. Cumplir con las normas de seguridad industrial.

13. Estar vinculado al servicio público de aseo como usuario, para efectos de la presentación y entrega de los residuos de rechazo con destino a disposición final. Los

residuos entregados al prestador del servicio deberán ser pesados entregando al prestador el registro de las cantidades presentadas (Ministerio de Vivienda, 2012).

Como requerimientos técnicos para el proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos, el ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, en su documento construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, Papel y cartón. Refiriéndose al compostaje propone algunos puntos a tener en cuenta para un buen proceso de compostaje desde la obtención y acondicionamiento de la materia prima, así:

- Separación en la fuente. Consiste en la segregación de los residuos sólidos en el lugar en que se producen, en esta etapa se seleccionan los materiales aptos para ser procesados y reintroducidos a los ciclos productivos económicos como materia prima de diversos procesos industriales, estos residuos deben ser separados por los generadores en: la fracciones no aprovechable: empaques o envolturas de mecatro, papel y toallas higiénicas, pañales desechables y todos aquellos materiales que han perdido su valor de uso y económico o que no se dispone de la tecnología para su aprovechamiento y la fracción de residuos aprovechables biodegradables u orgánicos (papel y cartón húmedos, restos o sobras de comidas, cascaras del pelado de frutas y hortalizas) e inertes o inorgánicos (vidrio, plástico, papel, cartón, metales o chatarra, tetrapack).

- **Recolección selectiva.** Consiste en el establecimiento de jornadas separadas para la recolección de los residuos orgánicos, inorgánicos y no aprovechables a través de las rutas que los prestadores del servicio establezcan para tal fin.

“Es indispensable que la recolección de los residuos orgánicos de cualquier tipo, se realice de manera oportuna con el fin de evitar su descomposición y generación de lixiviados, olores y evitar así la proliferación de vectores como moscas y roedores”. (MAVDT, 2008, 15)

Selección y acondicionamiento. Los residuos orgánicos, para el aprovechamiento por proceso de compostaje, deben estar libres de materiales inorgánicos o contaminantes como vidrios, plásticos, metales otros residuos peligrosos de origen industrial y domésticos como pilas, medicamentos vencidos o parcialmente consumidos, materiales contaminados con fluidos corporales humanos y/o animales. Los materiales no aptos para compostaje deben ser enviados al relleno sanitario.

Una vez en la planta de aprovechamiento o compostaje, los residuos orgánicos deben ser triturados para homogenizar su tamaño y facilitar el proceso de descomposición. La trituradora de desechos debe tener buena capacidad para procesar el volumen de producción de residuos sólidos orgánicos generados por día en el municipio.

Una vez los residuos orgánicos obtenidos a partir de separación en la fuente, recolección selectiva, seleccionados y acondicionados se disposición en hileras, pilas cónicas, cajas o composteras de tamaño variable según los volúmenes de material recuperado. Pilas cónicas con diámetro de 3,5 metros y altura de 2 metros o pilas

rectangulares de base rectangular y sección triangular o trapezoidal, su ancho no debe sobrepasar los 2 m. y la longitud debe ser proporcional al volumen diario de residuos y la capacidad locativa. Para un mayor control y trazabilidad de las pilas, estas se deben numerar colocando en fichas los datos tales como fecha de inicio del proceso, temperatura, pH y humedad (Ministerio de Vivienda, 2012).

Los residuos orgánicos deben cumplir igualmente con unas características para el aprovechamiento y es el Ras 2000, versión 2012, quien establece que, en las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los siguientes criterios básicos y requerimientos, para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima:

a. Para la reutilización y reciclaje, los residuos sólidos deben estar limpios y debidamente seleccionados por tipo de material y característica física.

b. Para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, aquella debe ser separada en fuente, no debe estar contaminada con residuos peligrosos, residuos de metales pesados u otros materiales que imposibiliten o limiten su potencial de aprovechamiento y valorización.

c. Para el compostaje y lombricultura no deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados.

d. Para la generación de energía, se deben valorar parámetros tales como composición química, poder calorífico y contenido de humedad, entre otros.

e. Con base en estudios de mercado y el potencial de comercialización, se deben definir los procesos de adecuación y transformación que van a ser llevados a cabo (Ministerio de Vivienda, 2012).

Por su parte el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, en su resolución No. 00150 de 21 enero 2003, adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia, que tiene por objeto el orientar la comercialización, el uso, el manejo adecuado y racional de los fertilizantes y acondicionadores de suelos, tanto para prevenir y minimizar daños a la salud, a la sanidad agropecuaria y al ambiente bajo las condiciones autorizadas, como para facilitar el comercio internacional y establece requisitos y procedimientos armonizados con las reglamentaciones internacionales vigentes, tanto para el registro como para el control legal y técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos; especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, etiquetado, tolerancias, contenidos mínimos permisibles y parámetros para verificación de la conformidad (ICA, 2003).

Requerimientos ambientales

Los requerimientos ambientales para el manejo y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, están basados y regulados por la normativa ambiental vigente y para el caso del manejo y tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, se refiere a los requerimientos de Licencias, permisos y autorizaciones, según los volúmenes a tratar, así:

Para el manejo y tratamiento de los residuos orgánicos se requiere la expedición de Licencia ambiental según la normativa vigente (Decreto 2041 de 15 de octubre de 2014, en su artículo 9°, numeral 12). La construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a veinte mil (20.000) toneladas / año.

Otras autorizaciones ambientales vigentes a que podría dar lugar un proyecto de aprovechamiento, sería la concesión de agua para proyecto que demanden este recurso de fuentes naturales y siempre y cuando no se surtan de acueducto municipal o veredal , acorde con el decreto compilatorio 1076 de mayo de 2015, en su artículo 2.2.3.2.9.1 y el permiso de vertimiento, según el decreto compilatorio 1076 de mayo de 2015, en su artículo 2.2.3.3.5.2 y para el caso que viertan sus aguas servidas al suelo o fuentes hídricas, para lo cual requieren además la construcción de un sistema de tratamiento de sus aguas residuales y la elaboración de un plan de contingencia para el vertimiento, según determinaciones del decreto compilatorio 1076 de 2015 en su artículo 2.2.3.3.5.4.

Otro aspecto a considerar e igualmente importante el momento de emprender un proyecto de aprovechamiento de residuos especialmente orgánicos es el uso del suelo, certificación y autorización que le corresponde otorgar a la oficina o secretaria de planeación municipal, ya que esta actividad debe localizarse en un uso permitido según el POT /PBOT o EOT, según el caso.

Impactos ambientales por el aprovechamiento de residuos orgánicos

De los residuos generados a nivel urbano, los residuos orgánicos son los que mayores impactos ambientales, sociales y económicos generan, así:

Desde el punto de vista ambiental la contaminación del aire por la emisión de gases efecto de invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el dióxido de nitrógeno (NO₂), además de la proliferación de olores ofensivos producto de la biodegradación de este tipo de residuos. La contaminación del suelo, la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas y la contaminación o afectación del paisaje por su inadecuada disposición (Henao & Márquez, 2008).

Desde el punto de vista social, porque los residuos orgánicos pueden generar la proliferación de agentes patógenos productores de enfermedades hacia la población y los mismos operadores del servicio público de aseo (Mavdt & Epam, 2008).

Desde el punto económico, el manejo, tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos es fuente de empleo e ingresos económicos, es potencial para la generación de abonos para la producción agrícola y fuente importante en la producción o generación de energía (Mavdt & Epam, 2008).

A continuación, se presenta en la Tabla 11 la identificación de los impactos en la gestión de residuos municipales según para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos.

Tabla 11 la Identificación de Impactos en la gestión de residuos orgánicos municipales.

COMPONENTE	ELEMENTO	IMPACTO	INDICADORES
Atmosférico	Calidad del aire	Alteración en la fase gaseosa	Metano (CH ₄) dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)

		Alteración en la fase sólida	Material particulado
	Ruido	Incremento de los niveles de presión sonora	Niveles de ruido
Geosférico	Suelos	Aumento de capa fértil del suelo	Volumen de suelo fértil como cobertura final
		Alteración de las características edáficas	Propiedades físicas, químicas y de fertilidad (estructura, macro y micro nutrientes del suelo, entre otros).
		Contaminación	Presencia de aceites y grasas, cemento, residuos sólidos etc.
	Geomorfología	Activación de procesos erosivos	Superficie expuesta al arrastre
		Cambio en las geoformas	Cambio en la topografía
	Calidad de aguas	Aporte de sustancias deletéreas	DBO, DQO, Sólidos suspendidos totales, conductividad, grasas y aceites, pH, turbiedad, oxígeno disuelto y temperatura.
Hidrosférico		Alteración de las características hidráulicas de la micro cuenca	Rendimientos, tiempos de concentración de caudales, características morfométricas.
Biótico	Hidráulica paisaje	Antropización en mosaico	Cuencas visuales Grado de cobertura vegetal.
		Mejoramiento de las visuales paisajísticas	Tipo de especies vegetales plantadas. Distribución espacial de las especies vegetales.
	Vegetación	Cambio de la cantidad de biomásas	Superficie de cobertura vegetal afectada
		Pérdida de especies en la composición florística	Dominancia Absoluta
		Afectación de la vegetación por disposición de material particulado	Cantidad de material sólido volátil por unidad de área.
	Fauna	Fragmentación y pérdida de micro hábitat	Conformación de relictos. Ausencia de fauna.
		Desaparición temporal de la avifauna	Ausencia de avifauna
		Creación de micro hábitat	Presencia de avifauna
	Socio económico	Social	Incomodidad
Aumento de accidentalidad			Número de accidentes registrados
Generación de expectativas			Solicitud de empleo

		Mejoramiento en el manejo de los residuos sólidos	Toneladas de residuos bien manejados
	Económico	Cambio en el uso del suelo	Direccionamiento en el uso del suelo
		Afectación de la actividad turística	Disminución de turistas
		Generación de empleo	Número de personas vinculadas al proyecto
		Demanda de bienes y servicio	Compra de materias primas y contratación de servicios para la construcción de las obras.
		Generación de rentas	Ingresos por impuestos.
		Cambio en el valor de la tierra	Variación de los precios de la tierra,

Fuente: Guía para selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos (ministerio de medio Ambiente, 2002)

Propósitos del aprovechamiento

Según el Decreto 2981 de 2013, compilado por el decreto 1077 de mayo de 2015, en su artículo 2.3.2.2.8.81 son propósitos fundamentales del aprovechamiento:

1. Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.
2. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
3. Disminuir el consumo de energía en los procesos productivos que utilizan materiales reciclados.
4. Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada.
5. Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos.
6. Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.

7. Garantizar la participación de los recicladores de oficio, en las actividades de recuperación y aprovechamiento, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida (Vivienda, 1887)

El proceso de biodegradación

El ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en su documento de construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Manual 3: orgánicos, papel y cartón, manual 3: orgánicos, papel y cartón, desarrolla el proceso de transformación de los residuos orgánicos a través de la técnica del compostaje, en diferentes fases o etapas, así:

Una vez conformadas las pilas o eras de compostaje, se procederá a su manejo, lo cual contempla las siguientes actividades como aireación, maduración y recolección del compost. Así:

- Aireación.

El compostaje es un proceso biológico a través del cual los microorganismos convierten materiales orgánicos biodegradables en compost o abono orgánico, consumiendo oxígeno para extraer la energía y nutrientes de estos. Para una transformación completa de los mismos y evitar así sectores anaerobios que generen malos olores o lixiviados se hace necesario suministrar suficiente oxígeno al proceso. Esta aireación, se puede llevar de diferentes formas:

- Volteo: Este método, se aplica al compostaje en pilas y tiene por objeto remover todo el material de pila cada dos (2) o tres (3) días, ya sea de forma

manual o mecánica buscando que el material que esté localizado al interior de la misma quede en la superficie. Esto se hace con el fin de homogeneizar la descomposición de los residuos, ya que los que están en el interior de la pila, por estar sujetos a más altas temperaturas, se descompondrán más rápidamente.

- Inyección de aire comprimido o aireación forzada. Este método se aplica a los métodos de compostaje estático en silos o las celdas. Consiste en disponer en la base de los residuos un sistema de ventilación alimentado por una bomba de aire comprimido, que inyecta el aire garantizando los procesos aerobios.

- Maduración y recolección del compost

En la etapa de maduración, la temperatura de la pila disminuye al nivel mesofílica y posteriormente a temperatura ambiente. Este período se caracteriza por la estabilización de la temperatura de la pila, la cual se presenta normalmente entre el día 17 y 21, de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar en donde se lleve a cabo el proceso de compostaje, el proceso de compostaje termina cuando:

- La temperatura se estabiliza (cerca de la temperatura ambiente).
- La humedad sea del 30% (debe formar masa al apretarlo).
- El aspecto sea de forma granulada (suelto).
- Esté libre de olores.

- Postmaduración y almacenamiento

Tamizado. Cuando el material ya esté compostado se somete a una selección física donde se elimina el material grueso que no se ha transformado, el cual se devuelve a las pilas de material en proceso.

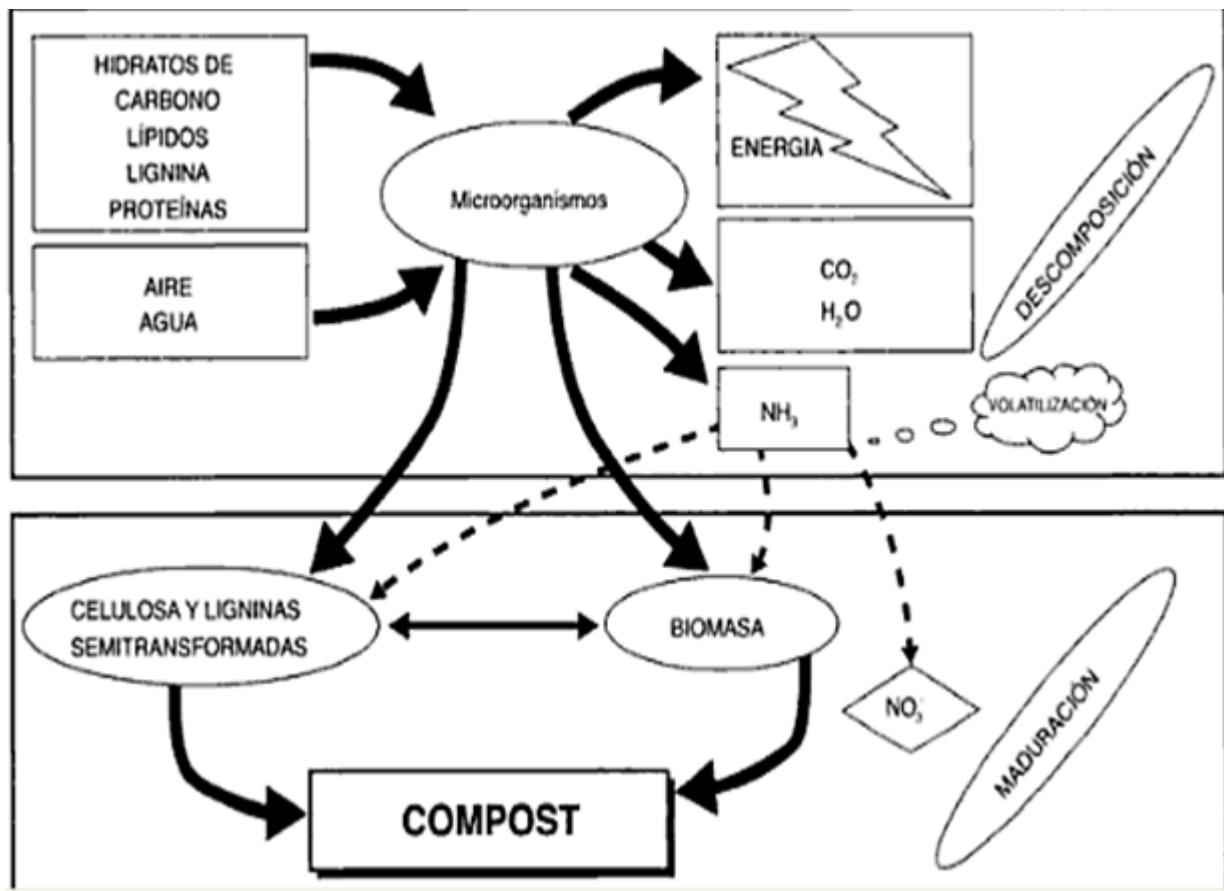
Caracterización fisicoquímica. El compost es analizado en un laboratorio para definir sus cualidades como elemento recuperador de suelos de cultivo y/o como abono orgánico., según el caso se realizan ajustes químicos y/o físicos y se dispone para el uso definido. Es importante resaltar que los análisis del abono orgánico se deben realizar en laboratorios autorizados por el ICA de tal manera que aseguren el cumplimiento de sus normas.

Una vez recogido, el compost se puede empacar en costales, y se debe almacenar al interior de las instalaciones de la planta, o bajo un invernadero cubierto con tela de plástico, donde podrá secar más antes de ser vendido o distribuido a los usuarios (Henao & Márquez, 2008).

Factores a considerar en el proceso de compostaje

El compostaje, es un proceso dinámico, biológico, aerobio y en consecuencia termófilo que para llevarse a cabo necesita materia orgánica, población microbiana inicial y las condiciones óptimas para que ésta se desarrolle con multiplicidad de funciones y actividades sinérgicas, para ello y para que la población microbiana sea lo más variada posible debe mantenerse una serie de equilibrios : aire / agua, biopolímeros y nutrientes en la mezcla inicial y dar las condiciones físicas y fisicoquímicas necesarias a la matriz que se va a someter al compostaje(Lopez Wong, 2010), este se puede sintetizar en la Ilustración 1.

Ilustración 1 Proceso del compost



Fuente. Lopez Wong, 2010

En el proceso del compostaje se diferencian cuatro (4) fases o etapas en las cuales se presentan variaciones importantes en su temperatura, humedad, pH, y en los contenidos de microorganismos, estas se describen a continuación:

- Fase Mesófila: Se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos, siendo las primeras quienes inician al proceso por su gran tamaño; estos microorganismos se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento en la temperatura desde la ambiental a más o menos 40 grados centígrados.

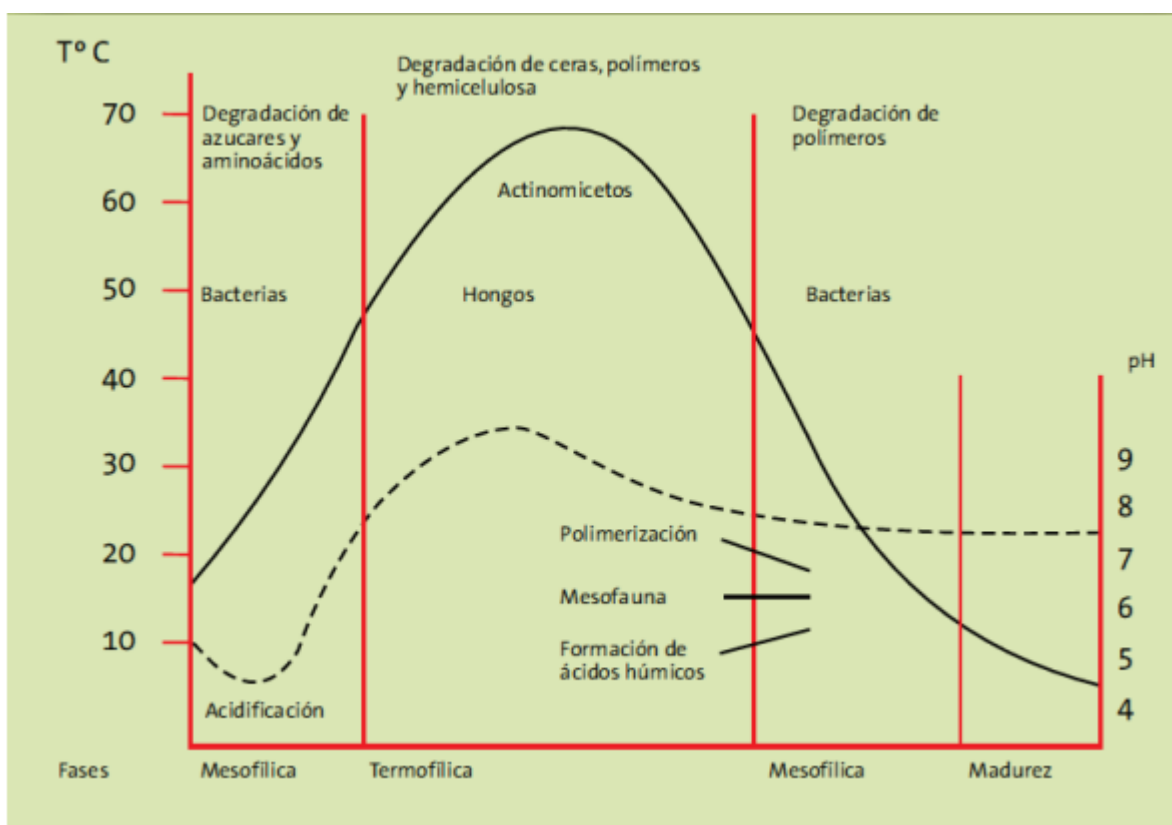
- Fase Termófila: en ésta fase la temperatura sube de 40 a 60 grados centígrados, desaparecen los organismos mesófilos, mueren las malas hierbas, e inician la degradación los microorganismos termófilos. En los seis (6) primeros días la temperatura debe llegar y mantenerse a más de 40 grados centígrados a efecto de reducción o supresión de agentes patógenos al hombre y a las plantas de cultivo. A temperaturas muy altas, como se verá más adelante, muchos microorganismos patógenos y otros importantes para el proceso mueren y otros no crecen por estar esporulados. En ésta etapa se degradan ceras, proteínas y hemicelulosa y, escasamente la lignina y la celulosa; también se desarrollan en éstas condiciones numerosas bacterias formadoras de esporas y actinomicetos.

- Fase de Enfriamiento: la temperatura disminuye desde la más alta alcanzada durante el proceso (65 -70°) hasta llegar a la del ambiente, se va consumiendo el material fácilmente degradable, desaparecen los hongos termófilos y el proceso continúa gracias a los organismos esporulados y actinomicetos. Cuando se inicia la etapa de enfriamiento, los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso realizan la degradación de la celulosa.

- Fase de Maduración: la maduración puede considerarse como complemento final de las fases que ocurren durante el proceso de fermentación disminuyendo la actividad metabólica. El producto permanece más o menos 20 días en ésta fase (Henaó & Márquez, 2008).

En la Ilustración 2 se puede observar no solo la evolución de la temperatura en un proceso de compostaje, sino también, para cada una de las fases del proceso la variación del potencial de hidrogeno (pH)

Ilustración 2 Evolución de la temperatura y el pH durante el proceso de maduración



Fuente:(Rodrigo Ilarri javier, Rodrigo clavero maria elena, 2015)

los factores más importantes que se deben controlar en este proceso son los relacionados al sustrato, como lo es relación Carbono - Nitrógeno (C / N), tamaño de las partículas, la concentración y la disponibilidad del oxígeno (O₂), la aireación, el contenido de humedad, la temperatura y el pH (Sanchez Ruiz, 2013), a continuación se explican cada una de ellas:

El Tamaño de partícula: los materiales que conforman los residuos sólidos son de forma irregular, se hace necesario homogenizar el tamaño de estas partículas mediante la trituración o molido de los materiales orgánicos antes de iniciar el proceso de fermentarlos o biodegradación. Para obtener resultados óptimos el tamaño de los residuos sólidos debería estar entre 25 y 27 mm. Un tamaño de partículas reducido, incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas durante el proceso de compostaje aerobio (Sanchez Ruiz, 2013).

La Relación carbono-nitrógeno (C / N): es uno de los factores más importantes que requieren consideración en el proceso de biodegradación de la materia orgánica. Las relaciones carbono-nitrógeno iniciales entre 25 y 35 son óptimas para el compostaje aerobio. Los microorganismos heterótrofos involucrados en el compostaje, utilizan el carbono como una fuente de energía y necesitan nitrógeno para sintetizar las proteínas. Con relaciones inferiores al rango de la relación (C / N) se emite amoníaco, debido el exceso de nitrógeno y se impide la actividad biológica, con esta relación en la mezcla inicial, se podrían causar problemas de olores ofensivos en la pila de compost. Con relaciones más altas, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante. En este caso, la tasa de descomposición disminuye y el proceso de compostaje del producto estabilizado disminuiría (Sanchez Ruiz, 2013).

Navarro, Ricardo en su Manual para hacer compostaje aerobio presenta un listado de los materiales ricos en carbono y en nitrógeno, el cual se resume en la

Tabla 12.

Tabla 12 Materiales residuales ricos en carbono y en nitrógeno

Ricos en Carbono		Ricos en Nitrógeno	
Hojas	Tela de algodón	Cáscaras de manzana	Frijoles
Acículas de pinos	Gramas seca	Cáscaras de banana	Pan
Pasto seco	Huesos	Desechos de brócoli	Desechos de Zanahorias
Heno	Plumas de aves	trozos de Pepinos Melones	Limonas, Toronjas, Piñas
Estiercol de vaca	Estiercol de oveja	Hojas de alcachofa	Cebollas Peras
aserrín	Pelos caballo y conejo	Base de espárragos	Papas
Cueros	Cenizas de madera	Filtros y desechos de café	Calabazas, Algas
Polvo del suelo	Polvo de aspiradoras	Cáscaras de huevo	Flores, Grama verde
Estiercol de caballo y conejo	Cascaras de nueces	Residuos de jardín	Residuos de jardín

Fuente: Modificado del manual para hacer compostaje aerobio. Navarro, Ricardo (Pág. 5-6)

El manual de compostaje de AMVA – ACODAL, presenta unos valores de referencia para poder hacer unas buenas mezclas antes de iniciar unos procesos de compostaje.

Tabla 13 Valores de referencia de humedad (%), carbono (%), nitrógeno (%), relación c/n en materias primas para el compostaje.

MATERIAL ORGÁNICO	COMPOSICIÓN APROXIMADA BASE SECA		RELACIÓN C/ N	% DE HUMEDAD
	% DE CARBONO	% DE NITRÓGENO		
Porcinaza	40	3,1	12,9	80
Papel periódico	40	0,1	400,0	5
Residuos de comida	34,95	1,87	18,7	69
Pulpa de café	40	2	20,0	60
restos de Frutas	56	1,4	40,0	80
Cáscara de arroz	36	0,3	120,0	14

Césped cortado	58	3,4	17,1	82
Hojas verdes	49,8	3,1	16,1	70
Hojas secas (Hojarasca)	48,6	0,9	54,0	38
Bovinaza	47,5	2,5	19,0	81
Equinaza	48	1,6	30,0	72
Estiércol de ovino	43	2,6	16,5	67,5
Gallinaza	45,5	7	6,5	68,5
Aserrín	40	0,1	400,0	10
Viruta de madera	40	0,1	400,0	5
Urea	0	46	0,0	0
Pollinaza	26	2,3	11,3	50
Material de rechazo	37,68	2,13	17,7	35

Fuente: Modificado a partir de Manual de compostaje del AMVA – ACODAL (2013) pág. 35-36

Mezcla e inoculación: el tiempo para formar un buen compost puede reducirse mediante la inoculación con residuos sólidos parcialmente descompuestos o lodos de aguas residuales, en una relación aproximadamente del 1% al 5% en peso, cuando se añaden los lodos de las plantas de tratamiento, el contenido de humedad final en la variable fundamental (Sanchez Ruiz, 2013).

Humedad: Al inicio del proceso esta debería estar entre un 50 y 60% lo cual favorece la colonización microbiana. Al final del proceso debe estar entre 25- 30%.

Un contenido óptimo de humedad en la mezcla de material a compostar es importante para facilitar la descomposición microbiana de los desechos orgánicos. Dado que el agua es esencial para la solubilización de nutrientes y el bienestar del protoplasma celular, un contenido de humedad abajo del 20% puede inhibir severamente el proceso. Un contenido demasiado alto de humedad causará un flujo de

lixiviados de la pila de compost. Además, en compostaje aeróbico, demasiada agua bloquea el paso del aire, haciendo que el proceso de compostaje se torne predominantemente anaerobio. Un contenido de humedad entre 50% y 70% (en promedio 60%) es el más adecuado para el proceso de compostaje aeróbico.

Durante la operación, el contenido de humedad puede ser controlado adicionando agua a las pilas de compost una o dos veces por día (o como el operador de compostaje crea necesario). El contenido de agua ideal es tal que al tomarlo en una mano y apretarlo, forma una masa semicompacta, es decir que está húmedo, pero que no escurre agua.

Oxígeno: aireación, asociada a reducción del tamaño de partículas, a la homogenización de los materiales y la redistribución de la población microbiana y de nutrientes. Debe estar entre el 5 y 10% O₂ y se logra mediante volteos periódicos o aireación forzada (Mavdt & Epam, 2008).

El Potencial de Hidrogeno (pH.) El pH inicial del material compostado generalmente se sitúa entre 5 y 7, este desciende hasta un valor de 5 ó menos en los primeros dos o tres días de compostación y luego empieza a aumentar de nuevo hasta alcanzar valores cercanos de 8.5 o más, manteniéndose constante mientras persistan las condiciones aeróbicas. Si el compostado se torna anaerobio, el pH desciende hasta 4.5, el valor recomendado debe oscilar entre 6 y 8. Con la medición del pH, el operador puede conocer la tendencia del proceso de compostación y estar alerta a cualquier cambio extraño (Mavdt & Epam, 2008).

El pH, en la pila de compostaje, es inicialmente ácido por formación de ácidos orgánicos, en la fase Mesófila y a la mitad de proceso hay alcalinización por pérdida de ácidos orgánicos y producción de amoníaco en la fase Termófila y finalizando con un pH neutro en la fase de maduración.

Temperatura: Para obtener mejores resultados la temperatura optima debería estar entre los 50 y 55 °C, la cual puede varía desde la temperatura ambiente hasta los 66 °C, en la fase Termófila y nuevamente a temperatura ambiente en la fase de maduración, como se observó en la gráfica anterior. Con temperaturas por encima de los 66 °C la actividad biológica se reduce significativamente (Sanchez Ruiz, 2013).

En las fases iniciales del proceso de compostaje, las bacterias predominantes son las mesofílicas (Mesófila: 10-43 °C). Posteriormente, en la fase termofílica la temperatura incrementa a temperaturas por encima de los 60°C, por lo que se debe tener cuidado de no permitir sobrepasar la pila de los 65°C. En esta fase predominan las bacterias termofílicas, las cuales conducen a los hongos termofílicos que aparecen después de 5 o 10 días (Sanchez Ruiz, 2013)

“El calor biológicamente generado dentro de la pila es importante por dos razones: Maximiza la velocidad de descomposición y Produce un material microbiológicamente seguro para su uso” (Vivienda, 1887).

En fase mesofílicas (temperaturas de 25°C a 40°C) se inicia la descomposición, pero luego de las etapas ácidas de la descomposición la temperatura se eleva de 35°C a unos 65°C. La biodegradación se lleva a cabo a una temperatura promedio de 60°C a

70°C. La temperatura se constituye en uno de los mejores indicadores del grado de estabilización del compost.

Los rangos aceptables y óptimos en los cuales se puede desarrollar el proceso de compostaje, se relacionan en la Tabla 14 (Jaramillo y Zapata 2008).

Tabla 14 Condiciones ideales para el compost

CONDICIÓN	RANGOS	
	ACEPTABLES	ÓPTIMOS
Relación C: N	20 - 1 a 40: 1	25 - 1 a 30: 1
Contenido de Humedad	50 a 60%	41 a 65%
Concentración de oxígeno	Mayor a 5	8
Potencial de Hidrogeno (pH)	5.5 a 9.0	6.5 a 8.0
Temperatura	65 a 70 °C	56 a 75 °C
Tamaño de partículas(cm)	0.5 a 1.0	Variable

Fuente: Tomado de Soto, Gabriela, citada por Jaramillo Zapata 2008, pág.44

La temperatura se convierte en un factor preponderante en el proceso de biodegradación, puesto que a través de este mecanismo se eliminan o inactivan ciertos microorganismos patógenos, como se observa en la Tabla 15

Tabla 15 Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de patógenos.

Organismos	Temperaturas y tiempo de exposición
Salmonella typhosa	Sin crecimiento por encima de 46°C, muerte dentro de 20 min a 60°C y 30 – min a 55 °C, destruida en poco tiempo en el compostaje
Salmonella spp.	Muerte dentro de una hora a 55°C, y dentro de 15 - min a 60°C

Shigella sp.	Muerte dentro de una hora a 55°C.
Escherichia coli	la mayoría mueren dentro de una hora a 55°C y dentro de 15 - 20 min a 60°C
Entamoeba histolytica	Muerte dentro de pocos minutos a 45°C y dentro de pocos segundos a 55°C.
Taenia saginata	Muerte en pocos minutos a 55°C.
Trichinellas spiralis larva	Muerte rápidamente a 55°C e instantánea a 60°C.
Brucella abortus o Br. suis	Muerte dentro de 3 minutos a 62°C y una hora a 55°C.
Micrococcus pyogenes var aureus	Muerte en 10 minutos a 50°C.
Streptococcus pyogenes	Muerte en 10 min a 54°C.
Mycobacterium diphtheriae var hominis	Muerte dentro de 15 - 20 min a 66°C o después de calentamiento momentáneo a 67°C.
Corynebacterium diphtheriae	Muerte dentro de 45 min a 55°C.
Necator americanus	Muerte dentro de 50 min a 45°C.
Ascaris lumbricoides Huevos	Muerte en menos de una hora a temperaturas por encima de 50°C.

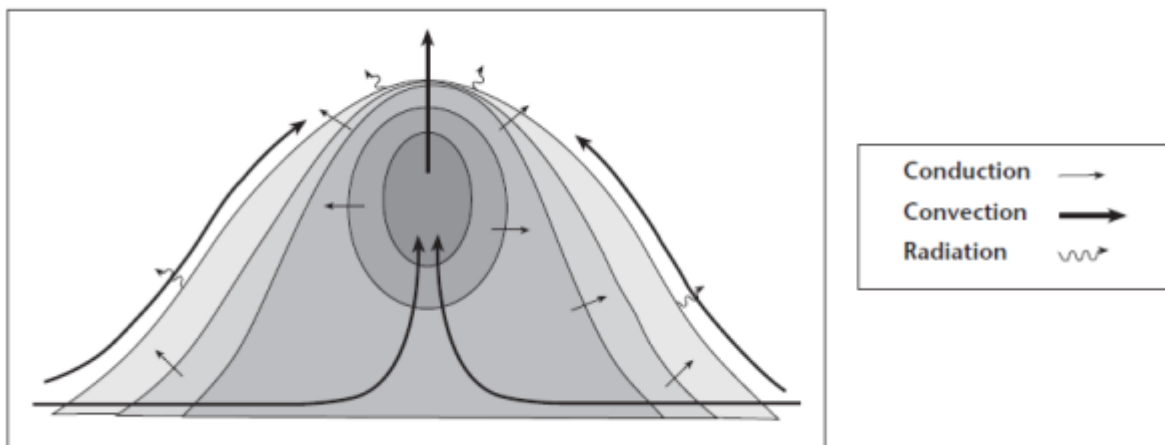
Fuente: Tomado de Temperatura y tiempo de exposición necesario para la destrucción de patógenos, en memorias del curso - taller: vivencial de compostaje y lombricultura aplicado residuos biodegradables urbanos y agroindustriales, octubre de 2014. ITM, Medellín

La temperatura en cualquier punto de la pila de compostaje, depende de qué cantidad de calor está siendo producida por los microorganismos, equilibrado con diferentes mecanismos de pérdida de calor, semejantes a lo que ocurre en cualquier cuerpo, como se muestra en la

Ilustración 3

Ilustración 3 Mecanismos de pérdida de calor en una pila de compost

Figure 1-5. Three Mechanisms of Heat Loss from a Thermophilic Compost Pile.



Tomado de memorias del curso - taller: vivencial de compostaje y lombricultura aplicado residuos biodegradables urbanos y agroindustriales, octubre de 2014. ITM, Medellín

RADIACION: Se refiere a la pérdida de calor en forma de rayos infrarrojos, que son ondas electromagnéticas. Es decir, existe un intercambio de energía electromagnética entre el cuerpo y el medioambiente u objetos más fríos y situados a distancia. La cantidad de radiación emitida varía en relación al gradiente que se establece entre el cuerpo y el medio ambiente. Del mismo modo, el calor generado en una pila de compost se irradia hacia el aire circundante.

CONVECCION: Es la transferencia de calor desde un cuerpo hasta las partículas de aire o agua que entran en contacto con él. Estas partículas se calientan al entrar en contacto con la superficie del cuerpo y posteriormente, cuando la abandonan, su lugar es ocupado por otras más frías que a su vez son calentadas y así sucesivamente. “Cuando el compost se calienta, el aire caliente se eleva dentro del sistema, y las corrientes convectiva resultantes causan una lenta pero constante circulación de aire caliente hacia arriba, a través del compost y hacia fuera, por la parte superior”

CONDUCCION: Es la pérdida de pequeñas cantidades de calor de un cuerpo al entrar en contacto directo con la superficie de otros objetos más fríos. Por ejemplo: Cuando una persona desnuda se sienta por primera vez en una silla se produce inmediatamente una rápida conducción de calor desde el cuerpo a la silla, pero a los pocos minutos la temperatura de la silla se ha elevado hasta ser casi igual a la temperatura del cuerpo, con lo cual deja de absorber calor y se convierte a su vez en un aislante que evita la pérdida ulterior de calor a la del aire.

EVAPORACION: Es la pérdida de calor por evaporación de agua, en lo dicho anteriormente sobre la radiación, convección y conducción observamos que mientras la temperatura de un cuerpo es mayor que la que tiene el medio vecino, se produce pérdida de calor por estos mecanismos. Pero cuando la temperatura del medio es mayor que la de la superficie del cuerpo, en lugar de perder calor el cuerpo lo gana por radiación, convección y conducción procedente del medio vecino. En tales circunstancias, el único medio por el cual el cuerpo puede perder calor es la evaporación (ACODAL, 2013).

Digestión anaeróbica de la materia orgánica

Para el caso de la digestión o biodegradación anaerobia (sin oxígeno) de la materia orgánica, proceso a través del cual se genera gas metano (CH_4) o biogás, se podría resumir este proceso en las siguientes fases o etapas, según Moreno, Corona y Mora, así:

I.- Degradación aerobia. El oxígeno retenido en los residuos recién depositados se consume rápidamente, produciéndose un sustrato degradado y dióxido de carbono (CO_2) a partir de la materia orgánica fácilmente degradable.

II.- Las Bacterias fermentativas y ácido génicas producen, bajo condiciones de anoxia, ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono (CO_2) e hidrógeno (H).

III.- Segunda fase anaerobia, en la que actúan las bacterias metano génicas produciendo gas metano (CH_4), El Dióxido de Carbono (CO_2) e Hidrógeno disminuyen en proporción relativa.

IV.- Se estabiliza la metano génesis. El dióxido de carbono (CO_2) es reducido en parte a metano (CH_4).

La biodigestión se lleva a cabo en tres rangos distintos de temperatura; en cada uno actúan diferentes tipos de poblaciones de bacterias. Las bacterias psicrófilas trabajan en un rango de 5 a 15°C, las mesófilas trabajan en un rango de 25 a 45°C y las termófilas trabajan en un rango de 55 a 70°C.

La digestión mesofílica tiende a ser más robusta y tolerante que la termofílica, pero la producción de gas es menor; además, la digestión termofílica se lleva a cabo en menos tiempo y generalmente ofrece una mayor producción de metano (CH_4). Sin

embargo, la condición de temperatura apta para el crecimiento natural de una población bacteriana está regida por el clima de la localidad (Juárez, Moreno, & Hernández, 2008).

Presencia y coexistencia de los microorganismos en el compostaje

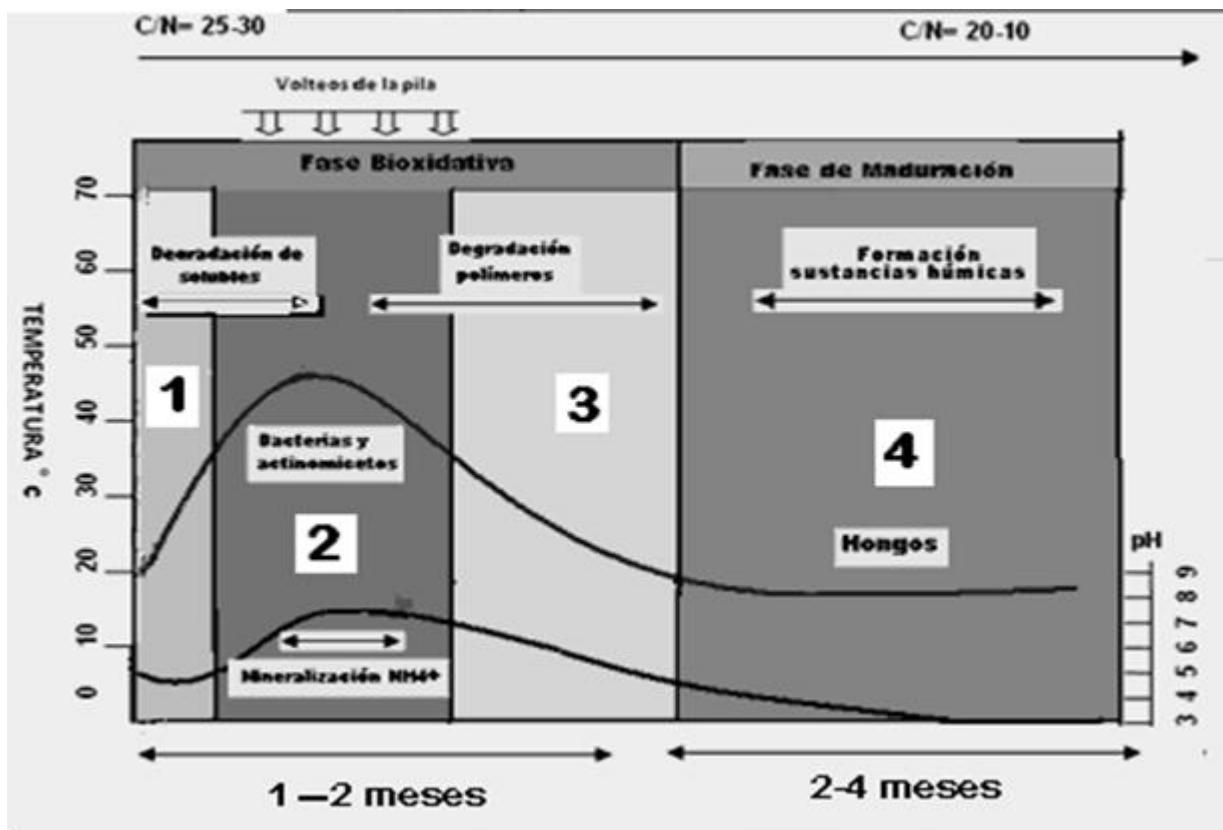
En el compostaje existen diferentes tipos de bacterias. Cada tipo crece bajo condiciones especiales y con diferente material orgánico. Existen bacterias psicrófilas que pueden degradar materia orgánica aun a bajas temperaturas, pero al degradar el material generan suficiente calor para el crecimiento del siguiente tipo de bacterias que son las mesófilas que prosperan en un rango de temperatura medio, entre los 20°C a los 35°C, su actividad eleva la temperatura hasta los 45°C lo que propicia que se desarrollen las bacterias termófilas, que son las que prefieren el calor y elevan la temperatura del compost hasta 75°C, y las que degradan la mayor parte del material a compostar y una vez que baja su actividad la composta reduce su temperatura.

Además de las bacterias en el proceso de compostaje proliferan gran cantidad de organismos, muchos de los cuales se alimentan de ellas. Estos organismos incluyen a los actinomicetos, hongos, protozoarios, nematodos, tijeretas, cochinillas, mil pies, etcétera, todos ellos ayudan en la fragmentación y descomposición de la materia orgánica (De la Cruz Rodríguez, 2005).

En la

Ilustración 4 se muestra la Interacción de los factores ambientales en el desarrollo de la población microbiana durante el compostaje.

Ilustración 4 Sucesión microbiana y ambiental durante el proceso de compostaje



Fuente: (Lopez Wong, 2010)

Técnicas de aprovechamiento de los residuos orgánicos

Técnica del compostaje

Existen diferentes técnicas de compostaje desde las más sencillas como la biodegradación natural que sufren todos los organismos vivos, pasando por los sistemas convencionales de biodegradación de subproductos de cosecha, de actividades agropecuarias e industriales hasta otras tecnologías más evolucionadas

con aireaciones mecánicas y aireación forzada, hasta la incorporación de microorganismos que aceleran el proceso. Veremos aquí algunos de estos sistemas.

Sistemas anaerobios

Los sistemas anaerobios de compostaje se presentan cuando no se le incorpora aire al sistema de biodegradación y se genera en este proceso gas metano (CH_4), por lo que se hace necesario evitar todo equipo que genere chispa para evitar un riesgo de explosión. Este tipo de sistema presenta grandes afectaciones ambientales principalmente contaminación por la generación de olores ofensivos, lixiviados y proliferación de roedores e insectos vectores de enfermedades como moscos y zancudos. Las pilas suelen disponerse en hileras, con forma trapezoidal o cónica (Ministerio de Vivienda, 2012).

En la medida en que el material sea triturado y transportado hasta la sección de compostaje, este material se dispondrá en pilas, cuya forma y dimensiones dependerán de la cantidad de residuos diarios a compostar, así:

- Pilas cónicas. Son aplicadas para cantidades pequeñas de residuos orgánicos, se conforman manualmente, con diámetro de 3,5 metros y altura de 2 metros. El área de cada pila, incluida el área de manejo del material, será en este caso de 33,4 m². Dependiendo entonces del volumen de residuos a tratar, se construirán tantas pilas como sea necesario.
- Pilas rectangulares. Presentan base rectangular y sección triangular o trapezoidal. El ancho de las pilas no debe sobrepasar los 2 m. su altura de 1.5 m en

término medio y la longitud debe ser proporcional al volumen diario de residuos (MAVDT & EPAM, 2008).

Algunos tipos de composteras de la región del Oriente antioqueño, se pueden observar en la Ilustración 5.

Ilustración 5 composteras del oriente antioqueño



fuentes propia

Pilas estáticas

En estos sistemas la fase inicial de fermentación se realiza en reactores o contenedores que pueden ser horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se hace al aire libre o en naves abiertas. Son sistemas de compostaje cerrados en los cuales los residuos orgánicos separados desde la fuente de generación y recogidos selectivamente se les hacen una limpieza eliminando sus contaminantes (residuos inorgánicos) y una trituración a fin de homogenizar el tamaño de sus partículas, se dispone en cajas de madera, madera plásticas o en mampostería de dimensiones variables que oscilan entre 1.0 x 1.0 m y 2.0 m de altura, hasta 6 x 6 y 2.0 m de altura (Lopez Wong, 2010).

Son sistemas de compostaje cerrados en los cuales los residuos orgánicos separados desde la fuente de generación y recogidos selectivamente se les hacen una limpieza eliminando sus contaminantes (residuos inorgánicos) y una trituración a fin de homogenizar el tamaño de sus partículas, se dispone en cajas de madera, maderas plásticas o en mampostería de dimensiones variables que oscilan entre 1.0 x 1.0 m y 2.0 m de altura, hasta 6 x 6 y 2.0 m de altura

En la

Ilustración 6 se observan algunas formas de confinamiento de composteras y materiales empleados para ello desde malla eslabonada, madera, plástico y mampostería, donde los volteos son mínimos y la optimización del espacio máximo.

Ilustración 6 Diferentes prototipos de composteras confinadas o cerradas

Foto 2. Diferentes prototipos de composteras confinadas o cerradas



Compostera en malla eslabonada



Compostera en Guadua



Compostera en caja plástica



Compostera en madera

Tomado de <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+composteras>

Como puede observarse en las fotos en estos sistemas la transferencia de calor como se explicó antes se hace de forma natural por conducción, convección, evaporación y Radiación.

Comercialmente se ofrecen en el mercado, como el caso de la empresa “REPRESENTACIONES GIRASOL”, un Sistema de Compostaje en madera plástica con piso – SISCRO, fabricada con envases con triple lavado que contuvieron plaguicidas. Corresponde a una estructura elaborada con madera plástica con perfil plano de 4,1 x 4,1 cm., con paredes de vareta de 9 x 1,5 cm., contiene 3 compuertas frontales para fácil extracción e ingreso de material, piso en vareta de 9cm x 1,5cm.

Con medidas externas de: Altura 1.7 m, Largo 1,20 m y Ancho 1.45 m. y un peso aproximado de 360 Kg.

Ilustración 7 Sistemas Anaerobios de compostaje – SAC



Foto de los autores: Sistemas Anaerobios de compostaje – SAC. Planta de biodegradación Guarne – Antioquia.

El Sistema anaerobio de compostaje para el tratamiento de 20 Ton/mes presenta los siguientes requerimientos costos a marzo de 2016.

- 10 Sistema de compostajes SISCRO con capacidad de 2000 kg c/u por valor total de \$ 16.097.561
- Invernadero de 200 m en guadua y plástico de invernadero, piso en tierra por valor de \$ 4.640.000
- 8 Maduradores de 2 m2 de fondo * 1,50 alto * 1,20 m ancho en madera plástica la estructura y en malla para cerramiento por valor de \$ 6.960.000, los maduradores también se pueden fabricar en madera convencional.

En el proceso de compostación se hace necesario la adquisición y aplicación de aditivos que además de acelerar el proceso de biodegradación y reducir los tiempos en

el proceso, impide la proliferación de insectos vectores, olores ofensivos y la generación de lixiviados. Igualmente se hace necesario la medición y control de la temperatura, la humedad y el pH.

Tabla 16 Cotización de la empresa Representaciones Girasol marzo de 2016

Capacidad (ton / mes)	Cant. De cisco	Vr. Por cisco (a)	Área invernadero(m ²)	Costo invernadero(b)	Cant. De maduradores	Vr. Por madurador (c)	Vr. Total (a+b+c)	Valor (a +b)
20	10	14.634.146	200	4.000.000	8	6.560.000	25.194.146	18.634.146

Fuente: Cotización de la empresa Representaciones Girasol marzo de 2016.

También encontramos en el mercado local ofrecimientos comerciales, como el caso de la empresa AERTHGREEN, uno sistemas autónomos de compostaje – SAC. Este tipo de tecnología se emplea como soluciones individuales y para complejos residenciales con diferentes capacidades o volúmenes a manejar desde 100 Kilogramos hasta cajas con capacidad de 2750 kilos, estos sistemas garantizan:

- Compost útil para jardines y zonas verdes.
- Tiempos de obtención y estabilización del compost de 30 a 40 días.
- No requiere volteos, ni inyección de aire.
- No hay consumos de energía ni adición de enzimas.
- Sin olores, lixiviados ni moscas.
- El sistema de compostaje puede estar a 5 – 10 metros de cualquier actividad.
- El área de proceso requiere poco espacio, unos 24 m².

- -Material de construcción 100% reciclado (Polipropileno)

En la Ilustración 8 se observa algunos de los prototipos ofrecidos comercialmente en el mercado local y según las necesidades de los usuarios, con posibilidades de armar módulos para cubrir mayores volúmenes a tratar.

Ilustración 8 Sistemas comerciales de compostaje cerrado anaerobio



Fuente: Exporesiduos. Medellín. Junio 3 – 6 de 2015

Comercialmente en la empresa de composteras modulares KONTROLGRUM, se promueve y comercializan procesos de compostaje a pequeña y gran escala por el sistema de pilas estáticas con tecnología de aireación forzada, medición y control de concentraciones de oxígeno, humedad, temperatura y pH.

KONTROLGRUN, ofrece comercialmente soluciones para el tratamiento y biodegradación de residuos orgánicos urbanos desde 466 litros de capacidad, hasta sistemas de 4800 litros en cajas estacionarias en plástico modulares en polipropileno de acuerdo a los requerimientos de material a procesar.

Para tener una idea de los costos de los sistemas de compostaje modular con capacidades de 380 a 4800 litros, con dimensiones desde 0.72 de largo, 0.72m de ancho y 82.6 cm de altura y con capacidades en peso de 228 hasta 2800 kilogramos de residuos orgánicos, se presenta a precios de marzo de 2015, los ofrecimientos de esta empresa.

Tabla 17 Costos de los sistemas modulares comercializados por la empresa KONTROLGRUN.

DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD	PRECIO
	KILOGRAMOS	
Compostera modular 380 - 400	228	380.000
Compostera modular 800	480	750.000
Compostera modular 1200	720	1.000.000
Compostera modular 1600	960	1.250.000
Compostera modular 2400	1.440	1.800.000
Compostera modular 3200	1.920	2.400.000
Compostera modular 4000	2.400	3.000.000
Compostera modular 4800	2.880	3.600.000
Compostera EARTHMAKER 466		820.000

Fuente: Modificado de Cotización (marzo de 2016) y Portafolio Kontrolgrun

Sistemas aerobios

también conocidos como sistemas abiertos, es el sistema tradicional de compostaje, los residuos orgánicos a compostar se disponen en montones o pilas generalmente de forma triangular, con una altura recomendada menor de 2.7 m. y longitud variada dependiendo del volumen de material a tratar. El tamaño y la forma de

las pilas se diseñan para permitir la circulación del aire a lo largo de la pila, manteniendo las temperaturas en el rango apropiado. Si las pilas son demasiado grandes, el oxígeno no puede penetrar en el centro, mientras que si son demasiado pequeñas no se calentarán adecuadamente.

La aireación de la masa fermentable puede hacerse por volteos manuales o volteo mecánico de la pila o mediante ventilación forzada, dependiendo de los volúmenes a tratar. La frecuencia de los volteos depende del tipo de materiales a compostar, de la humedad y de la rapidez con la que se desea que se realice el proceso; para establecer esta frecuencia es preciso controlar la temperatura de la pila o bien fijarse si se desprenden olores ofensivos (Lopez Wong, 2010).

En

la

Ilustración 9 se observan se presenta el sistema adoptado en la planta de biodegradación del municipio de Granada – Antioquia, con paredes en madera tratada de dimensiones aproximadas de 2,5 m x 2,5m y una altura de 1,0 m, para un volumen total inicial de 6,25 m³, unas cuatro (4) toneladas por celda aproximadamente, igualmente se observa el sistema de aireación forzada en la base de la compostera.

Ilustración 9 sistema de compostaje con aireación forzada en Granda Antioquia



Fuente propia

Los volteos sirven para homogeneizar la mezcla y su temperatura, a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación. Después de cada volteo, la temperatura desciende del orden de 5 ó 10 °C, subiendo de nuevo en caso que el proceso no haya terminado. Se ha usado con éxito para el compostaje de estiércol, residuos vegetales, lodos y residuos sólidos urbanos. El proceso logra buenos resultados de una amplia variedad de residuos orgánicos y funciona satisfactoriamente mientras se mantienen las condiciones aerobias y el contenido de humedad. Actualmente se tiende a realizarlo en naves cubiertas, sin paredes, para reutilizar el agua de los lixiviados y de lluvia para controlar la humedad de la pila. La duración del proceso es de unos dos o tres meses.

En los sistemas de compostaje cerrados, la mayoría de los métodos emplea aireación forzada y algunos mecanismos de agitación. El entorno que rodea al

compostaje está controlado. Los ejemplos de reactores incluyen contenedores de acero aireados, tubos amplios de polietileno, reactores cilíndricos o rectangulares orientados verticalmente y varias configuraciones de depósitos cerrados. Son sistemas desarrollados para reducir considerablemente las superficies de compostaje y lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y controlar los olores de forma más adecuada. Aunque estos sistemas requieren costos de instalación superiores a los anteriores, presentan la ventaja de ser más rápidos y por tanto requerir menos espacio, la ventaja de éste método es que se pueden planificar cómo va a ocurrir el proceso, aunque siempre es deseable hacerlo al margen de la temperatura termófila para la eliminación de patógenos y por la aceleración del proceso a esas temperaturas (Lopez Wong, 2010).

En el documento del ministerio de ambiente y vivienda y desarrollo territorial – FONAM, se presenta un balance típico de masas para el proceso del compostaje con base en una (1) tonelada de residuos orgánicos. Donde se encontraron los siguientes resultados: Eliminación de material contaminante 0.03 toneladas. Ingresando al proceso de compostación 0.97 toneladas que generaron 0.68 toneladas de compost a madurar y tamizar con una pérdida de 0.01 toneladas de rechazo y produciendo finalmente 0.67 toneladas de compost a comercializar (Mavdt & Epam, 2008).

Para el caso de compostaje aerobio en cajas estacionarias y aireación forzada, encontramos en el mercado local una tecnología ofrecida por la empresa AERTHGREEN, consistente en cajas estacionarias de dimensiones variadas (2.0 a 6.0 m x 3.0 a 6.0 m) que manejan en confinamiento pilas hasta de 2 metros de altura y volúmenes desde 9 a 54 metros cúbicos. Son sistemas (cajas) construidos en láminas

de polipropileno con sistemas internos de conducción de aire. Estas cajas se arman sobre superficie duras donde con anterioridad se construye una red a manera de espina de pescado para la conducción desde el piso de aire inyectado a presión a las pilas una vez conformadas.

Comercialmente EARTHGREEN COLOMBIA SAS , viene promoviendo la separación y aprovechamiento de residuos orgánicos en el sitio de generación a través de Centros de Compostaje de los residuos orgánicos urbanos biodegradables (ROUB) y agroindustriales, de origen alimenticio, de cosecha (flores, papa, tomate, mora), excrementos de animales, porcinos, caprinos, vacunos, equinos, aves de corral, caninos, felinos lodos y grasas de sistemas de tratamiento de aguas residuales, para proyectos de pequeña, mediana y gran escala (desde 1kgr/día, hasta 20 ton/día), con la aplicación de procesos de compostaje patentado o su combinación (PATENTE: Resolución 57484 de la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia, como SISTEMA EARTHGREEN SAC - SISTEMA AUTÓNOMO DE COMPOSTAJE).

Según la casa comercial con los sistemas EARTHGREEN SAC, se han obtenido resultados muy competitivos desde el punto de vista técnico, ambiental, social y económico. Con sistemas operando en urbanizaciones, restaurantes, centros educativos, municipios, plazas de mercado, centros recreativos, fincas, centros pecuarios, agroindustria y hoteles, entre otros.

Los sistemas de compostaje EARTHGREEN SAC, son comercializados como la solución pertinente, funcional y útil, para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, que pueden ser transformados para producir compost o abono orgánico de alta calidad,

para cultivos industriales, jardines y huertos, presentando beneficios sanitarios y ambientales, con la eliminación de lixiviados y gas metano, olores agresivos, moscas, efectos todos que se concentran en los rellenos sanitarios.

Un sistema autónomo de compostaje EARTHGREEN para 20 toneladas de residuos orgánicos por mes - SAC- 4500, se ofrece como pila mixta de 6 x 2m cada módulo, donde se combina la aireación forzada optimizada (de fondo y lateral) con la ventilación convectiva, para hacer más eficiente la oxigenación del sistema y el consumo de energía, por medio de un desarrollo del panel modular, que permite lograr menores tiempos de estabilización en el compostaje (30 días) y disminución de costos operacionales (ahorros del 25-30%) en consumo energético.

La pila mixta con módulos de 6 x2 m tiene las siguientes especificaciones: Altura de paneles de 1.0 m, para una altura total de la pila de 2.0 m. El sistema está construido en polietileno y polipropileno de 6 x 2 m, con paneles de doble pared en polietileno, espesor de 4 mm, de 0,5 m x 1,0 m y parales en polietileno, espesor de 4 mm, de 0,12 x 0,12 x 1,0 m de altura. La red de tubería instalada para la aireación forzada debe ir incrustada en piso, para evitar daños en la operación. El área total del sistema es de 16.3 m² con una capacidad de 22.3 m³, para un equivalente de 11 ton de residuos orgánicos a procesar.

La sala de compostaje: instalaciones físicas del Centro de Compostaje, cubierto, con piso losa concreto o mortero reforzado para tránsito semi - pesado (20-30 ton) o en afirmado nivelado, techo y protección lateral con cortinas en material sintético,

enrollable, para proteger de lluvias laterales. Energía monofásica, capacidad instalada para 2,0 a 10 KW.

VENTAJAS DE LOS SISTEMA DE COMPOSTAJE EARTHGREEN SAC.

- No hay olores, lixiviados o moscas
- No se requiere volteos
- No se requiere adición de enzimas o químicos
- Ahorros en la operación del soplador del 30% en consumo de energía
- El Centro de Compostaje y Producción de Abonos Orgánicos, puede estar localizados a 50 metros de residencias, sin generar molestias o rechazos de parte de comunidades vecinas.
- La operación, control y mantenimiento, se hace con base en parámetros sistematizables y de comprensión para el personal previamente capacitado y entrenado.
- Proceso de corta duración: 30 días
- El compost obtenido es un excelente mejorador de suelos, muy útil para sus cultivos, jardines, huertos y zonas verdes
- Por cada tonelada de residuos orgánicos, se obtienen, 0,4 - 0,45 toneladas de compost.

En la ilustración 15 se presentan, se observan las características de esta tecnología.

Ilustración 10 características de la tecnología EARTHGREEN



Fuente: Fotos propias tomadas en Expo residuos. Medellín. Junio 3 – 6 de 2015

El costo de un sistema para tratar 20 toneladas por mes a marzo de 2016, se muestra en la tabla 19.

Tabla 18 Costos para el establecimiento de un sistema modular de aireación forzada comercial

CENTRO DE COMPOSTAJE PLANTA PROCESAMIENTO DE 20 TON/MES				
OBJETO: SUMINISTRO, INSTALACIÓN PUESTA EN MARCHA Y ENTREGA A SATISFACCIÓN DE SISTEMA DE COMPOSTAJE POR AIREACIÓN FORZADA CON CAPACIDAD PARA TRATAR 20 TON/MES				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VR. TOTAL

1	ACOMETIDA ELÉCTRICA: CONTADOR- TABLERO PRINCIPAL. Incluye tubería, tiras de amarre, cableado, mano de obra	Unidad	1	258.000
2	TABLERO PRINCIPAL PARA CONTROL SOPLADORES. Incluye Tablero, brake principal, contactores, temporizadores, pulsadores on-off, regletas, cableado interno, mano de obra	Unidad	1	1.572.000
3	ALIMENTACIÓN TABLERO PPAL- SOPLADORES. Incluye tubería, cable, cajas metálicas, tubería coraza, conectores, base polipropileno, mano de obra	Unidad	1	775.200
4	SOPLADORES CON SU CAJA DE PROTECCIÓN	Unidad	1	1.464.000
5	señalización	Unidad	1	1.440.000
6	COSTO SISTEMA DE COMPOSTAJE PARA 2 PILAS DE 6X2 MÓDULOS, CON CAPACIDAD TOTAL PROYECTADA EN SALA COMPOSTAJE 20 TON/MES. TUBERÍA DE VENTILACIÓN E INSTALACIÓN TRANSPORTES MATERIALES Y PERSONAL, ALIMENTACIÓN DE PERSONAL DE INSTALACIÓN DE PILAS MIXTAS, INSTALACIONES ELECTRICAS, DIRECCIÓN, ACOMPAÑAMIENTO	Unidad	2	17.156.226
	SUBTOTAL			22.665.426
	AU (15%)			3.399.814
	IVA (16% AU)			543.970
	TOTAL			26.609.210

Fuente: cotización EARTHGREEN COLOMBIA. FRO DE 2016

Como puede observarse existen en el mercado diferentes alternativas tecnológicas comerciales acondicionadas para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos, las cuales manejan diferentes volúmenes de residuos según las necesidades de los usuarios y que se constituyen en una opción más para dejar de disponer residuos orgánicos con capacidad de ser valorizados a través de técnicas como el compostaje para la obtención de abonos orgánicos de calidad para la recuperación de zonas degradadas por proceso erosivos naturales o antrópicos y para

el mantenimiento de zonas verdes y procesos de reforestación y protección de cuencas hidrográficas.

En la Tabla 19 se presenta los niveles aceptables y óptimos de los factores físicos y químicos para el compostaje.

Tabla 19 niveles aceptables y óptimos de los factores físicos y químicos para el compostaje

FACTOR CONSIDERADO	INTERVALO ACEPTABLE	VALOR OPTIMO
Composición inicial de la mezcla % C/N	25 a 35 : 1	30:1
Potencial de Hidrogeno en la mezcla inicial (pH)	5,5 a 8,0	7,0
Contenido de humedad de la mezcla durante el compostaje (%)	40 a 60	60
Contenido de Oxígeno dentro de la camara de compostaje (%)	5 a 15	Minimo 10
Temperatura en la etapa termófila (°C)	55 a 65	60
Tamaño de partículas de los materiales (cm)	1 a 5	1 -2

Fuente: Manual de compostaje del AMVA – ACODAL (2013), pág. 38

La Comisión Reguladora de Agua potable –CRA, en su Reglamento técnico sector agua potable y saneamiento básico RAS, establece los requisitos de calidad del compost, los mismos que se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20 requisitos de calidad del compost

PARÁMETRO	VALOR DE REFERENCIA	
	Categoría A	Categoría B
Parámetros físicos y químicos	Categoría A	Categoría B
Contenido de humedad (%)	≤ 20,0	≤ 25
Contenido de cenizas (%)	< 60,0	
Contenido de carbono orgánico oxidante total (%)	>15,0	
Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)	>30,0	>20

Capacidad de retención de humedad (%)	>100,0	>100
pH (Unidades)	4,0 < pH <9,0	
Densidad real (g/cm ³ Base Seca)	<0.6	
N total, P ₂ O ₅ Y K ₂ O /%	Declararlos si cada uno es > 1,0%	
Metales pesados (mg/Kg Base Seca)	USO AGRICOLA	
Arsénico (As)	15	75
Cadmio (Cd)	0,7	85
Cobre (Cu)	70	4.300,00
Cromo (Cr)	70	3.000,00
Mercurio (Hg)	0,4	57
Níquel (Ni)	25	420
Plomo (Pb)	45	840
Selenio (Se)	15	100
Zinc (Zn)	200	7.500,00
Parámetros microbiológicos	Categoría A	Categoría B
Salmonella sp.	Ausente en 25 gramos de muestra de producto final (En Base Seca)	< 1,00 E(+3) UFC/g (En base Seca)
Entero bacterias totales	< 1,00 E(+3) NMP/g de producto final (En base Seca)	
Huevo de helmintos	< 1 Huevo de Helminto Viable/4g de muestra de producto final (En base Seca)	
Coliformes Fecales		< 2,00 E(+6) UFC/g (En base Seca)
Contenido de materiales inertes para las dos categorías	Tamaño de partículas	Valor de referencia (% en peso base seca)
Plástico, metal, caucho	Tamaño >2,0 mm	<0,20
Vidrio	2,0 mm < tamaño < 16,0 mm	<0,02
	Tamaño ≥ 16,0 mm	Ausente
Piedras	Tamaño > 5,0 mm	< 2,00

Fuente CRA. Reglamento técnico sector agua potable y saneamiento básico RAS. Sección II. Título F. Capítulo 6. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial. Documento de actualización. Bogotá 2008.

Como se puede observar la Tabla 20 se establecen dos (2) categorías de valores de referencia (A y B), las cuales determinan el uso que se le puede dar a este

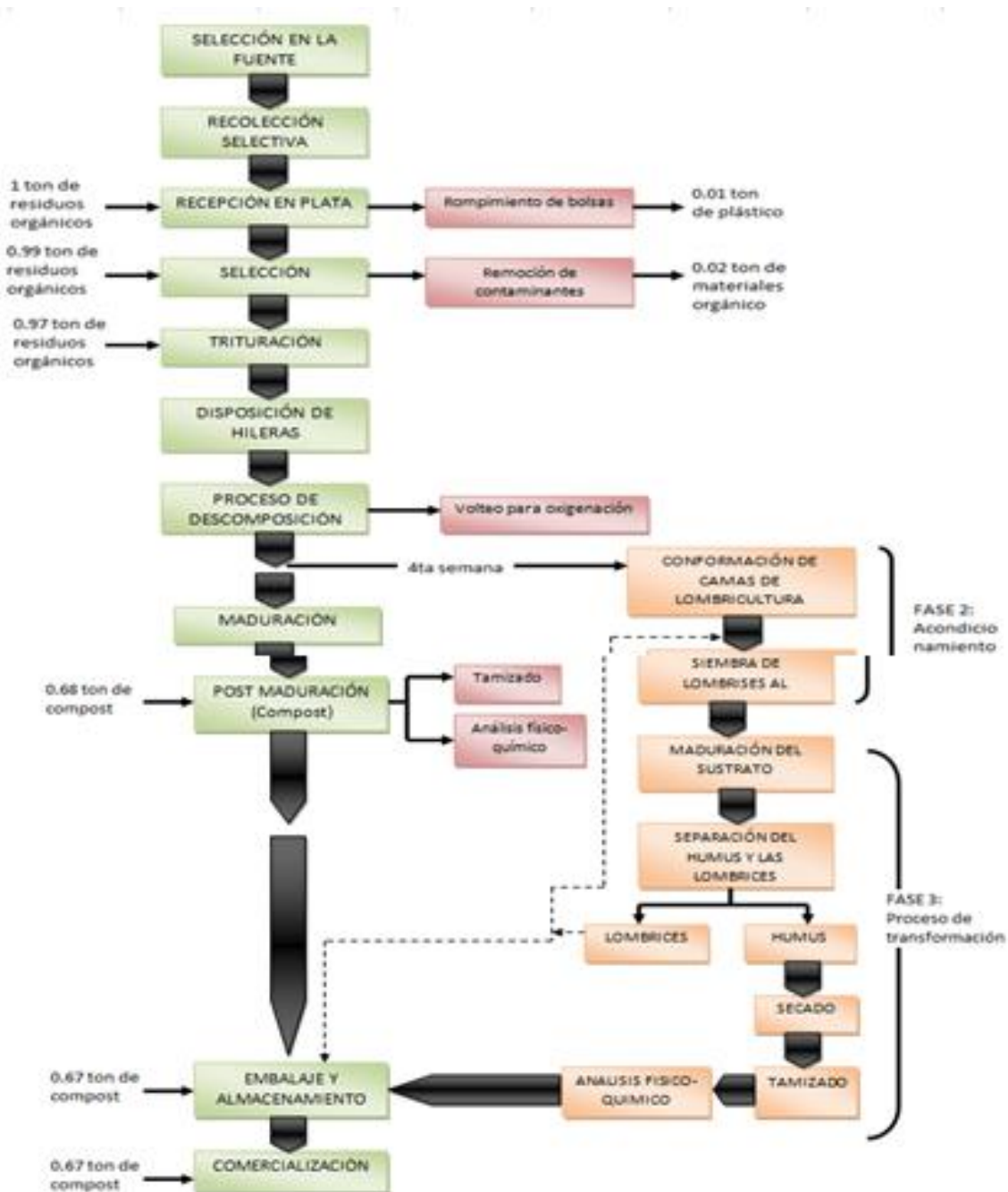
abono dependiendo de la caracterización arrojada, en la Tabla 21 se determina según la CRA, sus posibilidades de uso.

Tabla 21 Posibilidades de uso del compost por categorías

CATEGORIA	USOS
A	En agricultura, como abonos inorgánicos o acondicionadores orgánicos no húmicos de suelos en cultivos hortícola, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo.
	En la Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisores y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
	fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica, como combustible alternativo
	Como insumo en la obtención de materiales de construcción.
	Los mismos usos que la categoría B.
	NOTA: para uso como abono orgánico se recomienda que los residuos a compostar provengan únicamente de plazas de mercado, poda y corte, industrias alimenticias (Frutas, verduras, bebidas).
B	En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria.
	En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola, áreas destinadas al ornato y la recreación, jardines, parques y zonas verdes.
	En la revegetalización de suelos degradados de uso no agrícola
	Como material para cobertura y revegetalización de áreas erosionadas y de minería a cielo abierto
	En las plantaciones forestales
	En la fabricación de briquetas y pellets para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo
	Los mismos usos que la categoría C
C	En las coberturas intermedias de cierre de plataformas y cobertura final de clausura en sistemas de disposición final de residuos sólidos, tipo relleno sanitario para revegetalización y paisajismo.
	En la disposición conjunta con residuos sólidos en sistemas tipo relleno sanitario y en sistemas de disposición final exclusivos de biosólidos y/o materiales orgánicos estabilizados.

Fuente: Adaptado de CRA. Reglamento técnico sector agua potable y saneamiento básico RAS. Sección II

Ilustración 11 Diagrama de flujo del proceso de compostaje y lombricultura



Fuente: Título F. Capítulo 6. Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial. Documento de actualización. Bogotá 2008.

Adaptado de construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón. Manual 3: orgánicos, papel y cartón. MAVDT (2008) pág. 14 y 17

En este diagrama se observa que como punto de partida clave en el proceso, se tiene que realizar separación desde la fuente de generación (hogar, comercio, industria) y continuar con la recolección selectiva por parte del operador del servicio público de aseo. Otro punto clave para el éxito del proceso está en que una vez el material es recepcionado en la planta se haga una selección y eliminación del material contaminante (plásticos, metales, huesos , etc) antes de pasar al molido del material orgánico donde es homogenizado y rypiado mecánicamente, para pasar a la disposición en hileras o camas, aquí comienza la biodegradación del material orgánico y la pre compostación por un periodo de unos 40 a 45 días, si se hacen volteos periódicos (2 ó 3 por semana) o de 25 a 30 días si se hace aireación forzada, antes de llevar este material a un proceso de maduración o a un lombricultivo. Durante este proceso de pre compostado lo ideal como se dijo antes es inyectar aire a presión (aireación forzada) a cada una de las pilas del compost a fin de airearlas y facilitar así su biodegradación aerobia.

Ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología de compostaje

Específicamente el aprovechamiento biológico mediante el compostaje aerobio o anaerobio, manual, mecánico o con aireación forzada tiene las siguientes ventajas:

- Los residuos orgánicos urbanos representan cerca del 60 % del volumen total generado a nivel municipal, por lo que su disponibilidad es no es un obstáculo para su procesamiento, antes, por el contrario, constituye un problema para los entes municipales.

- El compostaje es un proceso que puede transformar los residuos orgánicos y puede operarse de forma manual o mecanizada, en función del volumen de los residuos disponibles.
- Es un sistema económicamente viable, si se considera que la economía de escala juega un papel muy importante en la rentabilidad de los procesos de transformación y aprovechamiento, además que los residuos orgánicos como materia prima fundamental en el proceso tiene como costo solo la recolección.
- Mejora los suelos de forma natural, debido a que el compost producido es un fertilizante orgánico naturales.
- Al disminuir los residuos a disponer, reduce la mayor parte de los impactos ambientales de los sitios de disposición, sean éstos rellenos sanitarios o botaderos, en especial los impactos sobre el suelo, el agua y el aire.
- Aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios porque disminuye significativamente la carga de residuos orgánicos, que, como se ha dicho, constituyen la mayor parte de los residuos sólidos generados en las ciudades colombianas.
- Permite reducir volúmenes y gastos de transporte, lo que incide en un menor costo de las tarifas del servicio de aseo.
- Genera empleo e ingresos para los municipios y/o para comunidades rurales y suburbanas involucradas en los procesos de transformación de los residuos.

Como desventajas del procesamiento de los residuos orgánicos, podríamos enumerar:

- Sus altos volúmenes de generación se constituye un problema para operadores del servicio y los mismos entes municipales para su procesamiento.
- Por representar cerca del 60% de los volúmenes de residuos generados, al ser llevados a disposición final incrementan los costos en la prestación del servicio de aseo.
- Por ser residuos de naturaleza orgánica putrescible genera graves impactos al medio ambiente (paisaje, suelo, al agua y al aire) y a la salubridad de las comunidades (proliferación de olores ofensivos y agentes vectores de enfermedades).
- En las plantas o centros de aprovechamiento si no se trabaja la tecnología de forma adecuada genera afectaciones y contaminación ambiental.
- Requiere personal con competencias laborales y experiencia para manejar adecuadamente su procesamiento.

Infraestructura empleada

El proceso de compostaje manual, como es realizado en la región del oriente Antioqueño, requiere realmente poca infraestructura, pues para tratar 20 toneladas mensuales por el sistema de pilas cónicas (2.0 m de diámetro) o trapezoidales (1.2 m de ancho, 0.8 a 1.2 m de altura y largo variable) se hace necesario contar con dos personas de tiempo completo y con la formación adecuada para manejar técnicamente el proceso, además de equipos y herramientas menores como una tipiadora de residuos orgánicos en fresco a fin de homogenizar el tamaño de las partículas y ojala otra para rpiar en seco, importante para el empaque del producto terminado. Además, palas manuales para los volteos periódicos y con el propósito de mejorar los procesos y

evitar la proliferación de agentes patógenos, se requieren como insumos: cal, aserrín, etc.

En cuanto a equipos especializados si se trabaja con reconversión tecnológica de compostaje en pilas hacia sistemas o paquetes tecnológicos comerciales, los requerimientos ya serán otros, con galpones o invernaderos en diferentes tipos de materiales con pisos duros en concreto, cajas estacionarias o recipientes generalmente plásticos, con o sin inyección forzada de aire, con necesidades o no de volteos periódicos y control de variables a través de instrumentos de medición de la humedad, la temperatura, el pH, etc. Y aplicación de insumos para el control de la humedad como aserrín o cisco de madera y la incorporación o inoculación con microorganismos más eficientes en el proceso de la biodegradación de la materia orgánica.

El mayor costo lo representa la construcción de compostera. Infraestructura para el manejo y tratamiento de los residuos orgánicos municipales, muros laterales contruidos en bloques de concreto de 1.0 m de altura y las culatas hasta el techo, piso en concreto reforzado, techo en cercha metálica y teja de zinc corrugada, recubrimiento en malla eslabonada de 2.0 m. Puerta de ingreso de 1.6 m. instalaciones sanitarias con ducha en ladrillo (ducha, lavamanos y taza sanitaria). Tubería perforada de 4" anclada al piso de concreto y caja de concreto para el almacenamiento de lixiviados de 0.6 x 0.6 x 0.6m. Además, incluye la construcción un tanque séptico de 1.000 litros y filtro en espina de pescado.

Presentamos en la Tabla 22, los costos que representaría la construcción de una planta o centro de aprovechamiento de residuos orgánicos urbanos para un volumen a manejar de 20 toneladas por mes y un área aproximada de 140 m².

Tabla 22 presupuesto general de construcción de una compostera

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VR. UNITARIO	VR TOTAL
	CONSTRUCCIÓN COMPOSTERA				
1	Nivelación del terreno	dia	1	140.000,0	140.000,0
2	Descapote	m2	160	4.000,0	640.000,0
3	excavación en material común	m3	15	19.300,0	289.500,0
4	Entresuelo en piedra (e = 0,10 m)	m3	16	76.000,0	1.216.000,0
5	Concreto zapatas, columnas, viga de fundación	m3	7,3935	487.000,0	3.600.634,5
7	Placa de piso maciza en Concreto f'c = 210 kg/cm ² incluye impermeabilizante espesor 0.08 m, incluye formaleta y acabado esmaltado	m3	12,4	487.000,0	6.038.800,0
8	Tubería de 4", perforada instalada y anclada al concreto con pendiente del 2% (Son 2 a lo largo de la estructura)	ml	20	20.000,0	400.000,0
9	Acero (zapatas, columnas, viga y malla electro soldada piso)	kg	797	4.834,0	3.852.698,0
	Lleno con material de préstamo	m3	32	35.000,0	1.120.000,0
	Bloque	m2	40	17.804,0	712.160,0
10	Mampostería ladrillo de 15 x 20 x 40 cm rebatada dos caras	m2	36	38.500,0	1.386.000,0
11	Suministro y Colocación de tubería sanitaria PVC 4"	ml	20	13.000,0	260.000,0
12	Codo 90° sanitaria de 4"	unidad	2	9.200,0	18.400,0
13	Tee sanitaria de 4"x4"	unidad	3	10.500,0	31.500,0

14	Caja en concreto colectora de lixiviado espesor 0.1 m (dimensiones h=0.6m, b= 0.6 m, y = 0.6 m), incluye tapa	unidad	2	122.000,0	244.000,0
15	Cubierta en zinc corrugado en perfilaría metálica	m2	187	33.892,0	6.337.804,0
16	Suministro y Colocación de plástico calibre 6 (2 m de ancho)	ml	55	6.300,0	346.500,0
17	Suministro e Instalación de tanque séptico prefabricado en plástico. Capacidad 1000 l. Incluye tubería, accesorios	unidad	1	1.460.000,0	1.460.000,0
18	Suministro y Colocación de sanitario integral (línea Acuacer) color blanco, bajo consumo 6 lt, diseño de dos piezas, taza redonda, sifón, grifería antisifon, anillo abierto, abastos, válvula de regulación y todo lo necesario para su correcto funcionamiento.	unidad	1	195.000,0	195.000,0
19	Suministro e Instalación Lavamanos tipo económico incluye grifería	unidad	1	85.000,0	85.000,0
20	Instalación de Ducha y tubería necesaria más juego de incrustaciones	unidad	1	38.869,0	38.869,0
21	Suministro e Instalación de Puerta metálica lamina galvanizado calibre 20 de 80 cm * 210 cm. Incluye chapa y pintura anticorrosivo	unidad	1	245.000,0	245.000,0
22	Suministro e Instalación de Puerta metálica lamina galvanizado calibre 20 de 1.60 cm * 210 cm, incluye chapa y pintura anticorrosivo	unidad	1	420.000,0	420.000,0
23	Suministro e Instalación de ventana de 1.2 x 1 metro a dos alas con reja de seguridad en lamina	unidad	2	180.000,0	360.000,0
	Suministro e instalación de malla eslabonada de 2 x 10 metros 2 1/4"	unidad	3	300.000,0	900.000,0
25	Material filtrante para espina de pescado	m3	8	80.000,0	640.000,0
COSTOS DIRECTOS					30.977.865,5
COSTOS INDIRECTOS AIU (30%)					9.293.359,7
TOTAL, PRESUPUESTO					40.271.225,2

Fuente. Presupuesto presentado para la construcción de la compostera del municipio de Santo Domingo – Antioquia. Valores a noviembre de 2014

Lombricultura

La lombricultura, es a técnica de cultivo intensivo con lombrices de tierra domesticada en cautiverio logrando obtener su rápida y masiva reproducción y su crecimiento en espacios reducidos, y la utilización de residuos orgánicos domésticos previamente compostados para su alimentación produciendo como resultado la transformación de éstos en Lombricompuesto y una producción importante de lombrices con un 60% de proteína, las cuales se podrían emplear como suplemento animal y también para reponer el pie de cría inicial.

Cuando la temperatura y la humedad del medio ambiente donde habitan las lombrices son adecuadas, se acoplan dos lombrices en un periodo de 7 días obteniendo 2 capullos. Los capullos se abren pasados 21 días de incubación y de cada uno de ellos sale un número de cría entre 2 y 20 lombrices. Las lombrices recién nacidas son de color blanco, se vuelven rosadas a los 6 días y toman su color rojo a los 15 ó 20 días. La población de lombrices se dobla cada 3 meses (Mavdt & Epam, 2008).

Las heces de la lombriz (humus) son ricas en nutrientes, ya que contienen cinco veces más nitratos que el suelo, 11 veces más potasio y, lo que es más importante, 7 veces más fósforo intercambiable y 3 veces más magnesio intercambiable, lo que favorece notablemente la asimilación de los nutrientes por las plantas (Henao & Márquez, 2008).

El proceso se inicia con la obtención del pie de cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) la cual puede conseguirse a partir de un criador reconocido.

Ciclo de vida de la lombriz. La *Eisenia Foetida* (lombriz roja californiana), tiene un ciclo de vida largo, llegando hasta los 16 años, además es muy prolífica, es hermafrodita, pero requiere acoplarse con otra para conseguir el intercambio cruzado de espermios entre lombrices. Su madurez sexual la alcanzan entre 90 y 120 días y el desarrollo completo a los 7 meses. La lombriz roja adulta mide de 5 a 6 centímetros y con un diámetro entre 3 y 5 milímetros, es de color rojo y pesa aproximadamente un gramo; diariamente requiere una cantidad de alimento equivalente a su peso, excretando en forma de humus el 60% del mismo; el 40% restante es asimilado y utilizado en el incremento de la biomasa (Mavdt & Epam, 2008).

Cada individuo pone un capullo llamado cocón cada 10 a 30 días y cada capullo contiene entre 4 a 15 lombrices que emergen a los 21 días (De la Cruz Rodríguez, 2005).

Las condiciones propias para el cultivo de las Lombrices son: La temperatura del sustrato debe estar entre los 18 y 22°C, la humedad del lecho de 70 a 80% y pH de 7.7 a 8.0 y baja luminosidad (De la Cruz Rodríguez, 2005).

Jaramillo y Zapata (2008) resumen los parámetros ideales para el cultivo de la lombriz, en la Tabla 23 que se presenta a continuación

Tabla 23 Condiciones ideales para el establecimiento de la lombriz

PARÁMETRO	RANGOS	
	ACEPTABLES	ÓPTIMOS
Contenido de Humedad	65 a 80%	70 a 75%
Potencial de Hidrogeno (pH)	5.5 a 9.0	6.8 a 7.2
Temperatura	20 a 23 °C	25 a 28 °C

Fuente: Tomado de Soto, Gabriela, citados por Jaramillo y Zapata (2008) pág. 44

En el proceso se hace necesario controlar otros parámetros de vital importancia a fin de optimizar la operación, en el documento del Ministerio de Ambiente, vivienda y Desarrollo territorial –MAVDT. “Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón”. Manual 3: orgánicos, papel y cartón, se describen detalladamente estos parámetros y aquí se sintetizan, así:

- Aireación de las camas. Con el propósito de permitir la circulación del aire, debe impedirse la compactación del sustrato, para lo cual se mezcla continuamente con un rastrillo de puntas redondeadas y se agrega algún material que facilite la entrada de aire, como pasto seco.
- Tamaño del material. El tamaño de las partículas del material orgánico para lombricultura debe ser tan pequeño como sea posible, lo ideal es que este material sea pasado por un molino o tipiadora para reducir el tamaño de las partículas pero que permita esto la circulación del aire.

- Control de humedad. El contenido de humedad es inversamente proporcional al contenido de oxígeno, la humedad óptima promedio es del 80%. A humedades mayores la disponibilidad de oxígeno disminuye y las lombrices pueden morir por anoxia, presentando una coloración roja negruzca.
- El potencial de hidrógeno (pH). El valor ideal es entre 6 y 8. Si el sustrato es muy ácido se corrige adicionándole carbonato de calcio (CaCO_3) a razón de 200 gramos por metro cuadrado; si es muy alcalino se puede agregar papel picado.
- Temperatura. La temperatura ideal para la lombriz roja es de 20°C (temperatura ambiente); esta puede ser regulada en el Lombridarios mediante el control de la humedad y la aireación. Si la temperatura al interior de las camas es muy alta el compost debe dejarse madurar por un período mayor, antes de ser aplicado como alimento a las lombrices.
- Control de olores. En las camas de lombricultura no se presentan malos olores, excepto en los primeros días del proceso, lo cual es algo normal, pero esto se puede regular con volteos a fin de airear el sustrato.
- Control de hormigas. Las hormigas no son predadoras de las lombrices adultas, sino competidoras por el alimento (azúcares), y atacan crías y huevos, por lo cual deben ser controladas. Estas se pueden controlar de ser necesario: Sembrando plantas aromáticas (limonaria u otra) alrededor de las camas, controlando el contenido de humedad en la pila, regando las camas con agua sin llegar a inundarlas, cubriendo las pilas con cartones impregnados de melaza; cuando las hormigas se peguen al cartón, el mismo se retira y se incinera.

- Control de chizas. Las chizas o mojoy son el estado larvario del cucarrón, estas se alimentan de lombrices, por lo cual deben ser controladas. El mejor método para ello es la búsqueda, extracción y eliminación manual.
- Ácaros rojos. No atacan a la lombriz, pero compiten por la comida. El mejor control es no colocar comida demasiado fresca y evitar la humedad excesiva de la cama.
- Control de roedores. Los topos son los únicos roedores que se pueden constituir en un problema. El control consiste en regar cal viva cerca de la cama y dejar pocetas con agua donde estos animales puedan beberla, lo cual les produce la muerte por resecamiento de sus órganos internos.
- Control de aves. Si hay problemas con aves se pueden cubrir las camas con ramas secas de plátano o de otra planta de hojas anchas.
- Aplicación de sustancias químicas u orgánicas venenosas. Por experiencia, es altamente perjudicial (mortal) aplicar herbicidas, insecticidas, fungicidas, raticidas ó cualquier otra sustancia de origen orgánico ó inorgánico tóxicas, en la proximidad de las camas de lombricultura, dado que las extermina (Mavdt & Epam, 2008).

Para 40 m² de cultivo se requiere un total de 5 Kg. de lombriz pura / m², que corresponde entre 20 y 25 Kg. de lombriz mezclada con sustrato (lombriz comercial), lo anterior arroja un total de 200 Kg. de lombriz pura, el 20% de esta cantidad será entonces de 40 Kg., para comenzar el cultivo y producción. Una lombriz adulta se come

en un día una cantidad de alimento igual a su peso, produce un 60% en humus, el otro 40% lo utiliza para su sustento.

En un metro cuadrado de cama se pueden tener hasta 50.000 lombrices, y en un kilo se encuentran alrededor de 1.500. 200.000 lombrices pueden producir entre 30 y 50 toneladas de humus o Lombricompuesto, en un año (Area Metropolitana Del Valle De Aburrá, 2004).

Ilustración 12 cultivos de lombriz



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+lombricultura>

Las dimensiones de los lechos para el cultivo de la lombriz dependerán de la cantidad de material a aprovechar y del área disponible. Estos pueden ser de forma rectangular de 1,20 a 1,60 metros de ancho y la longitud que permita el terreno, 20 metros como máximo, la altura de la cama debe ser de 30 centímetros. Las paredes de las camas deben ser móviles: tablas, guaduas, bloques de plástico o costales de fibra, dejándoles una pequeña pendiente para permitir el drenaje del agua (Area Metropolitana Del Valle De Aburrá, 2004).

Ilustración 13: Lombridarios en mampostería, San Carlos - Antioquia



Fuente. Propia. Lombridarios en camas de bloques de concreto. San Carlos - Antioquia

Para la alimentación, se suministra sustrato cada 8 o 15 días en capas de 10 cm de espesor, se siembran las lombrices en hileras y se tapa con material vegetal para conservar la humedad.

Ilustración 14 Lombridarios en madera. Sistema de alimentación



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+de+lombricultura>

La aplicación de lombrices como alimento o como insumo para elaboración de concentrados proteicos para la alimentación de aves, peces y cerdos solamente puede

realizarse sobre sustratos limpios, homogéneos, separados en la fuente y debidamente caracterizados (Area Metropolitana Del Valle De Aburrá, 2004).

Además la lombriz tiene una gran cantidad de proteína, aproximadamente entre el 70% y 80% de su peso, con un excelente contenido de aminoácidos (De la Cruz Rodríguez, 2005).

Debido a que el lombricompost es tan rico en nutrientes que las plantas tienen mayores crecimientos que aumentan sus rendimientos, en las tasas de aplicación relativamente bajas en sustratos o suelos. Se ha demostrado de manera concluyente en la Universidad Estatal de Ohio, que estas respuestas de las plantas pueden ser debidas a la producción de reguladores de crecimiento como el ácido indolacético (AIA), quinetina, giberelinas o bien asociadas con los ácidos húmicos y fúlvicos. Estas sustancias se producen por las interacciones entre las lombrices de tierra y los microorganismos. Está demostrado que las hormonas adsorbidas en humatos y fulvatos se liberan lentamente en los suelos y favorecen el crecimiento de las plantas durante todo el período vegetativo o incluso de varias temporadas de cultivo (Mavdt & Epam, 2008).

De la Cruz Rodríguez, René Arturo, presenta la siguiente composición del humus de lombriz

Tabla 24 Composición del humus de lombriz

COMPOSICIÓN DEL HUMUS	
Humedad	30 a 60%
pH	6.8 a 7.3
Nitrógeno	1 a 2.6 %

Fósforo	2 a 8 %
Potasio	1 a 2.5%
Calcio	2 a 8%
Magnesio	1 a 2.5%
Materia orgánica	30 a 70%
Ácido fúlvico	2.8 a 5.8%
Ácido húmico	1.5 a 3%
Sodio	0.02%
Cobre	0.05%
Hierro	0.02%
Manganeso	0.006%
Relación C/N	10 a 11%

Fuente: tomado de Rodríguez (pág. 14) en aprovechamiento de residuos orgánicos a través de composteo y lombricomposteo.

En el documento del ministerio del de ambiente y vivienda y desarrollo territorial – FONAM, se presenta un balance típico de masas para el proceso de la lombricultura en camas de 18 m de longitud, 1.1m de ancho y 0.61 de altura efectiva y una cantidad inicial de compost a tratar con una densidad de 415 Kg / m³. Donde se encontraron los siguientes resultados para camas con una capacidad de 5 toneladas de residuos orgánicos y una siembra de 100 Kg. de lombriz. Se cosecharon al final del proceso 3 toneladas de humus y 200 kilogramos de lombriz, el humus una vez sometido a un secado genero 2.85 toneladas de humus (Mavdt & Epam, 2008).

Ventajas y desventajas de la aplicación de la tecnología de la lombricultura.

La calidad de la Lombricompuesto es muy variable de una cosecha a otra ya entre mejor sea la calidad del alimento mejor será la calidad de la Lombricompuesto o humus de lombriz, tiene un color oscuro a negro, se encuentra en forma de gránulos y

con olor a tierra húmeda, es rica en hormonas, auxinas, giberelinas y citocininas, siendo esta última la que se encuentra en mayor concentración. 7(13)

El Lombricompuesto presenta una carga de microorganismos muy alta, de varios millones por gramo de material seco, lo que genera una alta carga enzimática y bacteriana, que ayuda en la solubilización de los nutrientes en el suelo.

El Lombricompuesto se puede usar de la misma manera que el compost, pero es un abono de mayor calidad, la forma de distribución es igual y se puede utilizar en todos los cultivos. La Lombricompuesto tiene más nutrientes, humus y microorganismos por gramo seco que la composta lo que la convierte en un excelente mejorador de suelos (De la Cruz Rodríguez, 2005).

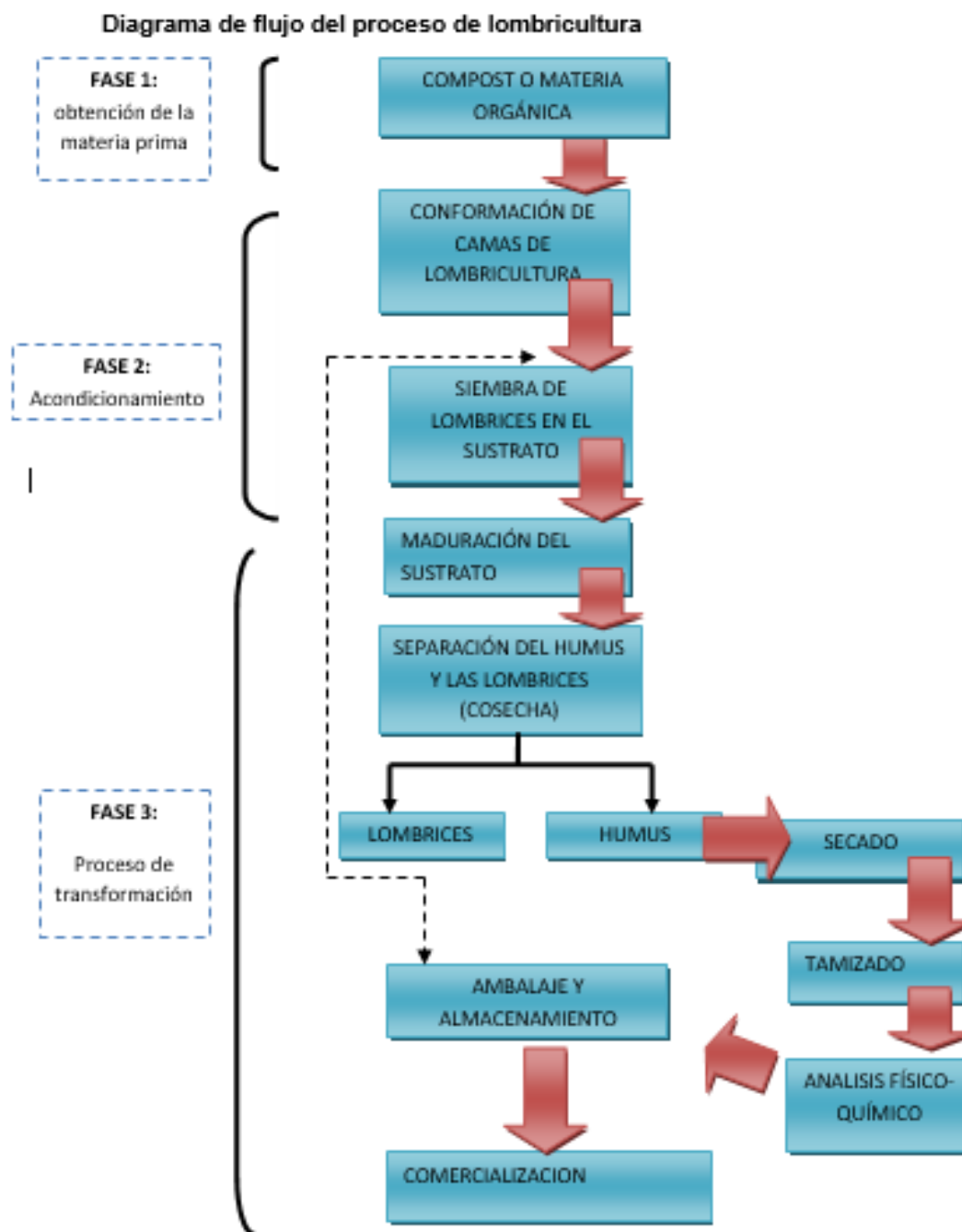
Específicamente el aprovechamiento biológico mediante la lombricultura tiene los siguientes beneficios:

- La lombricultura es un proceso que puede transformar los residuos orgánicos y puede operarse de forma manual generando empleo productivo y sostenible.
- Es un sistema económicamente viable, que al igual que el compostaje la economía de escala juega un papel muy importante en la rentabilidad de los procesos de transformación y aprovechamiento.
- Mejora los suelos de forma natural, debido a que el humus producido es un fertilizante orgánico natural y muy buen restaurador de suelos.

- Al disminuir los residuos a disponer, reduce la mayor parte de los impactos ambientales de los sitios de disposición, sean éstos rellenos sanitarios o botaderos, en especial los impactos sobre el suelo, el agua y el aire.
- Aumenta la vida útil de los rellenos sanitarios porque disminuye significativamente la carga de residuos orgánicos, que, como se dijo, constituyen la mayor parte de los residuos sólidos generados en las ciudades colombianas.
- Permite reducir volúmenes y gastos de transporte, lo que incide en un menor costo de las tarifas del servicio de aseo.
- Genera empleo e ingresos para las municipalidades y/o para comunidades rurales y suburbanas involucradas en los procesos de transformación de los residuos (Mavdt & Epam, 2008).

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del proceso de lombricultura

Ilustración 15 Diagrama de flujo del proceso de lombricultura



Fuente: Adaptado de Consultoría para la Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos. MMA –FONAM Y EPAM S.A. ESP. (Mejorado)

Producción de abonos mineralizados líquidos

Biofermentos

Son fertilizantes que se aplican a las hojas de las plantas (Foliales), y que se preparan a partir de fermentos orgánicos, de ahí su nombre “Biofermentos”, preparados de excretas animales o de frutas (Henao & Márquez, 2008).

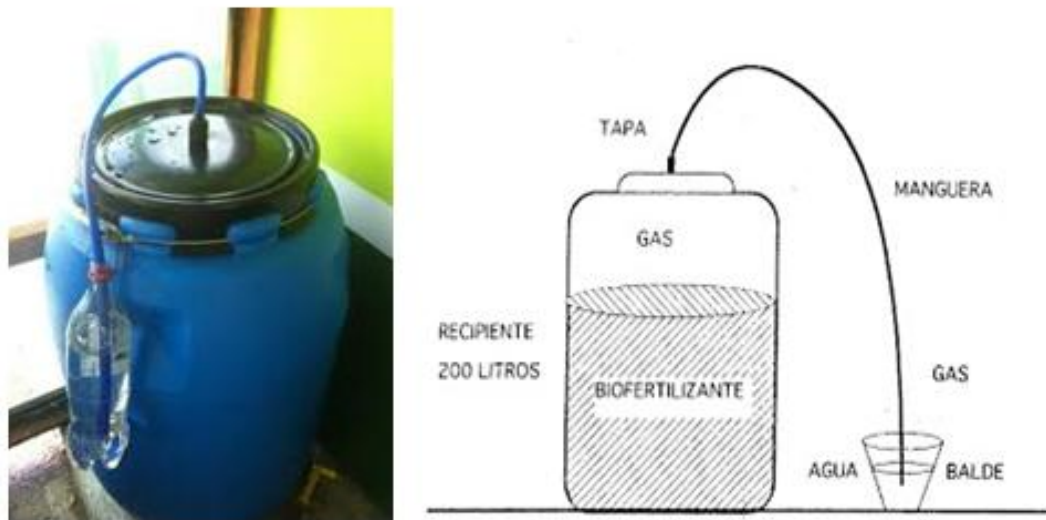
Los Biofermentos constituyen una herramienta agrícola con la que se pueden reducir o sustituir los abonos químicos de alta solubilidad; permitiendo al productor disminuir su dependencia de insumos externos. Por otro lado, los Biofermentos fortalecen la autogestión campesina en una inmensa gama de sistemas productivos y constituyen además un excelente vehículo para fomentar la investigación participativa y la creatividad de los y las agricultores (as) en sus propias fincas (Henao & Márquez, 2008).

Para el Ingeniero. Agrónomo Fabián Pacheco del Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica. Costa Rica. Los Biofermentos son producto de un proceso de fermentación de materiales orgánicos. Dicho proceso se origina a partir de una intensa actividad microbiológica, donde los materiales orgánicos utilizados son transformados en minerales, vitaminas, aminoácidos, ácidos orgánicos 2 entre otras sustancias metabólicas. Estos abonos líquidos más allá de nutrir eficientemente los cultivos a través de los nutrientes de origen mineral quelatados, se convierten en un inóculo microbiano que permite restaurar el equilibrio microbiológico del agro ecosistema.

Los Biofermentos disminuyen la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos, al colonizar las superficies de las plantas, los microorganismos presentes en

este tipo de abonos fermentados presentan relaciones antagónicas y de competencia con diferentes microorganismos fitopatógenos, colaborando de esta forma en la prevención y combate de enfermedades en las plantas.

Ilustración 16 Producción y almacenamiento de Biofermentos



Fuente: <https://www.google.com.co/search?q=imagenes+biofermentos>

Biofertilizantes

Son bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium* y otras bacterias fijadoras de nitrógeno no simbióticas como las micorrizas, que aumentan el contenido de nutrientes en el suelo o aumentan su disponibilidad en el mismo por parte de las plantas (Henao & Márquez, 2008).

El manual de agricultura sostenible de Bejarano y Restrepo, recomiendan para trabajar esta técnica de producción de abonos orgánicos o Biofertilizantes, hacerlo en canecas de 200 Litros y cierre hermético a fin de impedir la entrada de aire, se debe instalar una trampa de gases a fin evacuar los gases generados e impedir el ingreso de

aire al estanque. En este recipiente se deben mezclar los ingredientes, los cuales se clasifican en básicos y complementarios así: [Bejarano y Restrepo, 2002, 27]

Básicos

40 Kg. de estiércol fresco de vaca

9 Litros de leche

9 Litros de melaza o 4.5 Kg. de panela

Sales minerales

3 Kg. de sulfato de zinc.

1 Kg. de sulfato de magnesio.

300 Gr. de sulfato de manganeso.

300 Gr. de sulfato de cobre.

2 Kg. de cloruro de calcio.

1 Kg. de ácido bórico o bórax*.

50 Gr. trióxido de molibdeno.

50 Gr. sulfato de cobalto.

50 Gr. sulfato de hierro

100 Lt de agua

*aplicarse en dos partes

Complementarios

200 Gr. de harina de hueso.

500 Gr. de restos de pescado o camarón seco.

100 Gr. de sangre bovino.

200 Gr. de restos de hígado molido fresco y crudo.

PREPARACIÓN.

Bejarano y Restrepo, describen la forma de preparación de estos Biofertilizantes como sigue:

1. En un recipiente de 200 litros (plástico y con tapa), se coloca 40 kg. de estiércol fresco, 100 litros de agua, un litro de leche y un litro de melaza o 500 gr. de panela disuelto en agua tibia. Revolver bien y dejar fermentar por 3 días.

2. Posteriormente, cada 3 días se disuelve cada uno de los minerales en agua tibia y se agrega un litro de leche y un litro de melaza o 500 gr. de panela. Esta mezcla se agrega al fermentado anterior, revolviendo bien.

3. Los ingredientes complementarios se pueden ir agregando en cualquier momento que se agregan los minerales.

4. Después de haber agregado todas las sales, se completa el recipiente plástico con agua hasta 180 litros, (se recomienda no completar el volúmen total del recipiente, para facilitar la salida de gases de la fermentación) se tapa y se deja fermentar por 30 días en climas cálidos y 45 días en climas fríos.

“Los abonos producidos con la técnica de Biofertilizantes, se recomiendan emplearlos al 2% para frutales, para hortalizas, al 4% cada 10 a 20 días y para hortalizas y frutos aéreos al 4% con intervalos semanales”(Bejarano & Restrepo, 2002)

Ilustración 17 Comparación de un semillero de frutales con aplicación y sin aplicación de Biofertilizantes



Fuente: <https://www.google.com.co/imagenes+de+biofertilizantes>

Bocashi

Es una técnica o sistema de producción japonesa semejante al proceso de compostaje para el aprovechamiento de los residuos orgánicos y cuyo producto final es un abono orgánico, la técnica trabaja con temperaturas entre los 45 a 50°C con volteos frecuentes y hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material.

Los técnicos japoneses y la mayoría de los productores practican la receta original, así: es un (1) saco de gallinaza, un (1) saco de granza, dos (2) sacos de tierra, un (1) saco de semolina de arroz o salvado, un (1) saco de carbón molido y 1 litro de melaza (Henao & Márquez, 2008).

En la Tabla 25 se presenta la comparación entre el sistema de compostaje y la técnica del Bocashi

Tabla 25 COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESOS DE COMPOSTAJE Y EL BOCASHI

CARÁCTERÍSTICAS	COMPOST	BOCASHI
Producto final	Sustancias Húmicas	Materia orgánica en descomposición
Temperatura máxima	65 a 70°C	45 a 50°C
Humedad	60%	Inicia 60% y desciende rápidamente
Frecuencia de volteos	Regida por la temperatura y el CO ₂	1 ó 2 veces /día
Duración del proceso	1 a 2 meses	1 a 2 meses

SOTO. Gabriela, El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. En: Taller de abonos orgánicos. Costa Rica, 3 y 4 de marzo de 2003, p.4.

Como se dijo antes el proceso de compostaje se aplica a todo tipo de residuo orgánico y sin una composición específica y obteniendo humus, en cambio el Bocashi se prepara con dosificaciones específicas (recetas preestablecidas) para obtener materia orgánica en descomposición

Carlos Arturo Bejarano Mendoza y Jairo Restrepo Rivera, en su cartilla de abonos orgánicos, fermentados tipo Bocashi. Caldos minerales y Biofertilizantes, relacionan como receta aplicada en Colombia y Latinoamérica la siguiente para preparar 65 bultos de abono orgánico fermentado tipo Bocashi:”. [Bejarano y Restrepo, 2002, 17]

Receta: 20 Bultos de estiércol fresco disponible (gallina, vaca, conejo), 20 Bultos de cascarilla de arroz o 4 pacas de avena o cebada o rastrojo picado, 20 Bultos de tierra del lugar sin piedras ni terrones, 6 Bultos de carbón vegetal en partículas pequeñas. Si no se consigue fácilmente, se puede elaborar carbón con tusa de maíz o cascarilla de café, 1 Bulto de pulidura de arroz, salvado de trigo o de concentrado para vacas, 2 Libras de levadura de pan granulado o en barra o fermentado de maíz o Bocashi ya preparado, 2 Kg. de panela o 4 litros de melaza y agua para humedecer la pila más o menos entre 40 a 50 % de humedad).

Una vez obtenidas estas materias primas se disponen en capas así: cascarilla de arroz o paja picada, tierra, estiércol, carbón, pulidura de arroz o salvado o concentrado, la melaza o la panela disuelta en agua tibia de diluye y se va adicionando a estas capas, hasta alcanzar la humedad deseada, es recomendable darle 2 o 3 vueltas a toda la mezcla hasta que quede uniforme y se extiende hasta formar una pila de unos 50 cm. Luego se cubre con un costal o lona y se controla la temperatura para que no exceda los 50 °C, a través de volteos a mañana y tarde por un periodo de cuatro (4) días, a partir de este día y hasta los 12 a 15 días se voltea una vez por día.

A los 15 días el abono fermentado ya ha logrado su maduración y su temperatura es igual a la temperatura ambiente, su color es gris claro, queda seco con un aspecto de polvo arenoso y consistencia suelta". [Bejarano y Restrepo, 2002, 19]

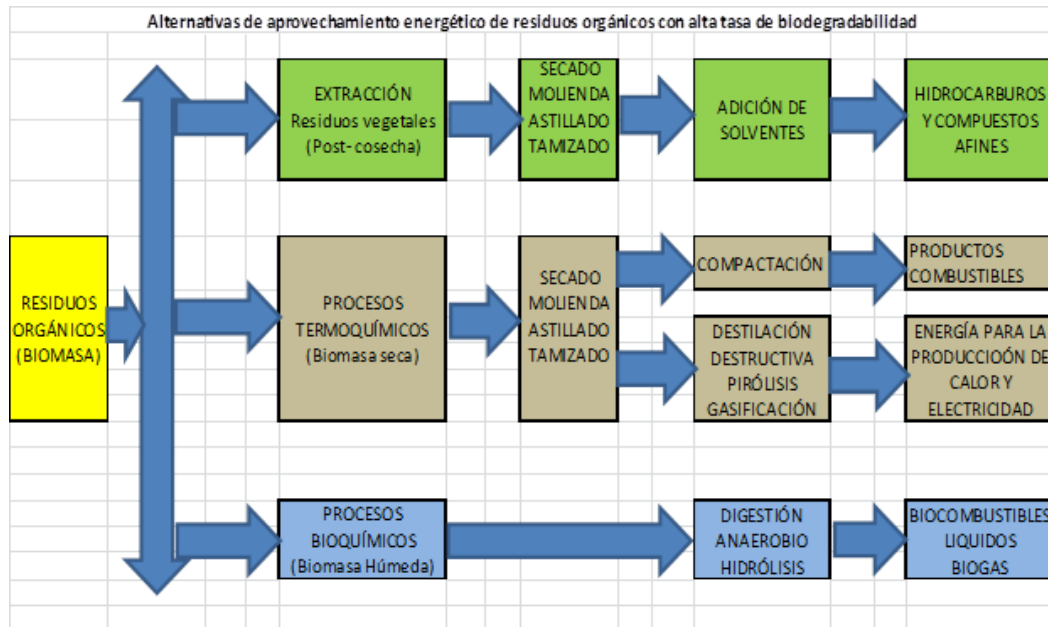
Los abonos producidos con la técnica del Bocashi, son empleados en los viveros, para los almácigos o germinadores de semillas, para abono orgánico a

aplicarse al fondo del hoyo para la siembra y como abono superficial en proporción de Bocashi: Tierra de 10 - 40: 90 – 60.

Sistemas para la generación de energías alternativas

A nivel mundial se ha tenido una gran dependencia de una fuente de energía no renovable como los combustibles fósiles (el carbón, el petróleo y el biogás), fuente que cada vez se agota, afectando los ciclos industriales y económicos, es por esto que se están buscando fuentes alternativas de generación de energía y son los residuos que cotidianamente se generan dónde están puestos los ojos para que a partir de estos desechos y por diferentes procesos y tecnologías se produzca energía, térmica, eléctrica, biogás, etc). En el siguiente diagrama se representa a manera de resumen las posibles alternativas de uso de la biomasa o residuos orgánicos para la generación de energía.

Ilustración 18 Alternativas de aprovechamiento energético de residuos orgánicos con alta tasa de biodegradabilidad



Fuente: elaboración a partir de consultoría construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos. MAVDT, 2008, pág.38.

Producción de biocombustibles (bioetanol, biodiesel, biogás)

Biometanización

Es una alternativa para el aprovechamiento energético de los residuos sólidos municipales, en la cual los residuos biodegradables mediante fermentación o digestión anaerobia generan un gas combustible compuesto principalmente por metano (CH₄). En la planta de Biometanización, inicialmente se realiza una selección de los materiales que se someterán al tratamiento (residuos orgánicos), acondicionando y homogenizando el residuo hasta conseguir la hidrólisis del mismo y se incorpora al digestor, donde se realiza la fermentación anaerobia con desprendimiento del gas combustible. A partir de este biogás se alimenta a unos motores generadores de electricidad. La materia orgánica una vez salga del proceso se estabiliza mediante el

proceso de compostaje aerobio, para generar abono orgánico. [Comunidad de Madrid,2006,164]

Rodríguez, Luis Alejandro en su trabajo de grado “ Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU, 2014, Pág. 27-31), hace una descripción del proceso de digestión anaerobia , base fundamental de la Biometanización y la describe como un proceso biológico en el que la materia orgánica o biomasa, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o "Biogás" (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.), y en digestato (residuos orgánico apto para ser compostado de forma aerobia) y que es una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca, etc.)

Para la digestión anaerobia se puede emplear varios tipos de residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable.

En la digestión anaerobia se pueden diferenciar claramente cinco(5) fases consecutivas así:

1. Hidrólisis Grupo I: bacterias hidrolíticas
2. Acidogénesis Grupo I: bacterias fermentativas
3. Acetogénesis Grupo II: bacterias acetogénicas
4. Metanogénesis Grupo III: bacterias metanogénicas

En este proceso de biodegradación de la materia orgánica o alimento de los microorganismos, interviene cinco (5) grandes grupos poblacionales de microorganismos en cada fase:

1) Bacterias hidrolíticas - ácido génicas, que son anaerobias facultativas y los géneros más frecuentes que participan son los miembros de la familia Enterobacteriaceae, además los géneros Bacillus, Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides, Micrococcus y Clostridium. Las bacterias con actividad proteolítica son en su mayoría especies de los géneros Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium y Staphylococcus. Bacterias como Anaerovibrio lipolytica con actividad lipolítica han sido aisladas del rumen; igualmente la Butyrovibrio fibrisolvens hidroliza fosfolípidos cuando crece con azúcares fermentables como fuente de carbono. Este grupo de bacterias están presentes en la fase no metanogénicas, y son aquellas que hidrolizan la celulosa, solubilizan extra celularmente las moléculas de los polímeros orgánicos de carbohidratos, proteínas y lípidos, formando azúcares, ácidos grasos de cadena larga y aminoácidos, lo que corresponde al monómero de cada uno.

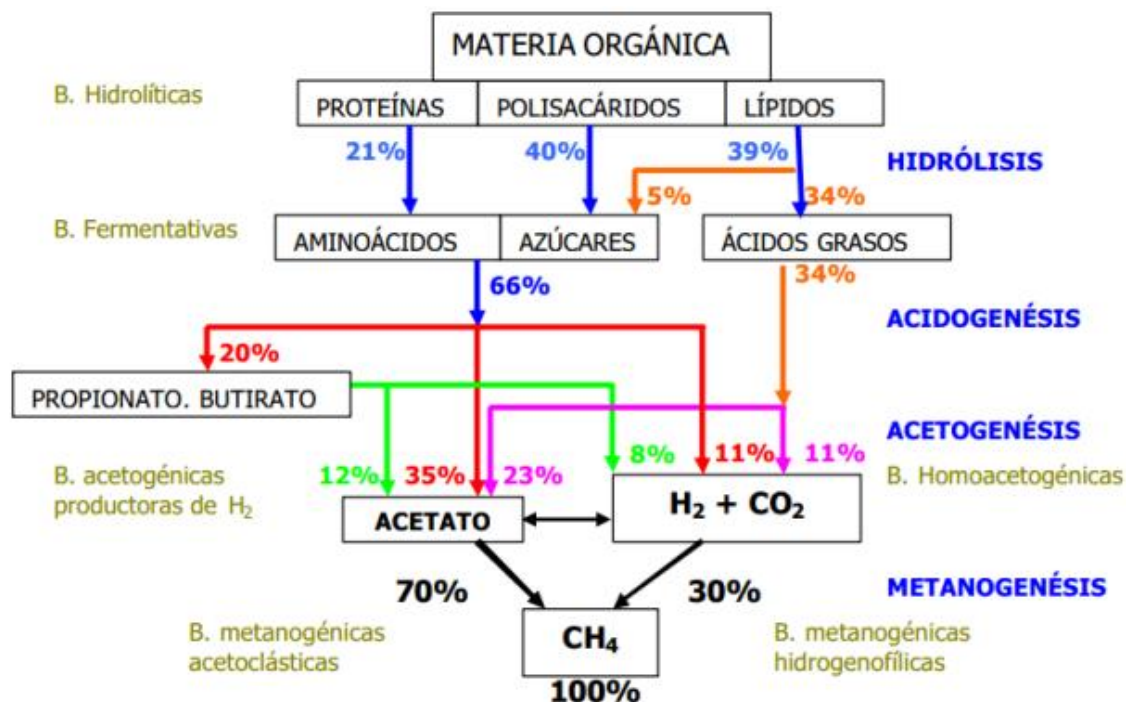
Las bacterias hidrolíticas tales como Bacillus, Peptostreptococcus, Propionibacterium, Bacteroides, Micrococcus, Clostridium, Peptococcus, Bifidobacterium, Staphylococcus y Anaerovibriolipolytica, necesitan generar energía y está la obtiene por medio del catabolismo de la glucosa, el glicerol y aminoácidos.

Al catabolismo de la glucosa se le conoce con el nombre de "Glucólisis" de la cual se obtiene como resultado una molécula de piruvato, compuesto muy importante para la célula ya que es un sustrato clave para la producción de energía y de la síntesis

de glucosa, y adicionalmente se obtienen 2 moléculas de adenosina trifosfato – ATP, molécula universal de la energía, utilizada por todos los organismos vivos para proporcionar energía en las reacciones químicas.

En la Ilustración 19 se observan cada una de las fases y los tipos de bacterias que intervienen en ellas.

Ilustración 19 Etapas de la Digestión Anaerobia



Fuente: Etapas de la Digestión Anaerobia (Madigan, 1977, van Haandel, 1994), en Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU, 2014, pág. 27-31)

Las bacterias ácido génicas, también presentes en la fase no metano génica, son aquellas que utilizan los fermentados intracelularmente, produciendo los ácidos grasos de la cadena corta conocidos como ácidos volátiles, siendo los más importantes de éstos: el acético, propiónico y butírico, y en segundo término el valérico y caproico.

En esta fase de fermentación también hay producción de H₂ y CO₂, y la misma actividad bacteriana produce sulfuros y algunos compuestos aromáticos que provienen de los aminoácidos que conforman las moléculas de las proteínas.

Los productos del catabolismo se acidifican por medio de las bacterias acidogénicas, tales como: *Clostridium*, *Bifidobacterium*, *Desulphovibrio*, *Actinomyces* y *Staphylococcus*. Produciendo CO₂, H₂ y ácidos grasos volátiles - AGV, como el ácido propiónico, el ácido acético y el ácido butírico

2) Bacterias acetogénicas; estas transforman a los ácidos grasos en ácido acético, éste ácido servirá de sustrato para las bacterias metanogénicas las cuales también requerirán del H₂ y CO₂. Estas bacterias, en conjunto con las bacterias homoacetogénicas, toman los ácidos grasos volátiles y los convierten a acetato, anhídrido carbónico e H₂. Algunas de las bacterias acetogénicas son la *Propionibacterium*, *Clostridium propionicum*, *Clostridium butyricum*, *Syntrophomonas sapovorans*, *Syntrophobacter wolinii*, *Syntromonas wolfei*, *Syntrophospara bryantii* y *Syntrophus buswellii*. Para que tenga lugar una eficiente Metanogénesis, los productos de fermentación como el propionato y el butirato deben ser oxidados a acetato, CO₂ e H₂.

3) Bacterias homoacetogénicas; son anaerobias obligadas y utilizan el CO₂, producido por las bacterias anteriormente mencionadas, como receptor final de electrones, produciendo acetato como producto único de la fermentación anaerobia.

Aunque este grupo no es un grupo taxonómico definido, en él se incluyen una variedad de bacterias Gram (+) *Clostridium*, *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*,

Streptococcus y Gram (-) Bacteroides formadoras de esporas como: Clostridium aceticum, Clostridium formicoaceticum y Acetobacterium woodii.

4) Bacterias metanogénicas hidrogenófilas; bacterias tales como Methanobacterium, Methanococcus, Methanospirillum, y Methanobrevibacter, entre otros, son catalizadoras o consumidoras el H₂ producido por las bacterias acetogénicas para la generar el 28% del metano (CH₄) a partir de acetato y permiten una disminución de la presión parcial de hidrógeno.

5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas, Methanosarcina y Methanotherix son capaces de producir el 70% CH₄ o Biogás y dióxido de carbono a partir de acético.

Estas poblaciones se caracterizan por estar compuestas por microorganismos con diferentes velocidades de crecimiento y diferente sensibilidad a cada compuesto intermedio como inhibidor, esto implica que cada etapa presentará diferentes velocidades de reacción según la composición del substrato y que el desarrollo estable del proceso global requerirá de un equilibrio que evite la acumulación de compuestos intermedios inhibidores o la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV), que podría producir una bajada del pH.

Los beneficios asociados a la digestión anaerobia son:

- Reducción significativa de malos olores.
- Mineralización.
- Producción de energía renovable si el gas se aprovecha energéticamente y sustituye a una fuente de energía fósil.

Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la reducción de emisiones incontroladas de CH_4 , (que produce un efecto invernadero 20 veces superior al CO_2), y reducción del CO_2 ahorrado por sustitución de energía fósil.

Se hace necesario controlar parámetros ambientales para asegurar el desarrollo del proceso, tales como:

- pH, cercano a la neutralidad.
- Es recomendable una alcalinidad superior a 1,5 gr/l CaCO_3 , para asegurar la capacidad tampón y evitar la acidificación. .
- Potencial redox, con valores recomendables inferiores a -350 mV.
- Nutrientes, con valores que aseguren el crecimiento de los microorganismos.
- Tóxicos e inhibidores, cuya concentración ha de ser la mínima posible.

Igualmente se hace necesario controlar parámetros operacionales tales como:

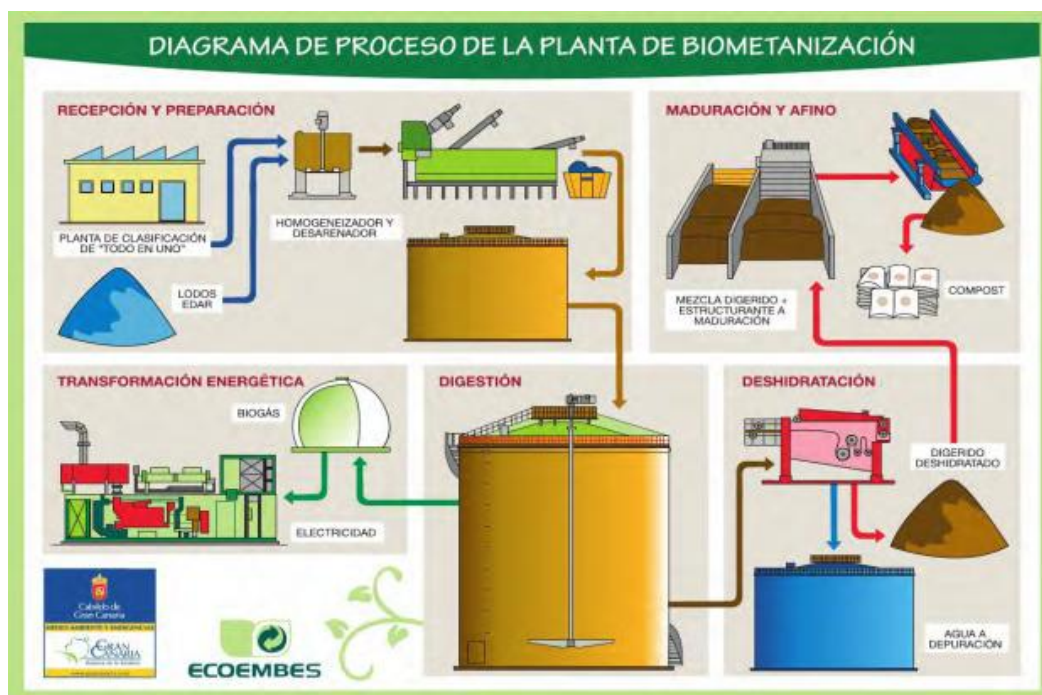
- Temperatura. Podrá operarse en los rangos psicrófilico (temperatura ambiente), mesófilico (temperaturas en torno a los 35 °C) o termófilico (temperaturas en torno a los 55 °C). Las tasas de crecimiento y reacción aumentan conforme lo hace el rango de temperatura, pero también la sensibilidad a algunos inhibidores, como el amoníaco. En el rango termófilico se aseguran tasas superiores de destrucción de patógenos.
- Agitación. En función de la tipología de un “reactor” debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de substrato a

cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

- Tiempo de retención. Cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos.

Velocidad de carga orgánica. Cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. [Rodríguez, 2014, pág.27-31]

Ilustración 20 Diagrama de una planta de Biometanización



Fuente: Tomado de Ilarri, Rodrigo y Fernández.(2014), en Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos.2014, pág. 41.

Biodiesel

El biodiesel es un biocarburante obtenido a partir de plantas que producen aceites vegetales (oleaginosas) por ejemplo: la soja, colza, girasol, maíz, palma africana, debidamente sometidas a un proceso de transesterificación (proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un alcohol). Realmente no es un proceso que utilice los RSU; el biodiesel se obtiene de cultivos agrícolas o cultivos vegetales no destinados a alimentación (plantas como la *Euphorbia lathyris* o microalgas). Por ello, no es una tecnología de valorización energética de RSU: no se alimenta de rechazos de procesos, la materia prima usada se cultiva para estos fines (Rodrigo Ilarri javier, Rodrigo clavero maria elena, 2015).

Queda claro entonces que el biodiesel no emplea residuos sólidos urbanos como insumo, por lo tanto, no se explicara como una tecnología de valorización energética de residuos, como se ha creído.

Bioetanol

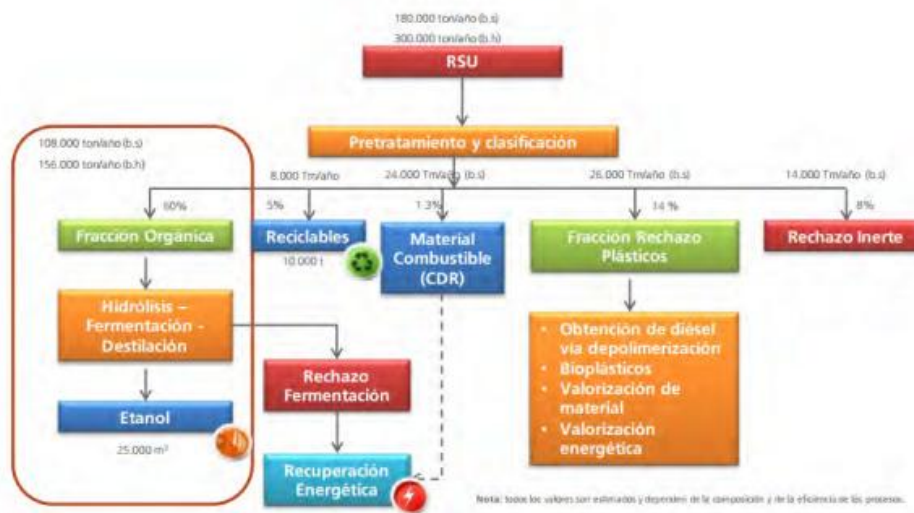
Se obtiene a partir de materias primas ricas en azúcar: maíz (USA), caña de azúcar (Brasil) y cereales (España). El proceso de obtención es mediante fermentación.

La tecnología desarrollada por Abengoa, denominada “Waste-to-biofuels” (W2B), permite resolver simultáneamente la gestión eficiente de residuos sólidos urbanos y la producción sostenible de energía, Rodríguez Mendiola, 2012, citado por Ilarri, Rodrigo y Fernández (2014). Consiste en obtener recursos energéticos y materiales a partir de los RSU.

Abengoa, produce etanol de biomasa usando enzimas que hidrolizan la celulosa y la hemicelulosa para su conversión en azúcares que luego se fermentan y se concentran, dando lugar al etanol. Para poder producir una cantidad adecuada de azúcar fermentable a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), es necesario realizar un tratamiento previo que homogenice la materia orgánica produciendo una fibra granular limpia.

La solución integral W2B de Abengoa, además de tratar la fracción orgánica de los residuos urbanos, aprovecha del resto de componentes tanto de los reciclables (plásticos, PET, metales) como de los no reciclables CDR (principalmente mezclas de gomas, maderas y textiles), así como de otros plásticos mediante tecnologías de Pirolisis para obtención de diesel, obtención de bioplásticos o valorización energética o material (Rodrigo Ilarri javier, Rodrigo clavero maria elena, 2015).

Ilustración 21 Diagrama de flujo para la producción de Bioetanol



Fuente: Rodríguez Mendiola, 2012, citado por Ilarri, Rodrigo y Fernández (2014) en Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos pág.,75]

Ecodiesel o diésel sintético

Esta tecnología está patentada por el Dr. Ingeniero Industrial D. Pedro Server Barceló y sus características esenciales son:

- Descripción del producto principal: hidrocarburo inflamable principalmente diesel sintético de alta calidad. Diesel bajo normativa UNE o DIN 590.
- Materia prima: Materiales considerados residuos orgánicos de diferentes orígenes
- Proceso tecnológico: Proceso de Separación y Conversión Termo-Atmosférica (TACS) llamado también rotura molecular controlada (SMRF)
- Productos residuales: compuesto de carbono y agua destilada
- Relación de conversión: El porcentaje de conversión varía entre un 30% a un 90% dependiendo de tipo de materia prima ingresada y de la separación selectiva.
- Emisiones generadas por la instalación: no se generan emisiones nocivas.
- Compatibilidad de residuos: El sistema está preparado para incorporar tanto residuos urbanos, como residuos de agricultura y vegetación, papel, plásticos, aceites y grasas usadas de baja calidad, residuos sólidos de tratamiento de aguas negras, y residuos de hospitales asimilables a urbanos.

Se entiende como biodiesel al biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de aceites vegetales o grasas animales, o de biomasa (vegetal y animal). El biocombustible procedente de los residuos sólidos urbanos al contener derivados del

petróleo se denomina ECODIESEL, al estar dando un segundo uso a este tipo de materia. [Ilarri, Rodrigo y Fernández,2014,78]

Descripción de la tecnología

La tecnología es el Proceso de Separación y Conversión Termo - Atmosférica (TACS) o Server Molecular Roture Fracture (SMRF). El TACS consiste en una conversión de no-combustión que transforma la biomasa y las materias primas orgánicas procedentes de residuos sólidos urbanos (RSU), en combustibles diesel sintéticos de alta calidad, compuestos del carbón y agua.

A través de varios procesos, el TACS imita los procedimientos geológicos de la tierra y geotérmicos naturales que transforman el material orgánico en el petróleo crudo fósil. El tiempo real de la conversión ocurre en un corto período de tiempo.

El principio tecnológico en el que se sustenta es la posibilidad de romper mecánicamente las grandes moléculas orgánicas en otras más pequeñas, y aprovecharse de la propiedad de los hidrocarburos de tener una temperatura de ebullición más baja cuanto más corta es la cadena del hidrocarburo, principio ya utilizado en tecnologías actuales de cracking térmico convencional.

La materialización del principio requiere de mecanismos específicos, accionados eléctricamente, denominados “turbinas”, y de la contribución de un “catalizador mecánico”, producto comercial modificado de origen natural o artificial duro e inerte, que produce un fuerte amasamiento de la materia orgánica, rompiendo sus moléculas y calentándola. De ahí el término utilizado de “cracking termo mecánico”.

Fases del proceso

El proceso consta de cuatro fases:

- Aplicación de temperatura Termal a la materia orgánica
- Presión Atmosférica para desprender hidrocarburos
- Conversión para producir aceite liviano y agua de los sólidos
- Separación de aceites livianos y agua usando reducción por destilación

La materia orgánica convertible se transforma en gasóleo con un rendimiento estimado en el 40%. Este rendimiento depende del análisis elemental, y sobre todo del contenido de oxígeno de la materia prima y de las posibles entradas de aire en el proceso.

Se estima, por lo tanto, que, para producir 1.000 litros de gasóleo, equivalentes a 840 kg, se requieren 2.100 Kg. de materia convertible, o lo que es lo mismo, 2.800 kg de rechazo seco o bien 3.733 Kg. de rechazo húmedo.

La primera operación es el tratamiento y preparación de la materia prima, consistente principalmente es la separación de vidrio y metales, molienda, secado y 2da molienda, hasta conseguir una granulometría fina, pasa por la malla de 6 mm y no pasa por la malla de 0,5 mm de apertura. [Ilarri, Rodrigo y Fernández,2014,81]

Efluentes y emisiones generadas en el proceso

Además del gasóleo, el producto principal, son efluentes del proceso los siguientes:

- Gases: Dióxido de carbono (CO₂) y vapor de agua. No serán emitidos otros gases, en cantidades significativas.

- Líquidos: agua de proceso

- Sólidos: partículas, inorgánicos que se consideran inertes, metales y vidrio

- Calor

Las principales ventajas a destacar del uso del Ecodiésel respecto al gasóleo son:

- El Ecodiésel, comparado con el gasóleo A (automoción), al no contener bencénicos ni ciclo parafinas, reduce las emisiones de todos los contaminantes.

- Su uso no demanda modificaciones de las infraestructuras de distribución y venta de combustibles líquidos ya instaladas.

- Presenta un mayor punto de ignición (reduce peligro de explosiones por emanación de gases durante el almacenamiento).

- Su uso no requiere ninguna modificación en los motores diesel convencionales, obteniéndose rendimientos similares.

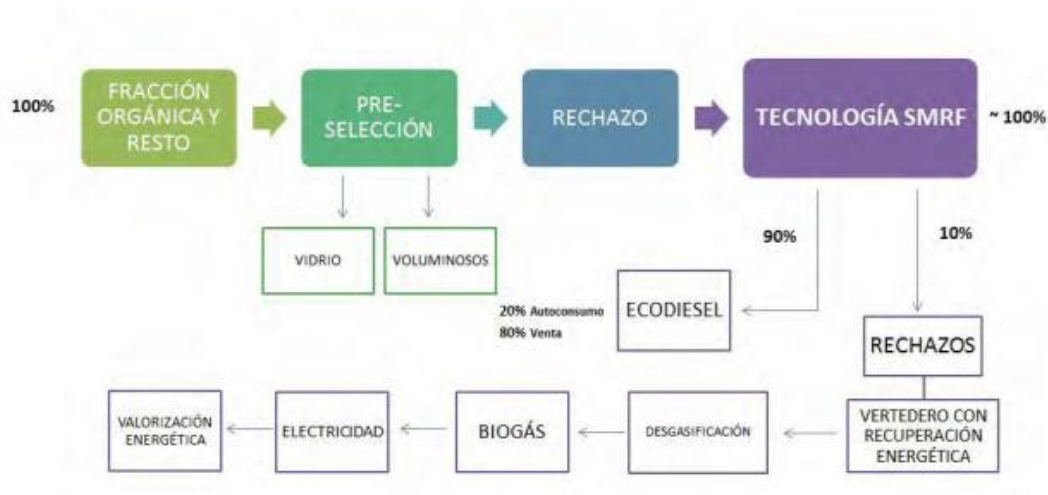
- Presenta un índice de cetano promedio de 55, cumpliendo la Normativa Vigente Actual del DIESEL DIN o UNE 590.

- Alta biodegradabilidad y menor toxicidad.

Esta tecnología podrá incorporarse tras el tratamiento que reciben los residuos en plantas de tratamiento mecánico biológico o bien directamente tras la recogida de

RSU, previa selección manual de vidrio y voluminosos. [Ilarri, Rodrigo y Fernández,2014, 82]

Ilustración 22 Esquema del proceso de fabricación de Ecodiesel



Fuente: Tomado de Ilarri, Rodrigo y Fernández,(2014), en Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos pág.,82]

Gasificación

La gasificación de residuos orgánicos es una tecnología diseñada para obtener un gas de síntesis, producto que es usado para producir energía, combustibles, o diferentes productos químicos. La gasificación, se define como un proceso piro lítico optimizado, por medio del cual una sustancia sólida o líquida, con alto contenido en carbono, es transformada en una mezcla gaseosa combustible, mediante su oxidación parcial, con base en la aplicación de calor.

El gas pobre resultante puede ser utilizado en turbinas de gas o en motores de combustión interna. Ambos motores térmicos pueden ser acoplados a un generador para la producción de electricidad. Como agente oxidante se emplea el vapor, el oxígeno o el aire. Si se utiliza aire como agente oxidante, el gas resultante contiene

monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H), metano (CH₄), alquitrán, agua y pequeñas cantidades de hidrocarburos tales como el etano, este gas posee un bajo poder calórico, del orden de 4 a 7 MJ/m³; en cambio, si se emplea como agente oxidante el O₂ se pueden alcanzar de 10 a 18 MJ/m³. La tecnología más empleada es, sin embargo, la que utiliza aire como agente oxidante, por razones económicas y tecnológicas.[MAVDT,2008,46]

En el proceso de la gasificación, se distinguen tres (3) fases o etapas, que en el documento del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial se resumen así:

Fase 1: Obtención de la materia prima.

Este proceso se aplica a todo tipo de residuo de origen orgánico como por ejemplo: Residuos sólidos urbanos, residuos forestales, agrícolas vegetales o animales, lodos de tratamiento de aguas, aceites usados, flujos de plásticos mezclados, llantas usadas y otros artículos de caucho, residuos urbanos peligrosos. Los únicos materiales que no son susceptibles de tratamiento mediante este proceso son los vidrios y los metales. Por esto la separación en la fuente debe condicionarse a separar por un lado los vidrios y metales y llevarlos a reciclaje y por el otro, los demás residuos con dirección a la planta de gasificación.

Fase 2: Selección y acondicionamiento.

Para esta fase de tratamiento, el único proceso de acondicionamiento requerido es la unificación de tamaños de partícula de los residuos a tratar, sin importar de que material están hechos. Para lograr esto, los residuos deben ser sometidos a un proceso de trituración, mediante el uso de trituradores industriales de martillo o cuchilla, que

permitan llevar los materiales a un tamaño de artícula igual o inferior a 2 mm. Adicionalmente al llevar a cabo esta operación se logra la homogenización de la mezcla de materiales a tratar.

Fase 3: Proceso de transformación.

Esta fase se hace en un reactor o dispositivos de contacto, entre el combustible y el comburente denominados gasificadores, que emplean distintos tipos de sistemas combustible - comburente que se adaptan a las necesidades del producto a tratar y del gas final obtenido.

Las posibilidades de sistema combustible comburente son varias: oxígeno, aire, vapor de agua, aire rico en oxígeno, etc. En el caso de la gasificación de biomasa, si se emplea aire como agente gasificante, se obtiene un gas de bajo poder calorífico aprovechable con fines energéticos. Empleando oxígeno se obtiene un gas de menor poder calorífico pero de mayor calidad que se puede emplear como combustible, o en la síntesis de metanol, mientras que aplicando vapor de agua se obtiene un gas rico en H₂ y CO apto para la síntesis de gasolinas, metanol, etc. Por último, en el caso de emplear hidrógeno, se obtiene un gas con alto porcentaje de metano que puede llegar a sustituir al gas natural. (MAVDT, 2008, 46-47]

En términos generales, las características para el proceso de gasificación de una corriente de residuos, son las siguientes:

- Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.
- La temperatura usual de trabajo es superior a los 750 °C.

- Las reacciones químicas producidas en este proceso son de dos tipos:

a) De cracking molecular: la temperatura provoca la rotura de los enlaces moleculares más débiles originando moléculas de menor tamaño, generalmente hidrocarburos volátiles.

b) De reformado de gases: estas reacciones son específicas de los procesos de gasificación y en ellas suele intervenir el vapor de agua como reactivo.[Ilarri, Rodrigo y Fernández, 2014,103]

Por otro lado, el sentido del flujo del gas y el sólido a gasificar divide a los gasificadores en dos grupos: en contracorriente o Up draft, y en corriente directa o Down draft. En cualquier caso se produce una serie de reacciones de Pirolisis, oxidación y reducción o gasificación.

En el primer caso (Contracorriente), se descompone el sólido original en una mezcla sólido – líquido - gas. En la segunda (corriente directa), reacciona el agente gasificante y libera la energía calorífica que mantiene el sistema y por último, se produce la reducción del sólido remanente y su conversión en gas. .(MAVDT, 2008, 46-47]

El funcionamiento de ambos gasificadores es muy similar. Su mayor diferencia estriba en la menor temperatura de los gases obtenidos y en su mayor poder calorífico. En el interior de un reactor en contracorriente existen distintas zonas: la primera es de secado, la segunda de eliminación del agua de constitución, donde el sólido se calienta a unos 450 °C, posteriormente alcanza los 600°C y entra en la zona de gasificación propiamente dicha, en la que, primero se produce la reducción de gases como CO₂ y

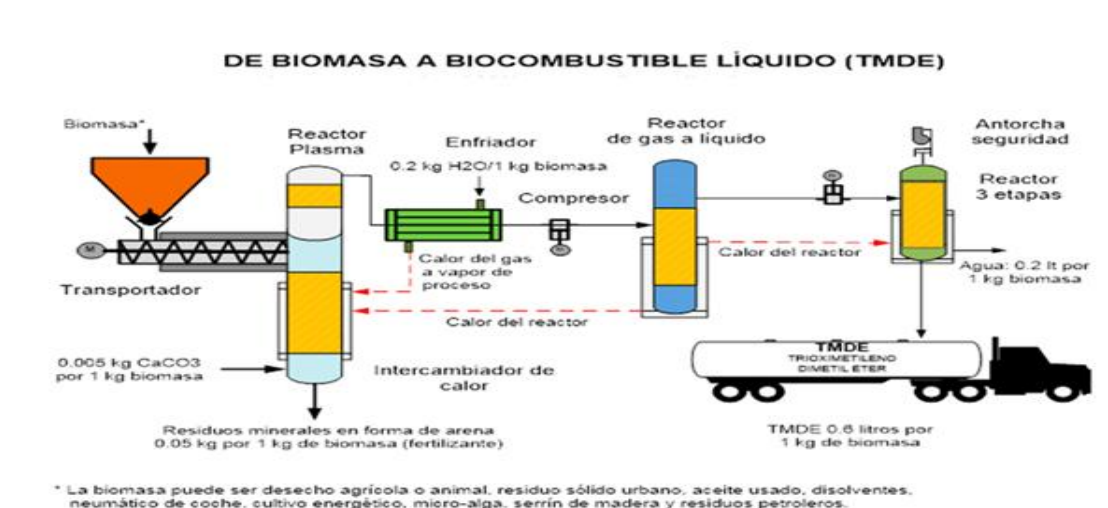
H₂O, para formar CO y H₂ y, por último, en la zona inferior se produce el contacto del sólido casi descompuesto, con los gases de reacción, produciéndose las últimas reacciones de oxidación. En la figura 17 se presenta el flujo de proceso dentro del equipo de gasificación. .(MAVDT, 2008, 47-48]

Como resultado del proceso de gasificación se obtiene un gas de síntesis o syngás y un residuo de diversa composición, así:

- El gas de síntesis compuesto principalmente por CO, H₂, CO₂, N₂ (si se emplea aire como gasificante) y metano (CH₄) en menor proporción. Como productos secundarios se generan alquitranes, compuestos halogenados y partículas. Este gas podrá ser valorizado energéticamente por producción eléctrica mediante ciclos combinados o simples, turbinas de gas o motores de combustión interna.

- El residuo sólido, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado; generalmente contiene parte del carbono sin gasificar. Las características de este residuo son similares a las escorias de los hornos en las plantas de incineración. [Ilarri, Rodrigo y Fernández, 2014,104].

Ilustración 23 Esquema de planta de gasificación



Fuente tomado de [Ilarri, Rodrigo y Fernández, 2014,104]

Pirolisis / Termólisis

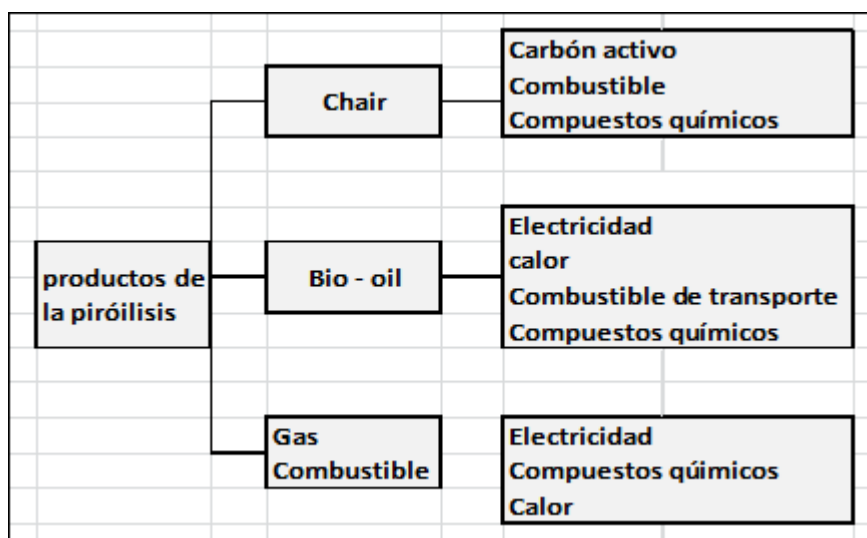
Es el proceso a través del cual la biomasa se degrada térmicamente en ausencia total de un oxidante (oxígeno). En dependencia de la velocidad y la temperatura de la reacción, se obtienen diferentes productos además de los gaseosos; desde el carbón vegetal (Pirolisis lenta de 300° a 500° C), hasta aceites y líquidos piroleñosos (Pirolisis rápida de 800° a 1.200° C). (MAVDT,2008,40]

El proceso de pirolisis produce tres fracciones de componentes:

- Una corriente de gas que contiene hidrógeno, metano, monóxido de carbono y diversos gases.
- Una fracción líquida que consiste en un flujo de alquitrán o aceite
- Coque inferior, que consiste en carbono casi puro. [MVCT, 2012,135]

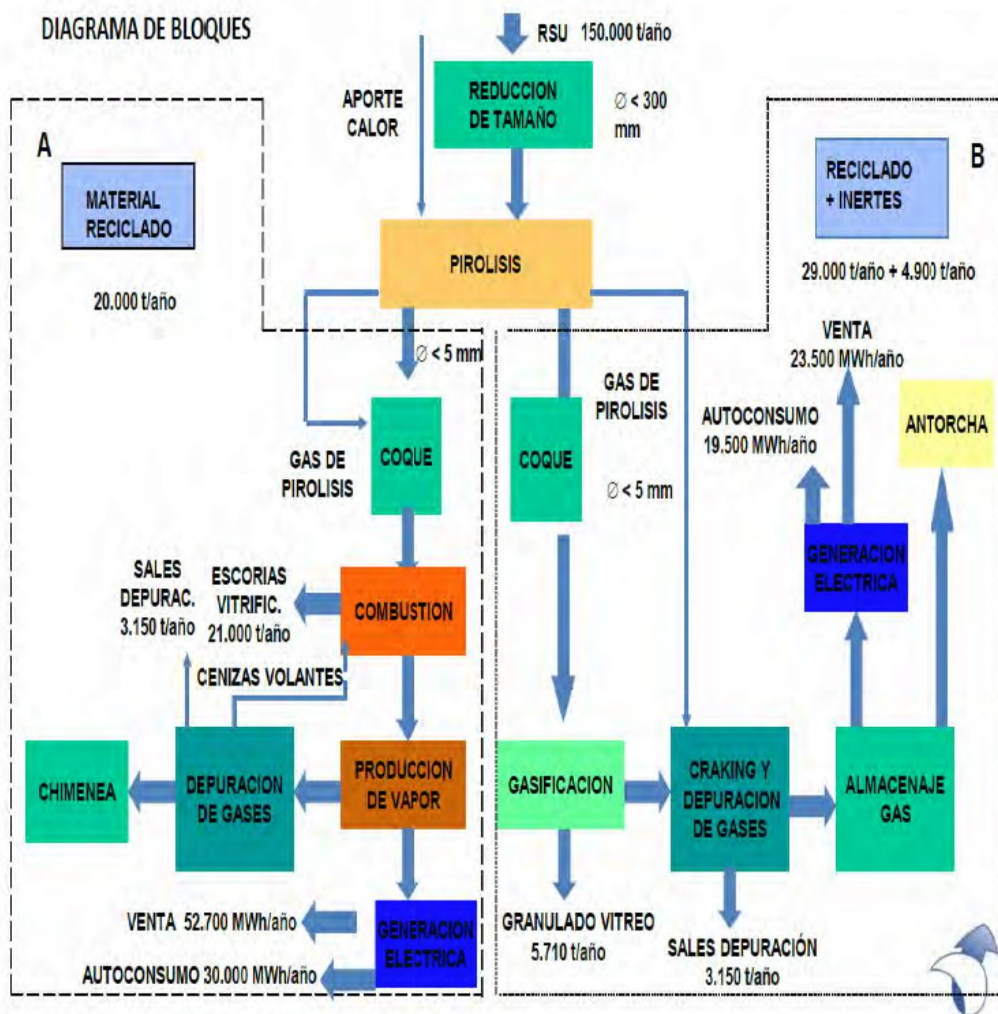
Según el informe técnico divulgativo “cambio climático y Gestión de residuos (2010), el resultado de la Pirolisis, es un gas combustible que contiene monóxido de carbono (CO) e Hidrógeno, gases que pueden ser empleados para la producción de energía eléctrica a través de su combustión, reduciéndose nuevamente la necesidad de combustibles fósiles, pero generando gran cantidad de CO2 la atmósfera. [ATEGRUS, 2010,29].

Ilustración 24 Aplicaciones principales de los productos obtenidos de la Pirolisis



Tomado de Cortázar Dueñas, María, en Estudio comparativo de tecnologías comerciales de valorización de residuos sólidos urbanos, 2014, pág.35

Ilustración 25 Esquema de procesos en la tecnología de Pirólisis



Fuente: SIRUSA. "Valorización energética de residuos urbanos", citado por Ilarri, Rodrigo y Fernández, en alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos 2014, pág. 122.

Plasma

El plasma, se define como un gas ionizado eléctricamente neutro, conocido como el cuarto estado de la materia. Una de las maneras más extendidas en la generación de plasma consiste en la formación de un arco eléctrico por el que se hace pasar una corriente continua entre dos electrodos, ánodo y cátodo. De este modo, el aire que existe entre ambos electrodos se calienta alcanzando temperaturas muy altas,

si en este momento se introduce un gas inerte (normalmente argón o vapor de agua), se crea una antorcha de plasma que puede alcanzar temperaturas superiores a los 10.000°C. Como sistema para el tratamiento de residuos sólidos, el proceso del plasma va asociado a tecnologías como la gasificación, la Pirólisis, etc. para que realmente se convierta en un instrumento de valorización energética de residuos. El proceso necesita de un aporte externo de energía con valores de 10-20 kw / ton de residuo.[Ilarri, Rodrigo y Fernández,2014,102].

Las características esenciales de la tecnología del Plasma son las siguientes:

- Conservación máxima de la energía contenida en los residuos.
- El balance energético resultante es positivo.
- Ausencia de subproductos potencialmente tóxicos o dañinos.
- Altas temperaturas que permiten la disociación definitiva e irreversible de las estructuras moleculares en sus compuestos básicos. Este proceso de disociación molecular se caracteriza por las reacciones de Cracking térmico (las moléculas complejas son disociadas en moléculas más ligeras formando gases de hidrocarburos e hidrógeno), Oxidación parcial (que favorece la formación del monóxido de carbono (CO) y pequeñas cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) por lo que es indispensable controlar la entrada de oxígeno (O₂) al reactor para que la formación de estos dos últimos compuestos (CO₂ y H₂O) no sea significativa) y por último una Reformación (que ensambla los elementos primarios en nuevas moléculas). La destrucción de compuestos tóxicos, incluso semivolátiles (SVOC), evita la formación de dioxinas y furanos.

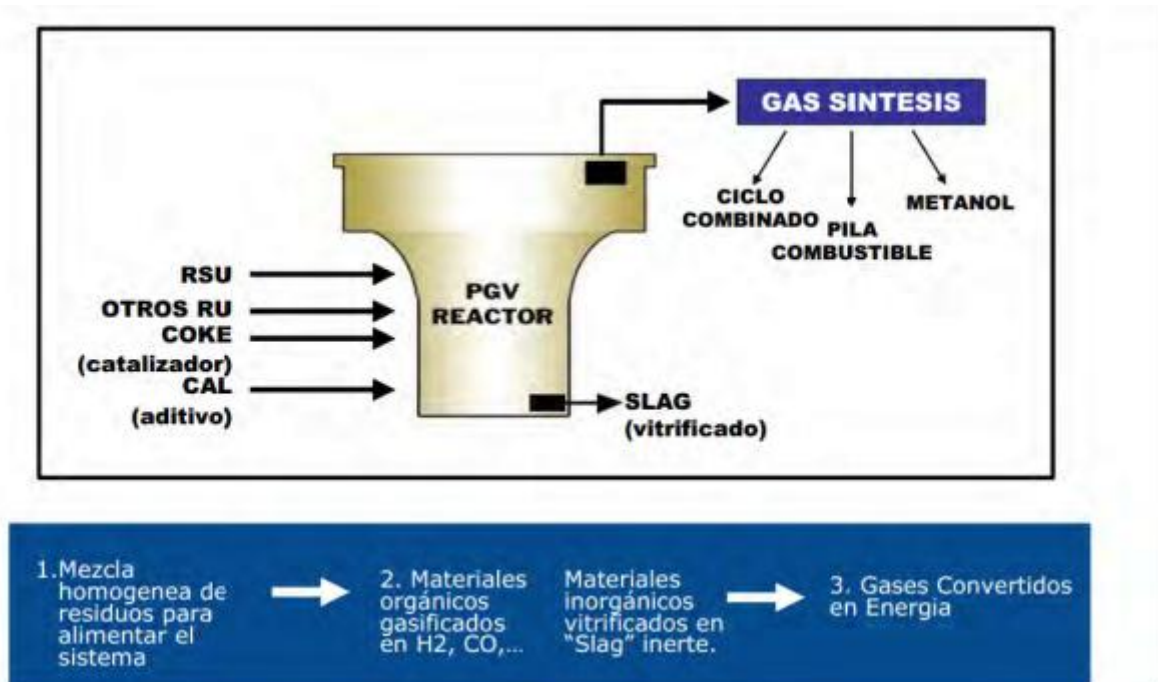
La fusión de las moléculas inorgánicas genera lava de tipo volcánico que al enfriarse forma un vidrio basáltico inerte, no tóxico y valorizable materialmente que deja atrapado en la red cristalina interna los compuestos peligrosos.

El resultado es que todos los residuos inorgánicos se vitrifican a partir de la lava producida por el plasma. Los residuos orgánicos son reducidos completamente a gas y cristal vitrificado (Slag), que tiene mejores prestaciones que el vidrio reciclado. .[Ilarri, Rodrigo y Fernández,2014,117]

Ventajas de la tecnología de Plasma :

- Ausencia de dioxinas, cenizas o escorias.
- Emisiones gaseosas de turbina menores a los límites de la Normativa europea.
- Es aplicable a todo tipo de residuos (RSU, industriales, tóxicos, neumáticos, etc.) y permitirá en un futuro alcanzar el objetivo de “vertedero cero”.
- Producción neta de energía: 1.400-2.400 kWh / ton (75% de generación bruta).
- Alta eficiencia energética (entre 1,5 y 2,5 veces superior a las incineradoras de última generación).

Ilustración 26 Proceso de Plasma



Tomado de Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos de Javier Rodrigo Ilarri, María Elena Rodrigo Clavero y José maría Fernández González, España, 2014.pág. 118.

Incineración

Incineración. Es el proceso de reducción de los residuos sólidos (del orden de 90% en volumen y 75% en peso) a material inerte (escoria y cenizas) y a productos oxidados mediante la combustión, provoca descomposición de las sustancias por vía térmica, mediante la oxidación a temperaturas elevadas (760 °C o más) destruyendo la fracción orgánica de los residuos y reduciendo su volumen considerablemente. [MVCT, 2012,135].

Ilustración 27 Plantas de incineración.



Fuente

Tomado de [MVCT, 2012,135].

Greenpeace, en el documento de gasificación, pirolisis y plasma hace una comparación de la energía ahorrada con el reciclaje vs. La energía generada con la incineración, para algunos tipos de residuos habitualmente empleados en este proceso, el cual relacionamos a continuación.

Tabla 26 Reciclaje vs. Incineración: análisis de ahorro energético

Residuo	Energía ahorrada por reciclaje (MJ/Tm)	Energía generada con incineración (MJ/Tm)
Papel		

Papel virgen	22.398	8.444
Cartón	22.887	7.388
Revistas, libros,	35.242	8.233
Papel reciclado	21.213	7.600
Plástico		
PET	85.888	210.004
PEAD	74.316	21.004
Otros envases	62.918	16.782
Film/envoltorio	75.479	14.566
Envases rígidos	68.878	16.782
Vidrio		
Botellas y frascos	3.212	106
Otros	582	106
Metales		
Latas bebida aluminio	256.830	739
Otros recipientes de aluminio	281.231	317
Otros no ferrosos	116.288	317
Botes y latas férricos/mixtos	22.097	739
Otros férricos	17.857	317
Orgánico		
Restos de comida	4.215	2.744
Restos de poda	3.556	3.166
Madera	6.422	7.072
Gomas y cauchos		
Neumáticos	32.531	14.777
Otras gomas	25.672	11.505
Textiles		
Algodón	42.101	7.283
Sintético	58.292	7.283

Fuente: Incineración de residuos: una tecnología muriendo. GAIA 2003, en Gasificación, Pirólisis y plasma. Nuevas tecnologías para el tratamiento de los residuos urbanos: viejos riesgos y ninguna solución. GREENPEACE. 2011, pág. 26.

Como se puede verificar en la anterior tabla, solo para el caso del PET y la madera, sería viable en vez de reciclar, generar energía a partir de estos residuos, para todos lo demás es contraproducente desde todo punto de vista someter estos residuos a incineración.

Conclusiones

- Existen alternativas viables desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, para minimizar los impactos generados y poder manejar y aprovechar eficientemente en los términos de la ley, los residuos sólidos orgánicos urbanos generados.
- Existen técnicas probadas y de amplia aplicación para la recuperación, tratamiento y valorización de los residuos orgánicos generados desde las unidades residenciales, comercio e industria, empleadas para minimizar los impactos generados por el manejo de estos residuos y para generar un producto estabilizado como el compost, el humus y el Lombricompuesto.
- Dada la normativa ambiental vigente todo está dado para que los usuarios del servicio de aseo, los prestadores de los servicios públicos y los entes municipales hagan una buena gestión de los residuos sólidos en todo el territorio nacional. Esta gestión inicia desde la minimización en la cantidades y riesgo de los residuos en la generación, la separación en la fuente por parte de los usuarios, el establecimiento de jornadas de recolección selectiva por parte del prestador del servicio público de aseo, recuperando al máximo los residuos aprovechables y minimizando la disposición final, legalizando a los recuperadores ambientales como prestadores del servicio en el componente de aprovechamiento y valorización de los residuos y la aplicación de sanciones pedagógicas, sociales y pecuniarias a través de la aplicación del Comparendo Ambiental por parte del ente municipal.

- Con una buena gestión de los residuos se minimizarán los impactos generados en todo el flujo del proceso de recolección selectiva, transporte, aprovechamiento, valorización y disposición final de los residuos municipales, como la emisión de olores ofensivos, la contaminación de las aguas y el suelo; la proliferación de insectos vectores y roedores, la generación de lixiviados en los rellenos sanitarios, la disminución de la presión por los recursos naturales por la industria en la extracción de materias primas vírgenes, la recuperación de materiales con valor de uso y valor económico para la industria como insumos en sus procesos, disminuyendo así los costos de producción y generando empleo productivo y sostenible.
- Los residuos sólidos urbanos y rurales municipales especialmente los residuos orgánicos, al no ser apropiadamente manejados por el municipio, pueden convertirse en un problema de salubridad pública y una fuente de importante de contaminación ambiental.
- Existen en el mercado local tecnológicas comerciales para el tratamiento y valorización de los residuos sólidos orgánicos que pueden constituirse en una excelente alternativa para el aprovechamiento integral de los residuos sólidos orgánicos, que estos se generan en mayor proporción.
- La región del Oriente Antioqueño no genera las cantidades económicamente viables para aplicar tecnologías de aprovechamiento energético a partir de los residuos sólidos orgánicos.
- Aplicar tecnologías como la incineración de los residuos para la producción de energía generaría un retroceso en los avances municipales y regionales

de aprovechamiento de residuos a partir del reciclaje y la biodegradación de la materiales orgánicos e inorgánicos recuperados desde la fuente de generación. Además de perder el potencial económico y de generación de empleo por los residuos como materias primas para la industria.

- Es mejor alternativa el reciclaje de los residuos por los ahorros de energía generados en los procesos industriales que la energía generada por cada tipo de residuos en un proceso de incineración.
- El someter los residuos a un proceso de incineración se estaría perdiendo el potencial que tienen estos en la generación de empleo, en el cierre del ciclo en los procesos industriales, en minimizar la presión sobre los recursos naturales.

Recomendaciones

- Aprovechar los residuos orgánicos a través de la técnica del compostaje y la lombricultura, es recomendable como técnica para el manejo eficiente de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios, comerciales e industriales, ya que su producto (compost, humus y Lombricompuesto) se podría emplear al interior del municipio para mejorar la calidad del suelo y aportar nutrientes para el mantenimiento de las zonas verdes y jardines municipales, recuperación de zonas degradadas por la minería, los procesos erosivos naturales y antrópicos y la reforestación. Además, se contribuye a prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios y a reducir los impactos ambientales que el inadecuado manejo de estos residuos genera.
- Para un adecuado manejo, aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos recuperados desde la fuente de generación, se recomienda realizar el proceso de compostaje aerobio combinando con la lombricultura para obtener un producto de alta aceptación en el mercado como: el compost, el vermicompost (humus sólido) y el humus líquido.
- El éxito en la gestión de los residuos sólidos está en invertir la pirámide, donde la prevención y la minimización en la generación de los residuos se constituyan en la base de la gestión, fortalecidas estas con la separación en la fuente y la recolección selectiva con destino al aprovechamiento y valorización de los residuos municipales.

- Los entes municipales como responsables directos de garantizar una adecuada gestión de los residuos sólidos a través de la prestación del servicio público de aseo, deben implementar estrategias de gestión que permitan:
 - a) La educación ambiental con miras a la socialización, sensibilización y capacitación en torno al manejo adecuado de los residuos sólidos.
 - b) La minimización en la generación y riesgo en la gestión de los residuos.
 - c) La separación en la fuente de residuos orgánicos e inorgánicos.
 - d) La recolección selectiva por parte del prestador u operador del servicio público de Aseo.
 - e) El fortalecimiento al aprovechamiento de residuos orgánicos e inorgánicos a fin de incrementar los niveles de aprovechamiento y la reducción de los materiales que se llevan a disposición final en los rellenos sanitarios.
 - f) El fortalecimiento y la incorporación del reciclador o recuperador ambiental en la prestación del servicio de recolección de materiales aprovechables, procurando la significación de su labor.
 - g) La reconversión tecnológica de los sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos reduciendo la emisión de gases efecto de invernadero, la contaminación ambiental y los volúmenes a enterrar.

Referencias

Aburrá, A. M. V. A. (2004). *Manual Para El Manejo Integral De Residuos En El Valle De Aburrá*, 1–47.

ACODAL. (2013). Manual de Aprovechamiento de Residuos Organicos a traves de sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburrá.

Ministerio del Medio Ambiente (1997). Política para la Gestion Integral de Residuos, 1–37.

Area Metropolitana Del Valle De Aburrá. (2004). Manual Para el Manejo Integral de Residuos Sólidos en el Valle de Aburrá. 1–47.

Avendaño, E. (2015). Panorama Actual De La Situación Mundial, Nacional Y Distrital De Los Residuos Sólidos . Análisis Del Caso Bogotá D.C . Programa Basura Cero, 112.

Bejarano, C., & Restrepo, J. (2002). Abonos Orgánicos Fermentados Tipo Biofertilizantes. Caldos Minerales y Biofertilizantes, 43.

De la Cruz Rodríguez, R. A. (2005). Aprovechamiento De Residuos Organicos a Traves De Composteo Y Lombricomposteo, 14.

Retrieved from http://www.uaaan.mx/postgrado/images/files/hort/simposio5/05-aprov_residuos.pdf

Descripci, L., & Term, L. (2000). Guía para selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos, 119–184.

For, G., Organic, U. N., & Wastes, S. (2006). 2006-04-26 Guía Para El Aprovechamiento De Residuos Sólidos Orgánicos No Peligrosos, (571).

Henao, G. J., & Márquez, L. M. Z. (2008). Aprovechamiento De Los Residuos Sólidos Orgánicos En Colombia, 116. Retrieved from http://tesis.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf?origin=publication_detail

ICA, I. C. A. (2003). Resolucion 00150, *00150*(00150), 1–18.

Ideam; Unicef; Cinara. (2005). Marco político y normativo para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia, 16.

Juárez, D. M., Moreno, M. E. C., & Hernández, M. A. M. (2008). Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos urbanos para producir biogás. *Ingeniería Química*, *40*(455), 198–208.

Lopez Wong, W. (2010). Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. *Centor de Investigacion En Biotecnologia Aplicada Tlaxcala*.

MAVDT, & EPAM. (2008). Construcción de criterios técnicos para el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos con alta tasa de biodegradación, plásticos, vidrio, papel y cartón., 89.

Ministerio de Medio Ambiente. (2002). Guía Para Selección De Tecnologías De Manejo Integral De Residuos Sólidos.

Retrieved

From

[Http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/residuossolidos/LIBRO 4 -PARTE 1ok.pdf](http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/cartillas/residuossolidos/LIBRO 4 -PARTE 1ok.pdf)

Ministerio de Vivienda, C. y T. (2012). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS, TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano.*

Retrieved

from

[Http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PGIRS/PGIRS de Segunda Generación/Titulo F del RAS 2000.PDF](http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/PGIRS/PGIRS de Segunda Generación/Titulo F del RAS 2000.PDF)

Rodrigo Ilarri javier, Rodrigo Clavero Maria Elena, F. G. Jose Maria. (2015). *Alternativas de valorización y eliminación de residuos sólidos urbanos.* Román, Pilar; Martínez, María; Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor.*

Sanchez Ruiz, D. (2013). Estudio de la Factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos “Orgánicos de Colombia,” 118.

Retrieved from <http://bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/4870/1/TAA01264.pdf>