



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA CEDA

MEXICO LOW EMISSIONS DEVELOPMENT PROGRAM

CONTRATO: AID-523-C-11-00001



Julio 7, 2013

Este informe fue elaborado por Tetra Tech Inc. ES para la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID.

AVISO LEGAL

Las opiniones expresadas en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni la del Gobierno de los Estados Unidos.

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RSU

El presente documento fue elaborado por el Ing. Arturo Romero-Paredes R., con la colaboración de la M. en C. Marina Bergua Conde, bajo la supervisión del Ing. Mark Oven de Tetra Tech ES Inc., en el marco del Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (MLED), patrocinado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), bajo el contrato “AID-523-C-11-00001” implementado por Tetra Tech ES Inc. Para mayor información, por favor contacte a: info@mledprogram.org

www.mledprogram.org

ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CEDA.

Contenido

Relación de figuras por número consecutivo	6
Relación de Tablas	8
Resumen	9
1 Acrónimos y Glosario de términos	10
1.1 Acrónimos, Unidades	10
1.2 Glosario de términos	11
2 Antecedentes y objetivos	13
2.1 Introducción.....	13
2.2 Objetivo del estudio.....	13
2.3 Antecedentes y justificación.....	14
3 Resumen Ejecutivo	17
4 Diagnóstico.....	30
4.1 Introducción.....	30
4.2 Ubicación y vías de acceso.....	30
4.3 Panorama general	32
4.4 Resultados obtenidos del diagnóstico	35
4.5 Manejo actual de los RSU en la CEDA.....	42
4.6 Análisis cualitativo y estimación cuantitativa de los RSI	43

4.7	Análisis del marco regulatorio federal y del Distrito Federal sobre los residuos	47
5	Estrategias en la gestión de RSU	59
5.1	Introducción.....	59
6	Tecnologías	68
6.1	Introducción.....	68
6.2	Rellenos sanitarios	68
6.3	Combustión, Incineración	76
6.4	Biodigestores	90
6.5	Composteo y Vermi-Composteo	103
7	Gestión de Residuos Sólidos Inorgánicos.....	137
7.1	Introducción.....	137
7.2	Resultados del Diagnóstico de los RSI.....	138
8	Diseño Conceptual del Modelo Propuesto y Estudio de Prefactibilidad	149
8.1	Introducción.....	149
8.2	LA CEDA en Contexto	150
8.3	La situación actual de los RSU de la CEDA.....	151
8.4	La selección de las tecnologías para la CEDA.....	151
8.5	Los beneficios esperados por la implementación del proyecto.....	154
8.6	Descripción general del proceso propuesto	154
8.7	Plan de Manejo Propuesto para los RSU de la CEDA	156
8.8	Lombricomposteo de los RSO.....	160
8.9	Composteo de RSO.....	162
8.10	Biodigestión de RSO	163
8.11	Productos obtenidos, su valor y los mercados.....	165
8.12	Costos de producción	168
8.13	Monto de inversión y su periodo de recuperación.....	169
8.14	Reducción de emisiones de GEI.....	170
8.15	Conclusiones	170

9 Bibliografía y Referencias.....	173
ANEXO 1 FORMATOS DE LA SEDEMA.....	186
ANEXO 2 <u>Relatoría de eventos para el proyecto de GIRS de la CEDA en la Ciudad de México.</u>.....	197

Imágenes

Relación de figuras por número consecutivo

<i>Fig. 1 Comparativo entre datos del inventario de RSU del DF y de los datos obtenidos en la CEDA.</i>	19
<i>Fig. 2 Distribución porcentual de los RSU de la CEDA.</i>	21
<i>Fig. 3 Plano de la Central de Abasto.</i>	31
<i>Fig. 4 Ubicación de la Central de Abasto.</i>	31
<i>Fig. 5 Diagnóstico del Manejo de los RSU del DF. Fuente: Secretaría de Obras 2008.</i>	34
<i>Fig. 6 Histograma de distribución del tiempo durante el diagnóstico.</i>	37
<i>Fig. 7 Imagen de un pepenador en los contenedores de la CEDA.</i>	40
<i>Fig. 8 Distribución porcentual de los RSU de la CEDA.</i>	44
<i>Fig. 9 Traspaleo de los RSO y dos técnicos llevando a cabo el diagnóstico.</i>	44
<i>Fig. 10 Histograma de frecuencias comparativo entre el DF y la CEDA.</i>	45
<i>Fig. 11 Distribución de frecuencia de los RSI en la CEDA.</i>	47
<i>Fig. 12 Diagrama de los elementos funcionales de la GIRSU.</i>	62
<i>Fig. 13 Imagen del Relleno Sanitario de Bordo Poniente.</i>	68
<i>Fig. 14 Dibujo esquemático que muestra la construcción de un relleno sanitario "moderno" en el cual se recuperan los lixiviados.</i>	70
<i>Fig. 15 Relleno Sanitario de Puente Hills.</i>	71
<i>Fig. 16 Numero de rellenos sanitarios al 2009 según SEMARNAT.</i>	72
<i>Fig. 17 Mapa Europeo que indica el número de plantas incineradoras.</i>	77
<i>Fig. 18 Planta Incineradora en Suecia.</i>	80
<i>Fig. 19 Diagrama esquemático del proceso de incineración.</i>	83
<i>Fig. 20 Diagrama de bloques del sistema de gasificación.</i>	84
<i>Fig. 21 Diagrama de bloques del sistema de Plasma.</i>	84
<i>Fig. 22 Fermentación anaeróbica de la glucosa en etanol.</i>	92
<i>Fig. 23 Respiración anaeróbica de la glucosa en Metano.</i>	92
<i>Fig. 24 Transformación de los principales compuestos en Metano.</i>	95
<i>Fig. 25 Producción de biogás por tipo de sustrato.</i>	99
<i>Fig. 26 Producción de metano en el reactor.</i>	100
<i>Fig. 27 Biodigestor de BioWorks.</i>	102
<i>Fig. 28 Imagen de RSO en forma de compost.</i>	107
<i>Fig. 29 Algunos ejemplos de sistemas de composteo.</i>	109
<i>Fig. 30 Botes composteros.</i>	110
<i>Fig. 31 Diagrama del proceso parcialmente mecanizado.</i>	111
<i>Fig. 32 Diagrama del proceso mecanizado.</i>	113
<i>Fig. 33 Bote para lombricomposta y lombriz Californiana.</i>	116
<i>Fig. 34 Gráfica de temperaturas del proceso de compostaje.</i>	118
<i>Fig. 35 Sucesión microbiana y Ambiental durante el compostaje.</i>	121
<i>Fig. 36 Anatomía de la Lombriz.</i>	122
<i>Fig. 37 Diversidad de los residuos sólidos inorgánicos y orgánicos no alimenticios.</i>	139

<i>Fig. 38 Histograma de frecuencias por tipo de residuo</i>	<i>140</i>
<i>Fig. 39 Grafica de distribución de frecuencias por peso</i>	<i>141</i>
<i>Fig. 40 Manejo sugerido de los RSI de la CEDA.....</i>	<i>142</i>
<i>Fig. 41 Bote para vermicomposta fabricado con polietileno reciclado. (Mercado Libre)</i>	<i>147</i>
<i>Fig. 42 Distribución propuesta de los RSU de la CEDA</i>	<i>155</i>
<i>Fig. 43 algunos modelos contenedores a ser usados en la etapa de separación desde el origen</i>	<i>157</i>
<i>Fig. 44 Modelo de contenedor previsto para los andenes. (Capacidades desde 500 kg hasta 1000 kg)</i>	<i>158</i>
<i>Fig. 45 Construcción de canales para lombricomposta</i>	<i>161</i>
<i>Fig. 46 Vista de tractor alimentador de residuos para la lombricomposta</i>	<i>161</i>
<i>Fig. 47 Vista de las lombrices californianas y el compost resultante.....</i>	<i>161</i>
<i>Fig. 48 Imagen del lixiviado resultante de la lombricomposta</i>	<i>162</i>
<i>Fig. 49 Representación grafica de la planta de composteo, vermicomposteo y biodigestor. (Ref. 64)</i>	<i>165</i>
<i>Fig. 50 Imágenes de precio de anaquel de "tierra preparada" y mulch.....</i>	<i>166</i>
<i>Fig. 51 Aportación de emisiones por sector en el DF en el año 2000 (inventario de emisiones 2012).....</i>	<i>170</i>

Relación de Tablas

<i>Tabla 1 Clasificación de los RSU por su grado de biodegradabilidad.</i>	18
<i>Tabla 2 Cuadro comparativo de costos de inversión por tecnología. Diversas fuentes citadas en el texto.</i>	25
<i>Tabla 3 Horas hombre invertidas por fecha durante el diagnóstico.</i>	37
<i>Tabla 4 Clasificación de los RSU según la SEMARNAT.</i>	38
<i>Tabla 5 Clasificación de los RSU por su biodegradabilidad.</i>	39
<i>Tabla 6 Precios de compra de algunos RSI. fuente: La razón.</i>	39
<i>Tabla 7 Humedad relativa de los RSU más comunes. (http://www.ambientum.com).</i>	60
<i>Tabla 8 Clasificación de los RSU por su grado de degradabilidad biológica.</i>	61
<i>Tabla 9 Opciones de manejo de los RSU de la CEDA.</i>	66
<i>Tabla 10 Diferentes tipos de Gestión de RSU en algunas partes del mundo.</i>	74
<i>Tabla 11 Costos de los RS por dos autores (Porter,2002)</i>	74
<i>Tabla 12 Capacidad de algunas plantas incineradoras en el mundo</i>	79
<i>Tabla 13 Tabla comparativa de costos</i>	86
<i>Tabla 14 Características del biogás.</i>	94
<i>Tabla 15 Clasificación de los residuos por sus características cuantitativas.</i>	97
<i>Tabla 16 Índices de producción de biogás por tipo de compuesto orgánico</i>	98
<i>Tabla 17 Porcentaje de carbohidratos, proteínas, grasas, cenizas y agua de algunas hortalizas y frutas.</i>	98
<i>Tabla 18 Calculo de producción de metano con la mezcla</i>	99
<i>Tabla 19 Límites letales para algunos patógenos y parásitos.</i>	120
<i>Tabla 20 Parámetros para evaluar la calidad de un compost. (Sullivan, D.,Miller,R.2001)</i>	124
<i>Tabla 21 Parámetros claves para la certificación de calidad de un compost (Woods End Research Lab,Inc. 2001).</i>	125
<i>Tabla 22 Parámetros de calidad del Compost. (Soliva,2001)</i>	129
<i>Tabla 23 Parámetros de calidad, Unidades y referencia del método (CE 2001)</i>	135
<i>Tabla 24 Relación de RSI identificados en la CEDA</i>	137
<i>Tabla 25 Clasificación de los plásticos</i>	145
<i>Tabla 26 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas por tecnología</i>	153
<i>Tabla 27 Resumen de conclusiones de cada tecnología</i>	153
<i>Tabla 28 Tabla de requerimientos de espacios y productos que se obtendrán de los procesos.</i>	165
<i>Tabla 29 Tabla de valor económico de los productos a precio de mercado</i>	167
<i>Tabla 30 Total de ingresos por la venta de los productos</i>	168
<i>Tabla 31 Montos de inversión</i>	169

Resumen

Este documento presenta los resultados del análisis de alternativas para la gestión integral de las 600 a 800 toneladas diarias de RSU de la CEDA y fue preparado a solicitud de la Secretaría de Medio Ambiente del D.F. en mayo del 2012.

Se presentan los resultados del diagnóstico llevado a cabo en la Centra de Abasto en junio del 2012, en el cual destaca la presencia de RSU que pueden ser aprovechados de diversas formas antes de ser depositados en los sitios de disposición final.

Desde el punto de vista de ordenamientos legales, este documento puede ser utilizado como el plan de manejo de RSU de la CEDA, cumpliendo así con un requisito legal.

Se presentan los resultados de la investigación bibliográfica y de la búsqueda de información en la Internet, resaltando las ventajas y desventajas de las tecnologías más comunes para la gestión de RSU en el mundo. Entre las conclusiones más relevantes y la recomendación de la tecnología apropiada para la CEDA se encontró que la técnica de vermicomposteo, el composteo y la biodigestión anaeróbica, presentan los mejores atributos económicos, sociales y ambientales, para la gestión de los RSO, mientras que para los RSI se concluye que deberá haber una selección desde el origen y enviar a las recicladoras, tanto como sea posible; otros RSI se destinarían a los RS irremediablemente.

El estudio de prefactibilidad, arrojó como montos de inversión para la GIRSU de la CEDA un monto de 10 millones de dólares, emplearía a unas mil personas y requeriría de un máximo de 8 hectáreas de terreno en forma permanente, que podrían ser obtenidas mediante arrendamiento. Con un tiempo de vida del proyecto de 30 años, el estudio de prefactibilidad arroja una TIR del orden del 30%.

Palabras clave: GIRSU, CEDA, vermicomposteo, composteo, biodigestión anaeróbica.

Acrónimos y glosario de términos

Acrónimos

BGK	Organización alemana de aseguramiento de calidad del compost, por sus siglas en alemán.
BHE	Asociación federal para el humus y la industria del suelo, por sus siglas en alemán.
CCC	Carolinas Council Composting, por sus siglas en inglés.
CEDA	Central de Abasto del Distrito Federal.
CEN	Comité Europeo de Certificación
CO ₂ -e	Dióxido de carbono equivalente.
Cy	Siglas en Inglés de yardas cúbicas.
EM	Estado de México.
EPA	Environmental Protection Agency, por sus siglas en inglés
EU	Estados Unidos de Norteamérica.
GDF	Gobierno del Distrito Federal.
GIRSU	Gestión integral de residuos sólidos urbanos
ha	Hectárea
IPCC	Panel Internacional de Cambio Climático, por sus siglas en inglés.
KGVÖ/BKAL	Sociedad Austriaca de calidad del compost, por sus siglas en alemán.
LAU	Licencia Ambiental Única .
LRSDF	Ley de Residuos Sólidos del DF.
MLED	Programa para el desarrollo bajo en emisiones de México, por sus siglas en inglés.
PdC	Planta de composteo.
RAL	Organización de normalización oficial alemana, por sus siglas en alemán.
RM	República Mexicana .
RS	Relleno sanitario
RSI	Residuos sólidos inorgánicos.
RSO	Residuos sólidos orgánicos.
RSU	Residuos sólidos urbanos.
SAQ	Estándar de Calidad austriaco para el compost, por sus siglas en alemán.
SEMARNAP	Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca (1997)
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMA	Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Federal.
STA	Siglas en ingles de Seal of Testing Assurance
t	Tonelada
t/año	Toneladas por año.
Tt	Tetrattech Inc.
UE	Unión Europea.
USAID	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, por sus siglas en inglés
WTE	Siglas en inglés de Waste to energy.
Cw	Carbono fase húmeda
Cot	Carbono fase seca
Nw	Nitrógeno fase húmeda
Not	Nitrógeno fase seca

Glosario de términos

Antojerías	Sitios donde venden comida típica mexicana denominada “antojos”
Biodegradabilidad	Característica de un material para ser degradado por un organismo vivo. Típicamente se refiere a los materiales que pueden ser degradados por insectos, hongos, gusanos, bacterias, entre otros.
Diablos	Personas que mueven las mercancías con “diablos” los cuales son artefactos con ruedas y estructura diseñados para cargar y mover bultos pesados y voluminosos.
Huacal	También conocido como guacal, es un tipo de jaula o contenedor hecho de tiras de madera usados para la transportación de frutas, verduras, entre otros. Este producto es ampliamente usado en América Latina.
Pepenador	Persona que “pepena” (sinónimo de recolectar) de un tiradero aquellos bienes y productos que considera le son útiles.
Torterías	Sitio donde se venden tortas, la cual es también comida típica mexicana
Usuario	Persona que hace uso de las bodegas de la CEDA para comercializar su productos. Estas personas pueden tener sus bodegas en renta a otros sin que los “usuarios” pierdan el “derecho de propiedad” .
Recurso Biomásico	En este documento el Recurso Biomásico son los residuos sólidos orgánicos
Mulch	Materiales secos como hojas, hierba, ramitas, residuos del cultivo, paja, los cuales son mezclados y triturados. (En algunas partes le llaman a esta mezcla un forma de “compost”)
Mulching	Es el proceso de cubrir la capa arable o el suelo fértil con Mulch

Capítulo I

Antecedentes y objetivos

1 Antecedentes y objetivos

1.1 Introducción

El Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México (México Low Emissions Development Program, MLED), el cual es auspiciado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (United States Agency for International Development, USAID), tiene como uno de sus objetivos la implementación de proyectos piloto para verificar la viabilidad, factibilidad y replicabilidad de tecnologías renovables que promuevan la reducción de emisiones. Estas tecnologías incluyen las energías fotovoltaica, eólica, hidroeléctrica de baja capacidad, y biomasa como las de mayor representatividad.

En este caso particular, la Central de Abasto de la Ciudad de México (CEDA) cuenta con un recurso biomásico producto de los desechos de las actividades propias de este mercado, que se ha catalogado como uno de los más grandes del mundo, y el cual genera a la fecha cerca de 800 toneladas diarias de desechos, por lo que se considera como un recurso permanente, ya que éste mercado es el punto de distribución de productos para los comerciantes del Distrito Federal y área conurbada, y punto de venta para los productores de prácticamente todo el país.

Los residuos sólidos que se generan en este mercado representa en la actualidad un problema ambiental no solo para este mercado, sino para el Gobierno del Distrito Federal (GDF) y por ende para las colonias que se encuentran en sus inmediaciones.

De las más de 700 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) generadas diariamente, cantidad cuantificada en forma general, éstos en su mayoría están conformadas por residuos sólidos orgánicos (RSO) representando en términos globales el 80% del total; el 20% restante corresponde a los denominados residuos sólidos inorgánicos aunque en el sentido estricto algunos son de origen orgánico pero con baja capacidad de biodegradación, como es el caso de los plásticos o cartones corrugados, por mencionar solo algunos.

1.2 Objetivo del estudio

El objetivo de este estudio es el análisis de alternativas tecnológicas para la gestión integral de residuos sólidos de la CEDA y proponer la o las soluciones que tengan un alto grado de sustentabilidad y que sean técnica y económicamente viables.

A lo largo del estudio se tuvo presente que las opciones a proponer deberían ser, por lo tanto, viables en un sentido más amplio:

- a) Desde el punto de vista social, demostrar que una gran parte de la población, es quien resultará beneficiada con las medidas propuestas.
- b) Ambientalmente, demostrando que es la opción con el menor impacto ambiental negativo posible, y que a preferentemente tenga impactos positivos.
- c) Políticamente, demostrando que son soluciones integrales e incluyentes

- d) Técnicamente, demostrando que existe la tecnología, que se tienen experiencias comprobables en México o el mundo y que se puede tener el dominio completo de la técnica asegurando así el éxito del proyecto.
- e) Económicamente, demostrando que si la solución fuese manejada, desde la perspectiva empresarial, ésta sería competitiva y rentable.

Se considera que este estudio puede ser el catalizador para que los RSU de la CEDA tengan otra dimensión, que se les considere como el recurso renovable que es y que se le dé un aprovechamiento adecuado, lo que implica evitar los desperdicios y obtener un beneficio ambiental, social y económico a través de éste.

1.3 Antecedentes y justificación

En Marzo del 2012, La Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA), la Lic. Marta Delgado le hizo saber a USAID la necesidad de llevar a cabo la consultoría denominada “Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Central de Abasto de la Ciudad de México”, dado que el volumen de desechos, generados por la misma, se ubica entre las 600 y 800 toneladas diarias¹, es necesario proponer soluciones sustentables a este problema, tomando en cuenta que menos el 80% son residuos orgánicos que pueden ser aprovechados de forma sustentable, en lugar de ser transportados a los centros de transferencia y al relleno denominado Bordo Poniente², para ser transformados en composta irremediadamente.

En las primeras entrevistas que se tuvieron con los directivos de la SMA y de la CEDA, El Ing. Jesús Hernández (SMA), el Ing. Oscar Manjarrez (CEDA), se nos comentó que ya habían recibido al menos 20 propuestas por parte de empresas extranjeras y nacionales para la gestión de los RSU, pero que finalmente ninguna había logrado convencer a los directivos o que las mismas empresas habían desistido; sin embargo al momento de solicitar dichas propuestas para llevar a cabo un análisis, se nos indicó por oficio, que era información confidencial y no podrían facilitarla, por lo anterior, no nos fue posible analizar cuáles fueron las limitaciones o barreras encontradas en dichas propuestas.

Tomando en consideración que para la preparación de una propuesta viable para la gestión de los RSU de la CEDA, se requiere de estudios recientes y posteriormente compararlos con estudios anteriores realizados por otros y que estén disponibles en la literatura especializada, así como los muestreos que habría que realizar en el sitio del proyecto, se solicitó a las autoridades de la CEDA el acceso a las instalaciones para llevar a cabo el levantamiento de datos. Aunado a ésta actividad, llevamos a cabo entrevistas con empresas especializadas de diferentes ramos que estuviesen involucrados en el uso y aprovechamiento de residuos orgánicos así como el estudio de casos que se encuentran en la bibliografía.

Una de las primeras actividades realizadas fue el trabajo de campo en las instalaciones de la CEDA, por un grupo de técnicos, quienes efectuaron diversos recorridos por los andenes, pasillos y otros puntos para recabar la información necesaria que permitiera conocer el origen y manejo de los RSU

¹ Estas cifras de 600 a 800 toneladas, se justifican en la sección de diagnostico, de este mismo informe.

² Es importante hacer mención que el sistema de composteo del Bordo Poniente es un proceso que debe ser revisado y mejorado en forma sustancial con el fin de que el “compost” resultante tenga un valor comercial y que los impactos ambientales se reduzcan significativamente.

de la Central de Abasto y sus inmediaciones. Los resultados de este trabajo se plasman en el capítulo de diagnóstico a manera de resumen del Anexo 4, donde este diagnóstico se muestra de manera más amplia. A partir de esa información, se inició el trabajo de análisis de las alternativas de manejo de RSU desde un punto de vista integral, y hacer las propuestas de las tecnologías que son factibles de utilizar, ya sea para su aprovechamiento directo o su reutilización mediante una transformación de forma sustentable.

Capítulo II

Resumen ejecutivo

2 Resumen ejecutivo

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son un problema global con características culturales, y para el cual se invierte lo mínimo indispensable con la finalidad de mantenerlos fuera del alcance de los centros urbanos, y fuera de la vista de cualquier persona, sin considerar los efectos ambientales y de salud pública de largo plazo como un parámetro para la correcta toma de decisiones en su gestión.

El hablar de millones de toneladas que se generan diariamente en el mundo y los problemas que su falta de gestión conlleva, hace que se pierda la objetividad del problema, pero si la perspectiva se escala a un área delimitada, por ejemplo un hogar promedio, se puede comprender que este problema requiere una evolución social, en la que es indispensable el aprendizaje como sociedad de cómo manejar los residuos de una forma sustentable, sin que esto represente una mayor complejidad sino por el contrario la simplicidad en el proceso del manejo de los RSU desde su generación hasta su disposición final. Este estudio pretende, entre otras cosas, mostrar las principales tecnologías disponibles y sus costos de inversión aproximados para la gestión integral de los RSU de la CEDA, así como algunas experiencias de otros países que han implementado alguna medida o estrategia para la GRSU y han documentado sus lecciones aprendidas.

Para la realización de este estudio se consultaron libros especializados en el tema de RSU, para cada una de las tecnologías y especialidades sobre el manejo sustentable de residuos sólidos a gran escala. Se llevaron a cabo investigaciones haciendo uso de la WEB y visitando centros de compostaje de la Ciudad de México y otros estados, se llevaron a cabo entrevistas telefónicas con empresas que podrían hacer uso de los residuos de alguna manera y también con aquellas que pueden aportar tecnología para este proyecto.

2.1 Clasificación de los residuos

De acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003³, son considerados RSU los materiales que son eliminados o desechados a partir de las actividades domésticas en las casas habitación. Normalmente estos materiales provienen de productos consumidos, sus envases, empaques o embalajes. Aquí también se incluyen residuos cuyas características son semejantes a los de origen doméstico, pero que son provenientes de actividades cotidianas como los generados en establecimientos (incluyendo los comerciales), vías y lugares públicos. Los residuos no previstos en esta norma son los que se consideran peligrosos.

La clasificación de residuos que se utiliza para este estudio, se muestra en la Tabla 1 de este resumen. Con esta clasificación se puede determinar el destino de cada tipo de desecho. Se considera que la sub-clasificación de *biodegradabilidad*, tiene una importancia específica en cuanto a la gestión de residuos, ya que si se cuenta con la posibilidad de que un medio biológico descomponga los desechos, esta propiedad brinda una ventaja significativa. Esta es la razón por la que en el presente estudio se busca analizar todas las posibilidades y particularmente aquellas que presentan un alto grado de sustentabilidad.

³ Esta norma establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias

La clasificación de residuos orgánicos e inorgánicos, siempre resulta un tanto confusa para el público en general. Por lo regular, esta clasificación solamente obedece a un criterio: orgánico son los residuos de alimentos e inorgánico todo lo demás. Sin embargo esta clasificación de “orgánico e inorgánico” se debería de basar en su capacidad para ser degradado biológicamente (en forma rápida o no); y a partir de éste criterio se podría dar una nueva clasificación como se muestra en la tabla 1. Este criterio es el que rige éste documento.

	POR SU ORIGEN	BIODEGRADABILIDAD	CLASIFICACION	RSO/RSI
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	DE ORIGEN ORGÁNICO	BIODEGRADABLES	Alimentos preparados	A estos se les clasifica comúnmente como Residuos Sólidos Orgánicos (RSO)
			Frutas y verduras	
			Cárnicos y Mariscos	
			Papel, cartón y sus derivados	
			Madera y similares	
	INORGÁNICOS	NO BIODEGRADABLES	Plásticos	A estos se les clasifica comúnmente como Residuos Sólidos Inorgánicos (RSI)
			Llantas y similares	
			Combustibles, lubricantes, pinturas	
			Vidrio	
			Metales	
			Restos de construcción	

Tabla 1 Clasificación de los RSU por su grado de biodegradabilidad.

2.2 Diagnóstico

La primera parte de este informe, corresponde al diagnóstico cuyo objetivo fue el de precisar los volúmenes de RSU, sus condiciones, su manejo así como la problemática social de la CEDA. Un análisis más minucioso de los residuos será necesario realizar cuando se lleve a cabo la “ingeniería de detalle” de cada proceso y de cada elemento del proceso. Para el objetivo de este estudio consideramos que con un diagnóstico preliminar podemos llegar a conclusiones importantes, a partir de las cuales se inicia el análisis de alternativas tecnológicas e incluso del aprovechamiento de residuos antes de que sean enviados al sitio de disposición final.

Se tomaron en cuenta las observaciones y recomendaciones del personal de la CEDA, para la selección de los puntos de observación en los andenes, así como de los horarios y días de la semana a ser muestreados. Por otra parte, los parámetros fueron definidos con base en un análisis de la bibliografía de estudios previos y con la finalidad de que pudiesen ser comparables con los obtenidos en este trabajo de campo y que pudiesen ser validados mediante la correlación de los resultados obtenidos en este estudio y los realizados por otros.

La metodología empleada para este diagnóstico, fue mediante observaciones en cada uno de los andenes de la CEDA en diversos horarios y días de la semana, se obtuvo información específica que se enumera a continuación:

- Porcentaje de llenado del contenedor
- Residuos presentes dentro del contenedor estimando su volumen en porcentaje, indicando si los RSO estaban en buen estado o no (aprovechables, no aprovechables).
- Si había “pepena” de éstos y de ser posible determinar qué era lo que tomaban los “pepenadores”.

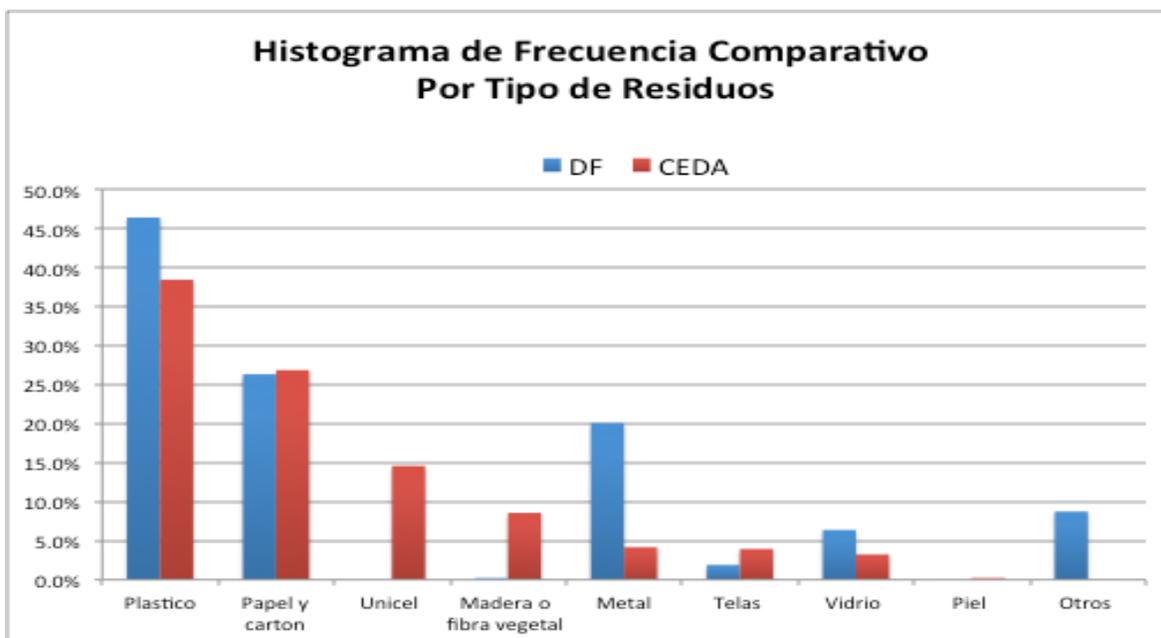


Fig. 1 Comparativo entre datos del inventario de RSU del DF y de los datos obtenidos en la CEDA.

El mismo método se usó para los RSI, los cuales, en su mayoría, a falta de contenedor, se encontraban dispersos en el suelo por lo que fue necesario estimar el volumen que ocuparían en un “contenedor” indicando en la hoja de campo el “estimado porcentaje de llenado de contenedor”. Posteriormente se anotaron los productos de mayor a menor frecuencia, y se registraron los que eran colectados por los pepenadores. Aunado a esto se tomaban imágenes fotográficas logrando un acervo clasificado de aproximadamente 1000 fotografías, equivalentes al menos de 1000 muestreos documentados fotográficamente, lo que ayudó en el trabajo de gabinete a corroborar los que se había anotado en las hojas de campo contra lo que se mostraba en las fotografías de ese andén a esa hora específica.

La gráfica de la figura 1 muestra la distribución estadística de los RSI en cuanto a tipo de residuo vs número de eventos observados en la CEDA y se compara contra el inventario de la Secretaría de Obras del GDF durante el periodo 2011. Considerando exclusivamente los RSI en el DF y comparados con los que se identificaron en la CEDA podemos considerar que esas similitudes dan validez al método usado para determinar los porcentajes de participación de cada uno de los RSI observados en la CEDA. Tomar en cuenta que aunque el “unicel” es un plástico en este análisis se le dio una importancia especial por su impacto negativo visual.

Estas observaciones fueron llevadas a cabo en mayo y junio del 2012, aunadas a las entrevistas informales y eventuales con las autoridades de la CEDA, locatarios, transportistas, pepenadores, entre otros, permiten entender mejor la problemática de los RSU en esta central de abasto.

Puesto que la CEDA se encuentra dividida en “mercados de especialidades”, y en cada sección hay andenes en donde arriban los camiones transportistas que llegan de diversos puntos de la República mexicana, es en esos mismos andenes de descarga donde se ubican los contenedores en los que se depositan los RSU de cada sección. Debido a que en el pasado y en la mayoría de los casos, no se separaban en residuos sólidos orgánicos (RSO) y residuos sólidos inorgánicos (RSI), todos ellos se

colocaban en un solo contenedor y eran enviados a la estación de transferencia de la CEDA, donde posteriormente eran enviados al relleno sanitario denominado “Bordo Poniente”. Una vez que la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos se modifica y establece que los RSO y los RSI deben ser separados desde el origen. El reglamento de la ley entra en vigor el 2 de enero del 2009. La CEDA acata éste mandato y se dan instrucciones a la dirección de operaciones para que los residuos sean separados; sin embargo al carecer de una estrategia para la implementación de los recursos materiales y humanos acorde al mandato, la reacción de los usuarios fue el depositar los RSI en el suelo ya que al no haber más que un solo contenedor en cada anden, éste se destinó a los RSO por tener prioridad debido al volumen que representan, aunque tampoco se respeta al 100%, ya que no todos los usuarios están totalmente informados, generando un segundo problema: si los RSU no están separados no son aceptados en la estación de transferencia y como consecuencia son depositados en las inmediaciones de la CEDA. Esta situación ha creado un descontrol total en la logística y en la metodología desarrolladas anteriormente, llevando al punto de que se requiere de acciones correctivas inmediatas.

El rango de RSU generados en la CEDA se ubica entre las 600 y las 800 toneladas diarias, según lo reportado por la SMA del GDF y confirmado por las autoridades de la CEDA, esto equivale al movimiento de 20 a 26 camiones diarios con 30 toneladas de residuos cada uno, de los cuales en valor absoluto, el 80% contiene residuos sólidos orgánicos. Del análisis de resultados de las observaciones directas llevadas a cabo por nuestro grupo de técnicos, en la central de transferencia y el movimiento de vehículos dentro de la CEDA, indican que el volumen se encuentra dentro del rango reportado por la autoridad y que el tonelaje es variable ya que el volumen ocupado por los RSO es mayor que los inorgánicos, dado que estos últimos no son compactados como los otros, y que dentro de la CEDA hay varios movimientos de camiones y pequeñas palas mecánicas antes de llegar a la estación de transferencia. Una vez que llegan a la estación de transferencia, se mezclan con otros de las delegaciones vecinas por lo que la contabilización queda en manos de otros actores ajenos a la CEDA.

Estos residuos orgánicos, tienen la particularidad de poder ser clasificados desde su origen, esto surge a partir de que cada área del mercado tiene su especialidad en cuanto a los productos que ahí se comercializan, por lo que se puede predecir qué tipo de residuos orgánicos llegaran a cada uno de los contenedores de cada anden, pero al mismo tiempo éstos residuos llegan a ser “contaminados” por mezclarse con los RSI, debido a la carencia de contenedores, medidas de control y agilidad en el retiro periódico de los mismos.

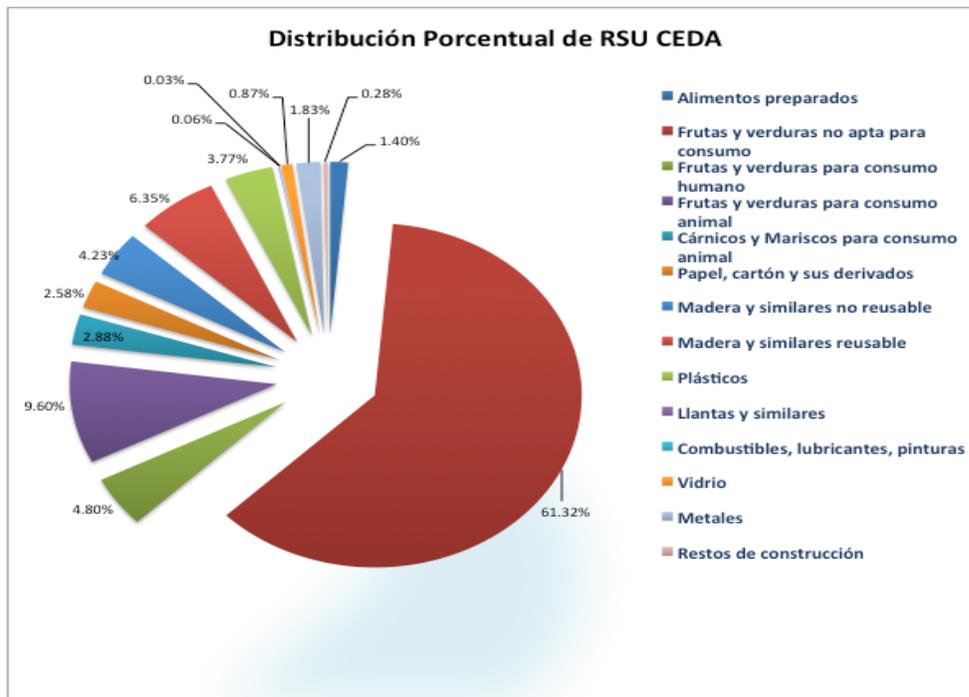


Fig. 2 Distribución porcentual de los RSU de la CEDA

Este problema de “administración” de los residuos, desde el punto de vista del estudio, tiene una solución relativamente simple, la cual requiere de la implementación de técnicas logísticas, mediante las cuales y a través de un estudio de tiempos y movimientos se establezcan las capacidades de los contenedores, los horarios de recolección por tipo de residuos, la implementación de sistemas de supervisión y vigilancia así como el dotar de sistemas de transportación ágiles y de fácil maniobra en los andenes aun en horas de mayor afluencia, con lo que lograría que los usuarios y visitantes no mezclen los residuos, resultando un beneficio para todos, e incluso un aprovechamiento sustentable. Pero su aprovechamiento implica un conocimiento más detallado de la composición y estado que guardan esos RSU para lograr un mejor aprovechamiento de los mismos, tomando como última alternativa su traslado al sitio de disposición final (tiradero, relleno sanitario o “centro de composteo”), como lo más deseable.

Las observaciones y análisis indican que la solución integral del problema requiere de modernización tecnológica, lo que implica inversiones importantes, las cuales podrían ser propuestas para ser realizadas por el sector privado. Esto requerirá de toma de decisiones de alto nivel y además de que sería necesaria la intervención de otras instituciones en forma sinérgica.

Una serie de imágenes que se muestran en el anexo 4, dan fe de que el problema ha rebasado a la CEDA, y que requiere de una acción inmediata para que el problema sea solucionado en forma sustentable, además de que brinde la pauta para la resolución de casos similares en otras entidades del país.

2.3 Análisis de alternativas de disposición final de RSU

En respuesta a la problemática encontrada, se llevó a cabo el análisis de alternativas, tales como la disposición final en rellenos sanitarios, incineración en sus diversas formas y tecnologías, la producción de biogás a través de biodigestores y el composteo para la obtención de abono orgánico, así como las combinaciones de dos o más alternativas tecnológicas.

Entre las conclusiones a las que llegan los expertos a nivel mundial, mismos que se citan en el informe, en el tema de la disposición final de RSU se propone la búsqueda de soluciones desde el origen de los residuos, como la reducción, el reciclaje y reutilización de los productos, así como el diseño de políticas públicas para regular los residuos y su disposición. La preocupación mundial sobre el mejor aprovechamiento de los recursos y la contaminación de los espacios públicos por residuos, es una constante en la literatura especializada. De ahí que se considere que las tecnologías deben de ser pensadas para el largo plazo, además de que se deben incluir políticas públicas integrales que incluyan entre otras la educación ambiental, para lograr avanzar en todas las direcciones y no incurrir de manera constante en el cuestionamiento de soluciones cada vez que se agote la capacidad de algún relleno sanitario.

Entre los métodos y tecnologías disponibles para la disposición final de los RSU se encuentran los siguientes:

- a) La incineración *in situ* a cielo abierto, metodología prohibida en muchas partes del mundo por lo que se encuentra descalificada como alternativa en este estudio.
- b) Los tiraderos a cielo abierto, los cuales se convierten en focos de contaminación y enfermedades. Por razones obvias no se considera como opción en nuestro estudio.
- c) Los rellenos sanitarios, que son la técnica más usada en el mundo incluyendo algunas ciudades de México.
- d) Otra alternativa es la incineración controlada, mediante la cual se obtiene energía eléctrica como principal subproducto. Versiones más avanzadas de incineración y/o combustión se encuentran la pirolisis y plasma.
- e) En cuanto a los residuos sólidos orgánicos, se tiene la opción del composteo y vermicomposteo
- f) Así mismo, para los residuos sólidos orgánicos, se presenta la opción de la digestión anaeróbica.

Las últimas cuatro alternativas se estudiaron, para lo cual se consultó la literatura especializada en cada tema y a continuación se presenta un breve resumen:

2.3.1 Rellenos sanitarios (RS) :

Los rellenos sanitarios, han sido la solución más común en todo el mundo y más en aquellos países que cuentan con suficientes extensiones de tierra, sin poner en riesgo su producción agrícola o el bienestar social. Pero este modelo no es del consenso de los expertos respecto a que sea una la solución sustentable. En México, tampoco es una tecnología que se haya implementado con todo rigor en las comunidades. Los rellenos sanitarios demuestran su factibilidad económica de forma “natural” comparada contra otras opciones, sin embargo cuando se ponen en el contexto las externalidades y los costos ambientales de largo plazo, la tecnología de los rellenos sanitarios resulta un tanto débil.

En la literatura se encuentran ambas tendencias en cuanto a las políticas que se han seguido en este campo, desde las que apoyan a los rellenos sanitarios como la única alternativa sustentable y aquellas que los descalifican por su insostenibilidad en el largo plazo. De hecho los estudios presentados muestran que otras alternativas podrían ser más competitivas bajo ciertas condiciones. En Europa y Asia se utiliza cada vez menos esta técnica. Para el caso particular de la CEDA, no debería de ser la solución, ya que de hecho se separan los residuos precisamente para que no lleguen a los rellenos sanitarios, sin embargo para sustentar la decisión se analiza esta alternativa.

Expertos en el tema de análisis económicos de gestión de RSU, ubican los montos de inversión para esta tecnología en un promedio de \$30 dólares por tonelada por día de RSU que habrían de ser depositados (véase figura 4). Sus grandes ventajas estriban en que no tiene límites de capacidad diaria aunque si en el volumen total, no tiene limitaciones en cuanto a tipo, forma o calidad de los RSU. Su gran desventaja es que la producción de biogás puede ser incierta, tanto en volumen total como en volumen diario a ser extraído, además que la presión del gas puede no cumplir con los requisitos ideales para las turbinas o que la calidad del gas no sea apta para los equipos generadores de energía y difícilmente se presentan opciones para mejorar esta condición. Estos factores hacen que los planes de negocio para la venta de gas sean totalmente imprecisos, ya que no se puede predecir con exactitud la cantidad de energía eléctrica a generar por día, por mes o por año. El otro producto de los rellenos sanitarios son los lixiviados, si el RS es de última generación, entonces está diseñado para la recuperación de lixiviados, estos mediante un proceso de “purificación” puede ser usado como un fertilizante; los otros RS, generarán lixiviados que en el largo plazo dejarán ver sus impactos en los mantos freáticos.

2.3.2 Tecnología de incineración

La incineración como alternativa tecnológica también fue estudiada y aunque diversos autores la nombran de forma distinta para no hacer referencia a la tradicional incineración a cielo abierto en esencia es básicamente un proceso térmico mediante el cual se descomponen los RSU (tanto la materia orgánica como la inorgánica) reduciéndola a un 15% en promedio de su volumen total. En los últimos años han surgido una serie de tecnologías que prometen superar los problemas ya conocidos de la incineración convencional y, a su vez generar energía, a la que califican como renovable; tales tecnologías incluyen la gasificación, la pirolisis y el arco de plasma; estas nuevas propuestas prometen solucionar la gestión de los RSU de forma más simple y económica; sin embargo, se han estado probando sin alcanzar un grado de madurez tal que las convierta en opciones realistas; por el contrario, subsisten grandes interrogantes debido a los problemas que aún deben superar.

La más desarrollada es la combustión, esta opción tecnológica es la conocida como “residuos convertidos a energía” o Waste to Energy (WTE, por sus siglas en inglés), ya que su principal producto es la energía eléctrica y calorífica. La gran ventaja de esta tecnología es que puede procesar prácticamente todo tipo y cantidad de residuos y se puede optar por una preclasificación o incluso sin ella, lo que facilita en muchos casos el manejo; y el espacio requerido para la planta es sustancialmente inferior al requerido por un relleno sanitario.

Entre sus grandes desventajas es su muy limitada capacidad de adaptarse a las variaciones de volumen, tipo y calidad de los RSU además de que éstos deben de contener una limitada cantidad de agua, idealmente menor al 20%. Otra limitante es el tiempo que se debe de invertir para la

implementación del proyecto, desde que se gesta la idea y se demuestra su necesidad hasta que la planta entra en operación puede tomar entre 4 y 6 años lo que en tiempos políticos resulta complejo si es que se requiere que el gobierno sea quien tome el liderazgo del proyecto.

Para el caso específico de la CEDA se determinó que si ésta tecnología se utiliza solo para sus propios RSU, simplemente no es viable, y principalmente por el alto contenido de agua que tienen los RSU, el cual es superior al 20% deseable para el proceso. Para que esta tecnología entre en el rango de viabilidad, se deberán de asociar otros RSU de delegaciones vecinas hasta un volumen de 4,000 toneladas diarias con lo que se podría llegar a tener el grado de humedad que exige la tecnología, bajo estas condiciones de viabilidad técnica y considerando los montos de inversión de \$150,000.00 dólares por tonelada, la inversión total sería del orden de los \$600 millones de dólares. Al considerar los costos operativos, valor del terreno, ingresos por la venta de energía, entre los más importantes, el costo final del proceso por tonelada de residuo resulta, bajo algunas condiciones, en el mismo costo por tonelada que los rellenos sanitarios, pero con la gran ventaja de que los RSU quedan reducidos al 15% de su volumen original.

2.3.3 Tecnología de biodigestión:

La siguiente tecnología estudiada fueron los biodigestores, ésta al igual que para el de composteo, son exclusivamente para los residuos orgánicos biodegradables y por ende se deberá de tomar alguna medida para los RSI. Los biodigestores son equipos diseñados para la producción controlada de biogás, el cual es una mezcla de metano, bióxido de carbono y otros componentes en menor porcentaje. El biogás generalmente se encuentra conformado por un 50% a 70% de metano lo que lo convierte en un gas de gran valor para producir energía eléctrica mediante su combustión, transfiriendo su energía a una turbina de vapor mediante el uso de agua como vehículo. Por otro lado, este biogás también puede ser usado como combustible para la cocción de alimentos, o para procesos térmicos industriales, entre otros. Se podría decir que un biodigestor hace la misma función que un relleno sanitario, solo que de forma controlada, predecible, limpia y sustentable. De acuerdo a cálculos preliminares, para el caso específico de la CEDA se requeriría de al menos dos reactores de 15,000 m³ de capacidad que ocuparían un área de 0.6 ha, se trata de dos reactores de 60 m de diámetro cada uno y de 5m de altura aproximadamente teniendo una capacidad de generación de energía de 9.94 kWh/m³ de metano producido lo que da como resultado bruto 250,000 kWh/día. Entre las condiciones particulares de este proyecto es que para mantener el tiempo de reacción dentro de los 15 días como máximo, que es el tiempo requerido para la fermentación del sustrato y producción del metano, es necesario que la mezcla se eleve y mantenga a 60°C , lo que implica que requiera de una fuente de energía externa o que parte del metano producido sea utilizado para este fin.

La planta en su conjunto podría requerir de un espacio de 2.5 ha considerando las áreas de maniobras, sistemas de control, reactores y tanques de almacenamiento del biogás. Para este caso particular, existen muy pocas empresas que estén implementando proyectos en el mundo y específicamente con RSU, ya que la mayoría utiliza excretas de animales como sustrato. Uno de los pocos países que reportan el uso de biodigestores es Italia en donde existe una planta con capacidad para 120,000 t/año la cual produce 3 MW y tuvo un costo de 25,000 euros; lo que equivale a una inversión de 76 euros/t-día o \$98.94 USD/t-día⁴ y una relación de 9.12 kW por tonelada de residuos.

⁴ Tipo de cambio de 1.30 euros /USD al 5 de julio 2013.

2.3.4 Tecnología para la producción de vermi-composta

La siguiente tecnología estudiada y a la cual se le ha dado mayor importancia, es el vermi-composteo de los residuos, sobre todo porque existen muchas experiencias a nivel mundial que han dado no solo referencias positivas, sino que el mismo volumen de casos encontrados fue un indicador claro de viabilidad y de reproducibilidad. Tanto el composteo directo como el vermi-composteo (composteo con lombrices), nos llevan a la conclusión de que es la opción tecnológica más simple de implementar para la CEDA y que además en un futuro podrá dar pauta para la implementación de otras tecnologías complementarias como el uso de biodigestores para los lixiviados, y jugos de los mismos RSO.

En este estudio, se presenta un estudio de prefactibilidad utilizando el vermicomposteo como tecnología primaria y la biodigestión como la complementaria, con la finalidad de demostrar su viabilidad económica. Los resultados indican que es una alternativa que puede dejar dividendos importantes para los inversionistas pero que también puede ser un modelo a seguir. La diferencia entre este tipo de composteo y el que se lleva a cabo en el Bordo Poniente, es la calidad del producto final y el control del proceso, ya que se requiere no solo de un tiempo de estancia adecuado para que se complete el proceso de descomposición aeróbica bacteriana sino también de la recuperación de los lixiviados, los cuales también tienen un valor comercial importante por sus propiedades bioquímicas como abono orgánico concentrado.

2.3.5 Gestión de RSI

Finalmente se dedicó un capítulo a los RSI, los cuales requieren de un método diferente para su manejo y aprovechamiento, en la medida de las posibilidades, en cuanto a su reducción en volumen y peso. Este capítulo presenta las referencias de las empresas que proveen la maquinaria para su manejo, con lo que se puede llevar a cabo la selección *in situ*, trituración, compactación y empaquetado para la entrega directa a los recicladores evitando en la medida de lo posible las transferencias innecesarias a otras estaciones encareciendo y complicando su manejo. La labor que hacen los pepenadores puede ser optimizada con lo que podrían tener un sistema productivo más efectivo, limpio y expedito logrando que estos residuos adquieran un valor agregado por sus condiciones de manejo, transportación y venta a mayoristas recicladores. En el estudio de prefactibilidad se hacen cálculos más precisos sobre este tema.

COSTOS DE INVERSION POR TECNOLOGIA (BASE DE CALCULO 800 TON/DIA)							
TECNOLOGIA	TIEMPO DE VIDA EN AÑOS	MONTO DE INVERSION (MILLONES DE DOLARES)			\$/TON (USD)		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
RELLENO SANITARIO	20	\$ 63.24	\$ 189.72	\$ 351.33	\$ 10.83	\$ 32.49	\$ 60.16
INCINERACION	20	\$ 122	\$ 164.58	\$ 221.66	\$ 20.86	\$ 28.18	\$ 37.95
BIODIGESTOR	20	\$ 55.36	\$ 79.08	\$ 146.30	\$ 9.48	\$ 13.54	\$ 25.05
COMPOSTEO	30	\$ 13	\$ 29	\$ 44	\$ 1.52	\$ 3.30	\$ 5.07

Tabla 2 Cuadro comparativo de costos de inversión por tecnología. Diversas fuentes citadas en el texto.

2.4 Análisis económico de las alternativas

En la tabla 2 se muestra el cuadro comparativo de los montos de inversión y su respectivo precio por tonelada para cada una de las tecnologías, lo que permite visualizar los dos aspectos: el capital requerido como inversión y el costo operativo.

El otro factor a considerar para el caso del composteo (vermi-composteo) y biodigestores, es que solo son para residuos sólidos orgánicos; los residuos sólidos inorgánicos deberán de ser separados, compactados y comercializados a las recicladoras existentes. Los residuos que por alguna razón no entran dentro del esquema de reciclaje, se discuten en el texto junto con sus respectivas opciones de manejo, ya que proporcionalmente son poco representativos.

2.5 Marco regulatorio sobre RSU en el Distrito Federal

En cuanto al marco regulatorio, la legislación federal y del Distrito Federal en materia de residuos, establece qué tipo y cantidades de residuos son regulados por una u otra autoridad o ambas de manera coordinada.

En el caso de los residuos peligrosos, exceptuando los que producen los micro generadores, son facultad de la federación. Por otro lado, los de manejo especial, los peligrosos de micro generadores (mediante convenio) junto con los residuos sólidos urbanos, son facultad del Distrito Federal, sus delegaciones y municipios del país respectivamente.

La CEDA, de acuerdo al diagnóstico que se describe en otras secciones del presente informe, genera principalmente residuos orgánicos e inorgánicos de tipo doméstico y por otro lado, debe lidiar con residuos de manejo especial que aunque no son generados por la organización, éstos son depositados dentro y fuera de su perímetro por parte de usuarios de la organización y personas ajenas a la CEDA. Por tanto, las disposiciones legales a atender por parte de la CEDA, se encuentran establecidas principalmente en la Ley Ambiental del D.F., la Ley de Residuos Sólidos del D.F. y sus reglamentos.

La CEDA como cualquier otro generador de residuos debe contar con la Licencia Ambiental Única (LAU), como lo marca la Ley Ambiental del D.F. y por lo mismo está obligada a tramitarla ya que es una fuente fija que emite contaminantes al medio, básicamente residuos. Esto, de acuerdo a las definiciones de la propia Ley. Los requisitos de la LAU se establecen en los artículos 61bis al 61bis 4, y el principal aplicable a la organización es la generación de residuos, y como anexo el plan de manejo correspondiente. La CEDA es un generador de alto volumen de residuos de acuerdo a la definición de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) que establece en su artículo 3, fracción XIV que los generadores de alto volumen, son las personas físicas o morales que generen un promedio igual o superior a 50 kg diarios en peso bruto total de los residuos sólidos o su equivalente en unidades de volumen. Como se menciona en este informe (de acuerdo a datos actuales proporcionados por la SMA del GDF), la CEDA genera en promedio 800 toneladas diarias de residuos, de los cuales aproximadamente el 80% son residuos orgánicos. Dentro del 20% restante se encuentran otro tipo de residuos, en su mayoría residuos de empaque de unicel y bolsas de plástico, por tanto se trata de un generador de alto volumen.

2.6 Retos a enfrentar

Como resultado del diagnóstico, se identificó que uno de los retos más importantes será “el cabildeo” que tendrán que llevar a cabo los representantes directivos de la CEDA para que acuerden la concesión de los RSU a la organización con la figura jurídica que mejor consideren y que aunque ésta iniciativa dará como resultado final que la CEDA quede libre de sus RS de forma definitiva, también implica que sea una decisión consensuada. El siguiente reto serán las negociaciones con los “pepenadores” y sus representantes quienes actualmente obtienen beneficios de los RS y de las condiciones en que se manejan estos en la actualidad. Otro reto identificado pero tal vez menos complejo podría ser el conjuntar los capitales privados para este proyecto, que aunque los montos son gestionables, también se considera una labor de gestión relevante.

2.7 Conclusiones:

Las conclusiones a las que se llegaron con éste estudio son:

- a) La gestión de los residuos debe de estar concesionada a una organización que puede ser público-privada, o cualquier otra figura jurídica que pueda llevar a cabo esta labor de forma sustentable.
- b) El proceso sustentable de más rápida implementación es el vermicomposteo y con técnicas adecuadas que aseguren una buena calidad del producto para que sea comercializable en los mercados, así como su lixiviado los cuales deben de tener su certificación de calidad y pureza.
- c) El proceso de biodigestión, será la tecnología complementaria para el tratamiento de los jugos y lixiviados de la primera fase.
- d) También se concluye que antes de que los residuos sean confinados en un estanque de composteo deberán de ser seleccionados para asegurar que los “residuos en buen estado” pueden ser aprovechados como alimento para aquellas personas que se encuentran en alguna condición desfavorable o en desventaja; que sean destinados otros residuos, de menor calidad, para alimentos de animales, tanto para fábricas de alimentos como para uso directo en zoológicos y centros de protección de especies exóticas; otros residuos, bien pueden ser destinados para laboratorios y empresas que fabrican medicamentos naturistas, cosméticos y productos deshidratados como la cebolla, perejil, cilantro, entre otros; y por último, se deben de considerar las empresas que utilizan los residuos de pescados quienes transforman estos en harinas para la preparación de alimentos balanceados para animales.

El llevar este proyecto hasta su implementación requerirá del orden de los \$7 a los \$10 millones de dólares de inversión y muy probablemente con una tasa de retorno entre el 30% como mínimo y hasta del 50% como máximo. Para un tiempo de vida del proyecto de 30 años, el costo de inversión por tonelada puede ser tan bajo como \$1.52 USD, comparado con los precios por tonelada que reporta la literatura especializada para otras tecnologías, es un costo muy competitivo.

Tal vez el reto más grande sea lograr la consolidación de la empresa pública-privada o cualquier figura jurídica que asegure el manejo sustentable de los residuos. Los argumentos son válidos ya

que además de los beneficios ambientales y económicos que se proyectan, se podrían generar cerca de 1000 empleos directos y como valor agregado dar la pauta para que otras centrales de abasto implementen soluciones similares.

Capítulo III

Diagnóstico

3 Diagnóstico

3.1 Introducción

Se realizó el Diagnóstico de los residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en la CEDA; este trabajo en campo fue desarrollado por un grupo de técnicos que permanecieron en la central en diversos puntos y haciendo recorridos intensos por los andenes y pasillos para recabar la información más relevante del origen y manejo de los RSU de la central y sus inmediaciones.

Estos resultados preliminares de diagnóstico nos permitieron analizar las alternativas para su manejo integral y hacer las propuestas de las tecnologías que sean técnicamente factibles de utilizar para su aprovechamiento directo o su reutilización mediante una transformación.

Esta etapa fue considerada como una de las más importantes ya que no solo nos permitió conocer de primera mano la cantidad de residuos sino también su calidad y el estado en que se encuentran para así determinar las alternativas de manejo y proponer soluciones viables.

El Anexo 4, denominado “Diagnóstico de los RSU de la CEDA” contiene la memoria fotográfica de estos trabajos. La parte esencial de ese levantamiento en campo, se encuentra plasmado en este documento, razón por la que consideramos a esa base de datos e información gráfica como una adenda a éste documento base.

3.2 Ubicación y vías de acceso

La CEDA se ubica la esquina que forman las avenidas Río Churubusco y Canal Apatlaco, perteneciente a la delegación de Iztapalapa, C.P. 09040, en la zona metropolitana del DF, y en las coordenadas geográficas 19º 22' N y 99º 05' W.

La Central de Abasto se encuentra rodeada por las avenidas Eje 5 Sur Leyes de Reforma, Eje 6 Sur Trabajadoras Sociales, Eje 5 Ote. Lic. Javier Rojo Gómez y el Eje 4 Oriente Canal Río Churubusco, cerca de las estaciones Apatlaco y Aculco de la línea 8 del Sistema de Transporte Metro siendo la de Apatlaco la estación de donde parten los autobuses para la CEDA. Al paradero poniente llegan 27 rutas de transporte colectivo concesionado, una de trolebús, cinco de la RTP, mientras que al paradero oriente llegan 4 rutas de transporte concesionado provenientes de varias zonas de la ciudad de México

En la fig. 1 el plano de la Central proporcionada por la misma institución y en la fig. 2 mostramos una vista satelital del complejo (fuente: Google-earth).



Fig. 3 Plano de la Central de Abasto



Fig. 4 Ubicación de la Central de Abasto

3.3 Panorama general

La Central de Abasto de la Ciudad de México (CEDA) fue inaugurada el 22 de noviembre de 1982 por el entonces presidente de la República, Lic. José López Portillo. El proyecto fue concebido por el arquitecto Abraham Zabludovsky, quien la diseñó como una figura hexagonal, ligeramente deformada cuyo eje central mide 2 mil 250 metros. En los extremos del eje se localizan las entradas y salidas. Sus antecedentes se remontan al mercado de la Merced que presentaba en ese tiempo serios problemas de intermediarismo, infraestructura comercial insuficiente, captación de excedentes por acaparadores, falta de locales para el desarrollo de la actividad comercial y reexpedición de mercancías, incluso a su lugar de origen. Todo ello repercutiendo en los precios al consumidor final. (Ref. 71)

Considerada como la obra más importante de esa década en México, este mercado mayorista, es un punto de confluencia de la oferta y la demanda de productos alimentarios donde se realiza la parte medular de los procesos de formación de precios y la distribución de alimentos. El 7 de julio de 1981 se constituyó el Fideicomiso Central de Abasto de la Ciudad de México con una vigencia de 99 años con base en la Ley General de Títulos y Operaciones de Crédito. El Gobierno del Distrito Federal y la Secretaría de Desarrollo Económico, así como los Participantes adheridos al Fideicomiso tienen carácter de fideicomitente y fideicomisario y, como institución fiduciaria, el Banco Santander Mexicano. (Ref.71)

El horario de servicio de la CEDA es de las 10:00 pm a 6:00 pm del siguiente día, y permanece cerrada de las 6:00 p.m. a las 10:00 p.m. diariamente, durante este tiempo se lleva a cabo la limpieza del sitio y mantenimiento prioritario.

3.3.1 Organización

La CEDA se organiza en bodegas de cinco metros de frente por veinte metros de largo, dando uno de los frentes al pasillo peatonal, que va en un eje de poniente a oriente, por donde los compradores pueden moverse sin restricciones más que las dadas por el tráfico de personas y “diablos”, el otro frente da a los andenes de carga y descarga de mercancías, estos están abiertos a una calle ancha donde se pueden instalar dos tráiler sin obstaculizar el paso de otros vehículos, cada andén peatonal da a dos hileras de bodegas colocadas a sus lados, y como identificación cada hilera de bodegas recibe de norte a sur por nomenclatura una letra del alfabeto, a su vez las bodegas reciben una numeración que se incrementa de poniente a oriente. De norte a sur son conectados por pasillos numerados del uno al cinco, aunque solo el número dos permite el paso por un largo puente entre la zona de abarrotes y verduras. Entre cada andén los pasillos se interconectan a estos a través de unos puentes.

La Central de Abasto ocupa un área total de 327 hectáreas, con un volumen de tráfico diario de alimentos y productos básicos de 30 mil toneladas, con una capacidad de almacenaje de 122 mil toneladas lo cual es transportado por 59 mil vehículos diarios de todos los tonelajes, la afluencia diaria de visitantes, en su mayoría comerciantes al detalle, es de 350 mil, los cuales son atendidos por unos 70 mil empleados en diversas actividades. (Ref.71)

La CEDA se divide en diferentes zonas la mayor de ellas es la de Frutas y Legumbres con 1881 bodegas, seguida de la zona de Abarrotes y Víveres con 338 bodegas, a los cuales se agregan 1489 locales comerciales, que abarcan prácticamente todos los rubros comerciales de una ciudad, siendo los más comunes: el bancario, el ferretero, el de ropa, el restaurantero (desde simples antojerías, pasando por torterías hasta restaurantes de lujo), además de pueden encontrar lavanderías, estéticas, entre otras.

Como zonas auxiliares se tiene el Mercado de Productores o Subasta que en una superficie de 10.6 hectáreas y con capacidad para 624 camiones, se convierte en la zona de mayoreo para los productores que desean vender sus mercancías a los propietarios de las bodegas. Los *usuarios* cuentan con 96 Bodegas de transferencia que sirven como puntos de almacenamiento genérico para los bodegueros de la CEDA, donde pueden almacenar en forma temporal sus productos en tanto logran obtener un espacio en sus propias bodegas.

El Mercado de Aves y Cárnicos cuenta con una superficie de 3 hectáreas con 111 bodegas; se ha intentado que este mercado se convierta en el centro comercial por excelencia del mayoreo en aves y cárnicos, pero no se logró, ya que los mercados ubicados en la zona de San Juan y se Salto del Agua, continúan siendo las preferidas para el comercio al mayoreo de aves.

El mercado de envases vacíos ocupa una superficie de 1.7 hectáreas y cuenta con 359 lotes y constituyen el punto de servicio más importante para la misma CEDA ya que es ahí donde se concentra el comercio de cajas de madera, papel y plástico, para los diferentes productos; es importante hacer notar que esta zona es usada para el reciclaje de miles de cajas sobre todo de madera y plástico, lo que contribuye a la ecología de la ciudad y el país.

El Mercado de Flores y Hortalizas abarca una extensión de 16 hectáreas, ésta es una zona de venta directa entre productor y minorista, en la cual el productor que no logra colocar su producto con los mayoristas o que su producción no es suficiente para los mayoristas, aquí puede vender su mercancía directamente al consumidor.

Un área de apoyo es la Zona de Pernocta que en 5.1 hectáreas permite el estacionamiento de 424 unidades de carga de hasta 30 toneladas de capacidad, la cual cuenta con varios servicios para los camioneros y ayudantes de estos. El Frigorífico o bodega climatizada permite el almacenaje de dos mil toneladas de productos diversos. Adicionalmente cuenta con una Planta de Transferencia de Basura con capacidad para dos mil toneladas diarias. En la zona de bodegas se cuentan con 3,224 cajones de estacionamiento para automóviles, mismos que encuentran colocados sobre los techos de las bodegas.

3.3.2 Generación de residuos sólidos

De acuerdo a la información proporcionada por la SMA del DF, en la CEDA se generan entre 600 y 800 toneladas de RSU diariamente, de los cuales el 80% son RO. Estos residuos contabilizados son los que llegan a la estación de transferencia y son enviados a los sitios de disposición final como son

los rellenos sanitarios y el centro de composteo en el Bordo Poniente⁵. Estas cantidades están basadas en los registros de la Secretaría de Obras del GDF, quienes están a cargo de la gestión de RSU de la Ciudad de México.

En el inventario de RSU del DF elaborado por la SEMARNAP en el 1997, y posteriormente por la SEDESOL en el 2009, menciona que la generación de RSU tuvo un crecimiento promedio de 3% por año en los últimos 11 años, entre 1997 y 2009. Por su parte la SMA del DF en su informe anual del 2008 indica que la CEDA genera 585 toneladas por día y esta misma cifra aparece en el informe del 2011, lo cual significa que la cifra no está actualizada con el crecimiento que indica la SEDESOL, razón por la cual el valor más cercano podría ser de 585 toneladas más el 3% por cada uno de los tres años, el valor más probable es 637 toneladas por día, para el 2013.

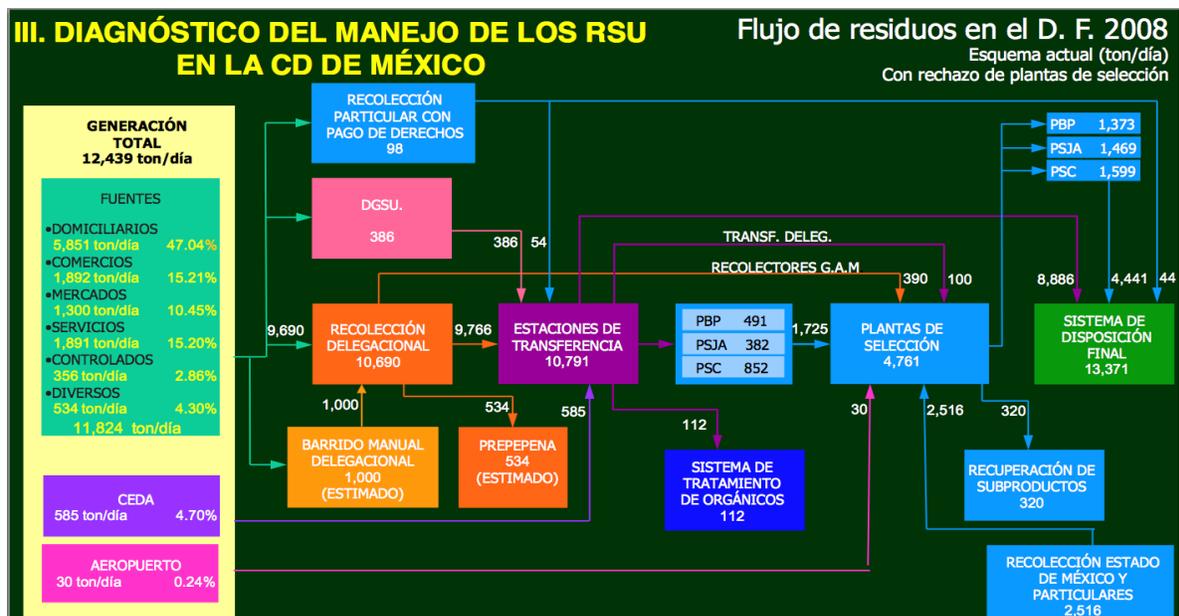


Fig. 5 Diagnóstico del Manejo de los RSU del DF. Fuente: Secretaría de Obras 2008.

Por otra parte, los rangos que maneja SEDESOL en su informe de la zona centro del país indica un rango de generación entre 5.001 y 6.169 millones de toneladas al año, lo que habla de un rango de incertidumbre de 1.16 millones de toneladas al año, para ésta zona centro. Resulta claro que si bien el dato reportado en los informes de la SMA está basado en estadísticas de muestreos y análisis periódicos llevados a cabo en el pasado, este dato debe ser actualizado. Otras fuentes oficiales y no oficiales mencionan también los rangos de producción de RSU de la CEDA como el periódico “La Razón” (Ref. 81) o la declaración del diputado del PRD en el palacio legislativo del 12 de octubre del 2012 en que menciona la misma cifra (Ref. 67); y finalmente en el boletín de la CEDA del 13 de junio del 2013, ratifican esta cifra de 600 a 800 toneladas por día (Ref. 76). Por ésta razón es que el estudio se basó en un rango amplio con la finalidad de no hacer una estimación de gestión de RSU

⁵ En el Anexo 3 se pueden ver algunas imágenes del sistema de composteo del Bordo Poniente.

con una línea base muy conservadora sino un valor más probable e incluso proyectado a 5 años, considerando que el diagnóstico fue elaborado en junio del 2012.

Una parte considerable de RSU de la CEDA, pero no cuantificada con exactitud, es preclasificada y retirada de la CEDA por el grupo de pepenadores quienes cuentan con su propio espacio y de alguna manera mantienen una “organización funcional” dentro de la CEDA⁶. Resulta prácticamente imposible tener una cifra de los volúmenes de RSU como vidrio, cartón, papel, entre otros, que son retirados por los pepenadores, no hay registros y hasta este momento no lo consideramos como un parámetro relevante. A pesar de los anterior y con base en nuestras observaciones hay un trabajo muy intenso por estas personas a lo largo del día y la noche, sus áreas temporales de almacenamiento confirman nuestras percepciones que pudiera llegar a representar hasta un 20% del total de los RSI que se generan diariamente en la CEDA. En el momento en que se considere este punto como relevante será necesario llevar a cabo un estudio específico.

Una proporción menor pero importante de RSU son generados por los visitantes y compradores de la CEDA y generalmente son RSI como envases de unicel y bolsas de plástico, residuos de comida preparada, latas de refresco, bolsas de papel, entre los más importantes.

3.4 Resultados obtenidos del diagnóstico

3.4.1 Metodología empleada

Para que, con base en los resultados del análisis de los RSU, pudiésemos presentar propuestas de soluciones a la problemática que enfrenta la CEDA, fue necesario llevar a cabo recorridos en diferentes días de la semana y en diferentes horarios. Dada la magnitud de la CEDA, de los volúmenes y de la diversidad de los residuos, se optó por llevar a cabo dos evaluaciones: una evaluación cualitativa, para tener el registro de la diversidad de los residuos, y una “estimación cuantitativa” para tener una idea más clara de los volúmenes de cada uno de éstos. El llevar a cabo una evaluación neta de los residuos de acuerdo a la metodología propuesta por la SEMARNAT, hubiese implicado:

- a. Alterar las rutinas de manipulación de los RSU en la CEDA generando problemas operativos
- b. Llevar a cabo el número de muestreos recomendados por cada uno los andenes ó llevar muestreos en el área de transferencia.
- c. Afectación en las áreas de transferencia para llevar a cabo los análisis correspondientes de evaluación por tipo de residuo –hora-día.
- d. Mayor número de horas-hombre para el diagnóstico y preparación de los informes diarios, semanales y mensuales.
- e. Dado que esta actividad implica riesgo para la salud debía de incluirse en el costo del equipo de seguridad.

⁶ Entendemos por “organización funcional” aquella en que cada persona tiene una función específica y juega un papel determinado dentro de la organización, en este caso del gremio de los pepenadores, en la cual no hay cargos como gerente o supervisor, aunque hay personas que juegan esos roles.

- f. Mayor costo para llevar a cabo esta actividad en términos de honorarios y materiales.

El objetivo del estudio es el proponer soluciones reales a la problemática de los RSU de la CEDA más que saber a ciencia cierta que residuos se tienen. De ahí que este estudio se enfocó en la búsqueda de soluciones pero para ello es preciso saber que hay y como se maneja actualmente. La metodología empleada cumplió con ese objetivo.

Por lo anterior, se llevaron a cabo las siguientes actividades que conforman la metodología utilizada:

- a. A través de observaciones directas, conocer en detalle la logística actual en el manejo de los residuos por parte de la gerencia de limpieza para ubicar los cuellos de botella o las limitaciones por infraestructura humana o material y/o necesidades de capacitación del personal involucrado.
- b. Se llevaron a cabo observaciones en los andenes, pasillos y bodegas para conocer los orígenes de los residuos y sus principales generadores, ya sean los usuarios o las personas externas como compradores y visitantes.
- c. Conocer el tamaño, cantidad y capacidad de los contenedores.
- d. Conocer la frecuencia de descarga de los contenedores, la metodología empleada para ello y la manipulación de los residuos posterior a su descarga del contenedor.
- e. Identificación de las causas de la contaminación de los RSO con RSI y sus posibles soluciones que puedan ayudar a mantener su “calidad” de residuo “limpio” que aumentaría su valor.
- f. Observación del movimiento de RSI reciclables, origen y destino así como su manejo dentro de la CEDA.
- g. Se diseñó una “libreta de campo” para llevar los registros de: porcentaje de llenado de contenedores, residuos identificados en valores porcentuales estimados y frecuencias de presencia de residuos. Adicionalmente se registró si los residuos orgánicos estaban en buen estado o no, a lo que se le dio el calificativo de “calidad” del residuo.
- h. Además de la notas en la “libreta de campo”, se hizo un levantamiento fotográfico, las cuales se analizaron en gabinete en forma detallada para evaluar los volúmenes de cada uno de los RSU identificados.
- i. Se llevó a cabo la programación de los días y horas de estancia de las brigadas (5 brigadas de dos personas en total) en la CEDA para llevar a cabo los levantamientos en cada uno de los andenes, en los pasillos y en algunas de las bodegas de mayor movimiento.
- j. Se llevaron a cabo entrevistas a *usuarios*, como los que tienen sus locales de comida preparada y a los *usuarios* quienes conviven con los RSU todos los días, dada la ubicación de sus bodegas con los andenes.

3.4.2 Calendario de trabajo

Se programaron las visitas a la CEDA de tal forma que se pudiese tener una muestra lo más amplia posible en función a los días de la semana y hora del día para determinar si existía alguna variación importante en cuanto al tipo, cantidad y calidad de residuos por día de la semana y hora del día.

Los resultados de la primera semana nos dejaron ver que en realidad no hay un cambio sustancial entre un día y otro de la semana pero si hay un cambio importante entre el turno de la mañana y la tarde, principalmente por la finalización del turno y retiro de los camiones transportistas

Fecha	# H-H	Fecha	# H-H
28/05/12	46.5	10/06/12	12
29/05/12	46.5	11/06/12	12
30/05/12	46.5	12/06/12	36
31/05/12	46.5	13/06/12	28
01/06/12	22.5	14/06/12	30
02/06/12	48	15/06/12	18
05/06/12	10	19/06/12	44
06/06/12	36	20/06/12	54
08/06/12	32	21/06/12	16
09/06/12	42	Total	626.5

Tabla 3 Horas hombre invertidas por fecha durante el diagnóstico

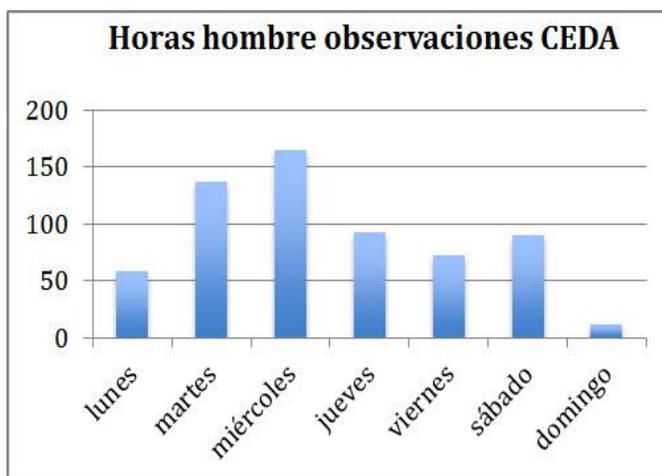


Fig. 6 Histograma de distribución del tiempo durante el diagnóstico.

En la tabla 3 y figura 6, se indican las fechas y las horas hombre que se invirtieron en los recorridos de observaciones y en la gráfica de esa misma figura, se muestra el histograma de distribución de horas con el fin de mostrar la distribución de las H-H por día de la semana.

3.4.3 Clasificación de los residuos

La Tabla 4 muestra la clasificación de residuos de acuerdo a SEMARNAT. Los residuos sólidos de la CEDA se consideran RSU y de ahí ha partido una sub-clasificación de orgánico e inorgánico, que deriva en criterios de percepción y comprensión por parte de los usuarios de los servicios públicos de limpieza. La Tabla 5 muestra la clasificación desarrollada para este estudio; de esta tabla y para fines del manejo de los residuos, el criterio predominante es la capacidad de biodegradación del residuo, ya que esta propiedad es la que tiene un valor más significativo en términos de sustentabilidad.

Considerando que no hay residuos peligrosos, aunque si hay algunos de manejo especial, se elaboró una segunda reclasificación en términos del valor comercial que pudiesen tener los RSU.

1. Residuos sólidos inorgánicos con valor comercial
2. Residuos sólidos inorgánicos sin valor comercial
3. Residuos sólidos orgánicos con valor comercial
4. Residuos sólidos orgánicos sin valor comercial

<i>Tipos de residuos y generadores</i>	
<p>Clasificación de Residuos</p> <p><i>Residuos peligrosos:</i> Son aquellos que poseen alguna de las características CRETIB (corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o agentes biológico-infecciosos) que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados al ser transferidos a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.</p>	<p>Tipos de generadores</p> <p><i>Micro-generadores:</i></p> <p>Producen hasta 400 kilogramos de residuos peligrosos.</p>
<p><i>Residuos sólidos urbanos:</i> Son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas, de los productos de consumo y sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole.</p>	<p><i>Generadores pequeños:</i></p> <p>Producen de 0.4 a menos de 10 toneladas.</p>
<p><i>Residuos de manejo especial:</i> Son aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.</p>	<p><i>Grandes generadores:</i></p> <p>Producen 10 o más toneladas anuales.</p>
<p>Fuente:</p> <p>DOF. <i>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos</i>. México. 2003 (8 de octubre).</p>	

Tabla 4 Clasificación de los RSU según la SEMARNAT

	POR SU ORIGEN	BIODEGRADABILIDAD	CLASIFICACION	RSO/RSI
RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU)	DE ORIGEN ORGÁNICO	BIODEGRADABLES	Alimentos preparados	A estos se les clasifica comunmente como Residuos Solidos Orgánicos (RSO)
			Frutas y verduras	
			Cárnicos y Mariscos	
			Papel, cartón y sus derivados	
			Madera y similares	
	INORGÁNICOS	NO BIODEGRADABLES	Plásticos	A estos se les clasifica comunmente como Residuos Solidos Inorgánicos (RSI)
			Llantas y similares	
			Combustibles, lubricantes, pinturas	
			Vidrio	
			Metales	
			Restos de construcción	

Tabla 5 Clasificación de los RSU por su biodegradabilidad.

Producto	Unidad	Precio ¹ unitario
Cartón	kg	\$2.00
Papel	kg	\$0.80
Latas de aluminio	kg	\$5.00
Vidrio	kg	\$0.40
PET	kg	\$2.00
Contenedor madera	Pieza	\$2.00

Tabla 6 Precios de compra de algunos RSI. fuente: La razón.



Fig. 7 Imagen de un pepenador en los contenedores de la CEDA

- Residuos inorgánicos con valor comercial

Son aquellos que encontrándose en condiciones favorables para las recicladoras, éstas los compran y los envían a las empresas recuperadoras o manufactureras de papel, cartón, vidrio, entre otras. Es por esta razón, que en la CEDA, estos residuos son retirados de los contenedores o antes de que lleguen ahí, por los pepenadores, quienes los comercializan por su cuenta obteniendo sus ingresos únicos o adicionales. Estos productos aunque no sean inorgánicos algunos de ellos (periódico, cartón, entre otros) se consideran así por cuestiones prácticas; otros como el vidrio, PET, latas de aluminio, envases de plástico en buen estado, son igualmente vendidos a los centros de recolección o de reciclado cercanos a la CEDA. Los mismos pepenadores se hacen cargo de esta transportación. Se observó que los separadores de huevo, que también son de cartón, no son pepenados en su totalidad, como se observa en las imágenes del Anexo 4.

Otro producto que tiene un alto nivel de reventa son los contenedores de madera denominados “huacales” los cuales son recuperados por los pepenadores y vendidos al centro de “reciclado de envases” en \$1.50 cada uno, una vez que son rehabilitados, estos envases son vendidos en \$5.00 cada uno. Durante la entrevista a los operarios en este centro de reciclado, indicaron que el promedio de envases de este tipo llega a ser de hasta 5 mil piezas diarias, y que cuentan en promedio con 30 empleados.

A pesar de lo anterior, no todos estos residuos son recuperados de los contenedores. Esto se puede apreciar en las imágenes de cada uno de los andenes revisados.

3.4.3.1 Valor comercial de los principales RSI identificados en la CEDA

Se llevó a cabo una investigación general del valor de los residuos sólidos que más comúnmente se venden para su reciclaje, visitando algunos centros de compra y revisando los que se anuncian por

periódico e internet, con lo que se puede tener una idea global de los montos obtenidos por esta actividad. Ver Tabla 6.

3.4.4 Residuos inorgánicos sin valor comercial actual

Los RSI encontrados en los contenedores y fuera de ellos son principalmente bolsas de plástico, productos de poliestireno (unicel) como vasos y platos, también se identificaron costales de plástico, eventualmente cartón y tereftalato de polietileno (PET) mezclados con los otros productos o contaminados con residuos orgánicos, razón por la que fueron desechados.

Otros productos identificados son llantas de vehículos, partes de muebles, desechos de construcción que se encuentran en las inmediaciones de la CEDA y que no corresponden a desechos de este centro sino que fueron llevados por visitantes o los vecinos de la CEDA que llevan sus residuos de forma clandestina a los contenedores de la CEDA o a las inmediaciones de esta central de abasto.

3.4.5 Residuos sólidos orgánicos con valor comercial

Prácticamente en todos los andenes donde hay RSO los pepenadores hacen una recolecta basta durante todo el día, estos residuos son guardados en sus bodegas improvisadas en pasillos y andenes y posteriormente vendidos a precio bajo en los mismos andenes, ya sea al menudeo o al mayoreo a camionetas que llegan por la tarde a la CEDA antes del cierre de ésta.

Dependiendo del tipo de RSO es la forma de la pepena y en algunos casos llegan vehículos a coleccionar específicamente algún producto específico como la hoja de elote que es usada para la envoltura de los tamales, o el olote que se usa para alimento de animales, combustible.

La fruta, como RSO, aunque tiene un tiempo de vida más corto que otros productos, su periodo de venta es igualmente reducido pero según las observaciones, la mayoría de las veces encuentra un comprador, principalmente porque lo que se pepena está en buen estado o es parcialmente aprovechable.

Existen algunos casos muy especiales como la fresa que llega a los contenedores de desechos en forma muy escasa, otra parte es separada para su venta posterior como producto de segunda; lo mismo sucede con los residuos del área de pescados y mariscos los cuales son retirados por una empresa que se dedica a la fabricación de alimentos para animales.

3.4.6 Residuos sólidos orgánicos sin valor comercial actual

Este gran volumen de residuos sólidos que actualmente son un problema para la CEDA y para el centro de composteo en el Bordo Poniente, en realidad deberían ser un gran beneficio para los productores en el campo, para los jardines y parques del DF y para la alimentación de animales ya sean domésticos o de los zoológicos; un ejemplo de esto es el zoológico *African Safari*, en el estado de Puebla, el cual adquiere para sus animales 3 toneladas a la semana de alimento de segunda, con valor de \$25 mil pesos, como lo mencionó en conferencia telefónica la MVZ Lilian Bigurra, responsable de la dieta de los animales de ese zoológico.

3.4.7 Conclusiones del análisis de los residuos

Todos los RSI que son pepenados para su venta, así como los consumidores de productos orgánicos de segunda, permiten que se reduzca el volumen de RSU de la CEDA, posiblemente estos volúmenes

lleguen a representar hasta un 20% adicional al contabilizado. Este es un indicador positivo de que debemos de buscar soluciones orientadas al reciclaje, reutilización y reducción más que a buscar la forma de tirarlo o depositarlo en los sitios de disposición final.

3.5 Manejo actual de los RSU en la CEDA

3.5.1 Introducción.

Tras el cierre del Bordo poniente llevado a cabo en el año 2010, todos los residuos deben de ser separados en orgánicos e inorgánicos lo que ha provocado un gran descontrol en la CEDA ya que a la fecha no cuentan, con dos contenedores por andén que permitan su correcta separación, lo que ocasiona que los residuos se contaminen unos con otros, que la infraestructura de transporte resulte insuficiente y que cuando son llevados a la central de transferencia no sean aceptados y deban ser “tirados” en las inmediaciones de la CEDA generando un problema mucho más grave.

3.5.2 Logísticos

La CEDA cuenta con un departamento de limpieza el cual mantiene los pasillos y andenes limpios. Entre las 6:00 pm y las 10:00 pm la central permanece cerrada y los 100 empleados de limpia hacen su labor. A lo largo del día y debido al dinamismo de las operaciones comerciales en la CEDA, resulta prácticamente imposible llevar a cabo tareas de limpieza en los pasillos, las únicas acciones factibles son el retiro eventual de los contenedores ubicados en los andenes.

Estos contenedores deben ser vaciados en cuanto se van llenando, para la cual tanto los supervisores como los locatarios se encargan de avisar al servicio de limpia para que retire los contenedores. Si esto no sucede a tiempo, se acumulan los residuos en forma desordenada y se contaminan.

Existen algunos andenes en que se observa que esta labor de retiro temprano de los residuos es muy difícil de lograr, mientras que en otros andenes se observó que esto no representa ningún problema, como en el caso de los residuos de pescados y mariscos. También se observó que en algunos andenes no hay contenedores y los residuos son depositados directamente en el suelo.

3.5.3 Reutilización o reciclaje por parte de la CEDA

Actualmente solo los envases de madera y algunos de plástico son reciclados ya que cuentan con un espacio definido para su recepción, almacenaje, reparación (para el caso de los contenedores de madera) y su posterior traslado a los usuarios que son los mismos productores.

La CEDA por si misma no cuenta con un programa de reciclado de residuos y los pepenadores son quienes obtienen beneficios por la venta de residuos y aunque esta actividad representa un ingreso permanente para estas personas, no se tiene un registro abierto de los volúmenes que manejan y mucho menos de los ingresos que puedan tener.

3.6 Análisis cualitativo y estimación cuantitativa de los RSI

En esta sección, se presentan los resultados del análisis de los residuos, producto del trabajo de campo, levantamiento de datos en la “hojas de campo” y las imágenes que se capturaron con las cámaras fotográficas. El documento en referencia se encuentra en el Anexo 4 de este informe y que muestra algunas de las más de 1000 imágenes que se tomaron para análisis cualitativo primeramente y mediante la estimación de cantidades, por frecuencia de su presencia en las imágenes, la evaluación cuantitativa. La figura 8 es la imagen concluyente del trabajo de campo, indica que residuos hay y las estimaciones de cantidades porcentuales. La figura 9 muestra del lado izquierdo una pala mecánica recogiendo los residuos orgánicos del suelo directamente, y del lado derecho la fotografía de dos de los 10 técnicos que trabajaron en las tareas de diagnóstico en la CEDA y finalmente la gráfica de la figura 10, es un histograma de frecuencias que compara los datos obtenidos de la evaluación de los RSI de la CEDA contra lo que reporta la secretaria de obras y la SEMARNAT de la distribución de los RSU de la Ciudad de México. Al encontrar cercanía en los resultados porcentuales entre la referencia (GDF) y los datos levantados, podemos concluir que la metodología empleada es válida y que se cumplen los mismos patrones por tipo y cantidad de residuos sólidos inorgánicos.

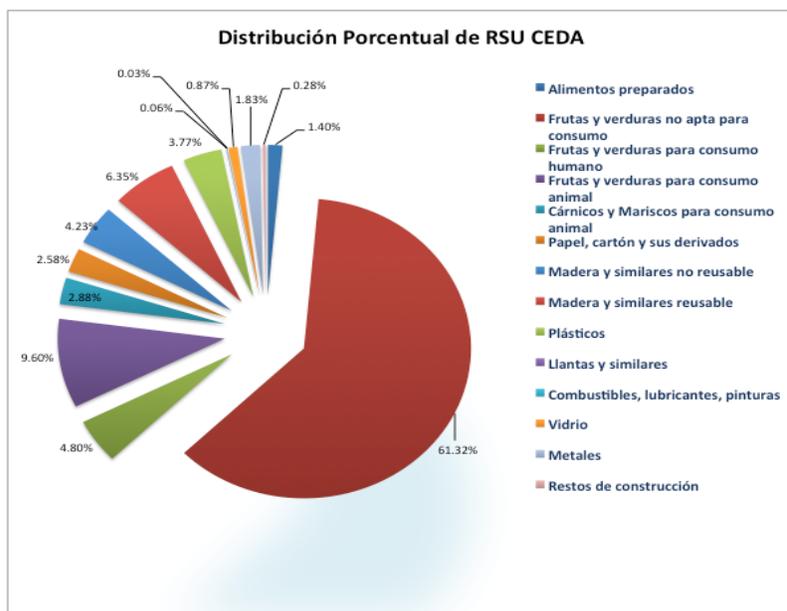


Fig. 8 Distribución porcentual de los RSU de la CEDA



Fig. 9 Traspaleo de los RSO y dos técnicos llevando a cabo el diagnóstico

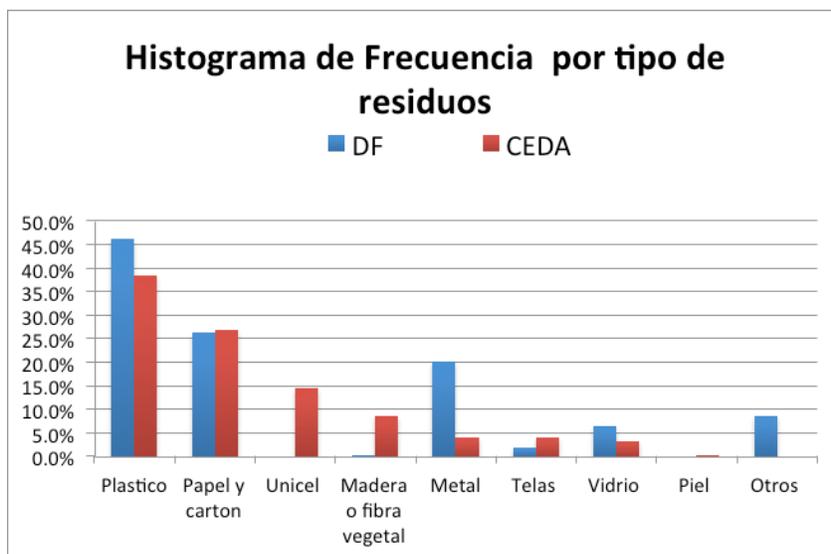


Fig. 10 Histograma de frecuencias comparativo entre el DF y la CEDA.

3.6.1 Residuos Orgánicos

Se llevó a cabo el análisis de los datos de hojas de campo así como de las imágenes tomadas de los residuos sólidos orgánicos, utilizando la siguiente metodología:

- a) De las hojas de campo se anotó en una hoja de Excel, la fecha, la hora, el número de andén y los productos que el técnico identificó durante sus recorridos. El técnico permanecía en cada punto al menos 20 minutos y regresaba al mismo lugar 40 minutos más tarde y registraba nuevamente sus observaciones en la hoja de campo. Mientras tanto visitaba otros andenes y hacia la misma operación.
- b) Otro técnico hacia recorridos más breves en cada uno de los andenes y llevaba a cabo el levantamiento fotográfico, cada vez que cambiaba de andén su primera fotografía era aquella que indicaba en que andén está iniciando. La misma cámara registraba la fecha y la hora.
- c) En gabinete, otro técnico registraba en la hoja de cálculo ambas observaciones indicando la fecha la hora y qué productos se identificaban y en qué porcentaje, así como el porcentaje de llenado del contenedor.

Estas imágenes solamente confirman por una parte que la diversidad de residuos orgánicos corresponden a la diversidad de productos del campo mexicano y que no nos aporta un valor relevante por ahora su distribución estadística o el contar con un conteo detallado de cada uno de los productos. Para fines de nuestro estudio si consideramos que porcentaje de ellos estaba en “buen estado” o “parcialmente aprovechable”, ya que esta información si tiene relevancia. Otro factor considerado fue “la mezcla” de productos dentro del contenedor, lo que nos permite establecer estrategias de aprovechamiento o de mezclas desde el origen para fines de usos o aprovechamientos parciales posteriores.

En el Anexo 4, se puede consultar el informe completo del diagnóstico y las imágenes de cada uno de los andenes de la CEDA de las que se extrajo gran parte de la información para este estudio y que sirve de referencia en cuanto a volúmenes de RSU que se llegan a acumular a lo largo del día. Nunca queda un contenedor con residuos para ser desalojado al siguiente día, todos se desalojan antes de que la CEDA cierre sus puertas por la tarde.

Esta metodología es usada en forma similar para evaluación de diversidad de especies vegetales en un área marina o terrestre llevando acabo transectos de medidas específicas y haciendo muestreos por observación directa y conteo de individuos. En bioquímica también se usa para el análisis de las aguas residuales y conteo de bacterias, o para conteos de glóbulos blancos en análisis de sangre, entre otros. No tenemos referencia de que esta metodología haya sido usada en otras evaluaciones de RSU, sin embargo la correlación que encontramos entre los estudios llevados a cabo por otros, como la SEMARNAT y la secretaria de obras del GDF, indican que nuestro método es válido para el fin que perseguimos: identificar los residuos de mayor frecuencia y saber en qué condiciones físicas se encuentran y su distribución dentro de la CEDA.

3.6.2 Residuos sólidos inorgánicos

Este tipo de residuos en particular, si son motivo de un análisis más preciso dado que se pueden considerar contaminantes de los primeros y que debemos de tomar acciones específicas para su manejo y de ser posible su reducción, reciclaje y reutilización. La metodología usada para su análisis cualitativo y cuantitativo fue exactamente igual que para el caso de los orgánicos, con la diferencia que aquí si se registró tipo y “cantidad estimada” por las razones que ya se explicaron anteriormente. Cabe la aclaración que no se incluye lo que los pepenadores colectan a lo largo del día, ya que para obtener esa información hubiese sido necesario un trabajo muy arduo y costoso para el programa y no consideramos necesario por ahora tener esa contabilidad de residuos vendidos a las recicladoras por los pepenadores de la CEDA.

La figura 11, se muestra la distribución de los RSI, esta misma información se encuentra detallada en el Anexo 4, donde se incluyen las tablas que muestran las cantidades estimadas y la metodología utilizada para la preparación de la gráfica.



Fig. 11 Distribución de frecuencia de los RSI en la CEDA

3.7 Análisis del marco regulatorio federal y del Distrito Federal sobre los residuos

La legislación federal y del Distrito Federal en materia de residuos establece qué tipo y cantidades de residuos son regulados por una u otra autoridad, o ambas de manera coordinada. Es el caso de los residuos peligrosos que, exceptuando los que generan los micro generadores y siempre que haya un convenio con un estado, son facultad de la federación. Los de manejo especial, los peligrosos de micro generadores (mediante convenio) y los residuos sólidos urbanos, son facultad del Distrito Federal, sus delegaciones y municipios del país respectivamente.

En un plano distinto, la recién publicada Ley General de Cambio Climático, establece, además de atribuciones de los tres niveles de gobierno en materia de residuos, disposiciones relacionadas con aspectos de aprovechamiento de los mismos para generación de energía, obligación de establecer acciones de mitigación de emisiones derivadas de los residuos y los objetivos que serán evaluados dentro de la Estrategia Nacional de Cambio Climático y el Programa Especial de Cambio Climático que en la ley se establece. Por tanto, es obligación de las autoridades estatales y en el caso de la CEDA, del Distrito Federal, impulsar acciones de mitigación por la generación de los residuos y estudiar el potencial que tienen en cuanto a su aprovechamiento y generación de energía eléctrica.

La CEDA, de acuerdo al diagnóstico que se describe en secciones anteriores del presente informe, genera principalmente residuos orgánicos e inorgánicos de tipo doméstico, y por otro lado, debe lidiar con residuos de manejo especial de distinto tipo a los anteriores que, aunque no son generados por la operación cotidiana de la propia CEDA, éstos son depositados dentro y fuera de su perímetro por parte de usuarios de la organización y por gente externa.

Por tanto, las disposiciones legales a observar de manera directa por parte de la CEDA, se encuentran establecidas principalmente en la Ley Ambiental del D.F., y la Ley de Residuos Sólidos del D.F. y sus reglamentos, mismos que son descritos a continuación:

1. La CEDA, de acuerdo la Ley Ambiental del D.F., **no cuenta con la Licencia Ambiental Única del D.F. (LAUDF) y está obligada a tramitarla**, ya que es una fuente fija que emite contaminantes al medio, básicamente residuos. Esto, de acuerdo a las definiciones de la propia ley. Los requisitos de la LAUDF se establecen en los artículos 61bis al 61bis 4 de la citada ley y el principal aplicable a la organización, es la generación de residuos y como anexo, el plan de manejo de residuos correspondiente, de acuerdo a lo que se establece en los siguientes puntos. Al final de este capítulo, se incluyen los formatos de la LAUDF que la CEDA debe llenar, así como el Anexo C que corresponde al tema de residuos y que conforma el plan de manejo que debe llenar, como se explica en los siguientes puntos.
2. La CEDA **es un generador de alto volumen** de residuos de acuerdo a la definición de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) que establece en su artículo 3, fracción XVII, que los generadores de alto volumen “son las personas físicas o morales que generen un promedio igual o superior a 50 kg diarios en peso bruto total de los residuos sólidos o su equivalente en unidades de volumen”. Como se menciona en este informe (de acuerdo a datos actuales proporcionados por la SMA del GDF), la CEDA genera entre 600⁷ y 800 toneladas diarias de residuos, de los cuales aproximadamente el 80% son residuos orgánicos. Dentro del 20% restante se encuentra otro tipo de residuos que consta en su mayoría de residuos de empaque de unisel y bolsas de plástico. A partir de estas magnitudes se concluye que se trata de un generador de alto volumen.
3. Por ser generador de alto volumen, la CEDA debe **elaborar un Plan de Manejo** de acuerdo al artículo 23 de la LRSDF el cual establece que: “Las personas físicas o morales responsables de la producción, distribución o comercialización de bienes que, una vez terminada su vida útil, originen residuos sólidos en alto volumen o que produzcan desequilibrios significativos al medio ambiente, cumplirán, además de las obligaciones que se establezcan en el Reglamento, con las siguientes:
 - I. Instrumentar planes de manejo de los residuos sólidos en sus procesos de producción, prestación de servicios o en la utilización de envases y embalajes, así como su fabricación o diseño, comercialización o utilización que contribuyan a la minimización de los residuos sólidos y promuevan la reducción de la generación en la fuente, su valorización o disposición final, que ocasionen el menor impacto ambiental posible;
 - II. Adoptar sistemas eficientes de recuperación o retorno de los residuos sólidos derivados de la comercialización de sus productos finales; y

⁷ En el inventario de RSU del 2008 y del 2011 indica que la CEDA genera 585 t/día.
(<http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos>)

- III. Privilegiar el uso de envases y embalajes que una vez utilizados sean susceptibles de valorización mediante procesos de reutilización y reciclaje”.
4. De acuerdo al artículo 12 del Reglamento de la LRSDF, **el plan de manejo que debe elaborar y presentar la CEDA es de categoría A** que corresponde a un volumen de generación de más de 1000 kg al día de residuos como lo muestra el Anexo 1.
 5. Los requisitos del plan de manejo para esta categoría, de acuerdo al artículo 21 del reglamento citado son:
 - I. Datos generales del generador, tipo y caracterización de residuos, cantidad generada y proceso que los generó, así como destino(s) y cantidad aprovechada;
 - II. Datos generales de las empresas o delegación a las que se les entregan los residuos, especificando: nombre y dirección de cada empresa; y
 - III. Estrategia y calendario de minimización.
 6. Los residuos de empaque de unisel y bolsas de plástico que se generan en la CEDA, están listados en el reglamento como residuos para los cuales también se debe **elaborar un plan de manejo** por ser residuos que causan alto impacto al ambiente (artículo 23 de la LRSDF y artículo 28 del reglamento de dicha ley), aunque pueden formar parte del plan de manejo integral de la CEDA.
 7. De acuerdo al capítulo de planes de manejo del reglamento, estos planes de manejo **deben ser autorizados por la SMA** en un plazo no mayor a 30 días hábiles. Los planes autorizados, deberán ser **actualizados anualmente** por parte de los generadores. En el caso de centros o plazas comerciales y establecimientos mercantiles y de servicios que compartan un mismo inmueble y que manejen en conjunto sus residuos sólidos, podrán presentar un solo plan de manejo, debiendo especificar cuáles son los establecimientos que intervienen en él. Este es el caso de la Central de Abastos, ya que los residuos que ahí se generan, en su gran mayoría provienen de los locatarios, sin embargo, es la CEDA la que los maneja de manera integral.
 8. De acuerdo al capítulo sobre la separación de los residuos en el reglamento, éstos **deben separarse en orgánicos e inorgánicos**. La CEDA no cumple de manera eficiente con esta disposición ya que aunque se ha hecho un esfuerzo por lograr esta separación, en la mayoría de los contenedores designados para residuos orgánicos, se observan también, residuos de empaque de plástico y unisel mezclados. Por otro lado, no existen contenedores específicos para inorgánicos y éstos son depositados a un lado de los orgánicos en los patios de maniobras de la CEDA (observaciones derivadas de las visitas en campo del presente diagnóstico)

El artículo 33 del reglamento establece lo anterior claramente: “los generadores de residuos sólidos deberán disponer de contenedores diferenciados y aptos para el almacenamiento temporal de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos; así como tomar las prevenciones necesarias para evitar la mezcla de los mismos en la fuente de generación, su almacenamiento temporal o la entrega al servicio de limpia”. Es conveniente, como lo establece el reglamento, que se sub-clasifiquen y se

separen los residuos al menos en las siguientes categorías (en negritas se destacan los residuos que, en mayor cantidad, genera la CEDA):

- I. Residuos de jardinería y los provenientes de poda de árboles y áreas verdes;
- II. Residuos provenientes de la preparación y consumo de alimentos;
- III. Residuos susceptibles de ser utilizados como insumo en la producción de composta;
- IV. Los demás que establezcan en forma conjunta la Secretaría y la Secretaría de Obras.

Los residuos inorgánicos se deben sub-clasificar en:

- I. Vidrio;
 - II. Papel y cartón;
 - III. Plásticos;
 - IV. Aluminio y otros metales no peligrosos y laminados de materiales reciclables;
 - V. Cerámicas;
 - VI. Artículos de oficina y utensilios de cocina;
 - VII. Equipos eléctricos y electrónicos;
 - VIII. Ropa y textiles;
 - IX. Sanitarios y pañales desechables;
 - X. Otros no considerados como de manejo especial; y
 - XI. Los demás que establezcan en forma conjunta la Secretaría (de Medio Ambiente del D.F.) y la Secretaría de Obras.
9. De acuerdo a los hallazgos reportados en este informe, en la CEDA son depositados tanto residuos de construcción como muebles, enseres domésticos y llantas usadas principalmente, que provienen del exterior de la organización. **Estos son considerados por la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal como de manejo especial y sujetos a plan de manejo** pero es imprescindible que la CEDA trabaje conjuntamente con la delegación y las instancias de gobierno correspondientes para prevenir que se depositen estos tipos de residuos por parte de gente externa a la CEDA.
10. Algo similar sucede con los residuos de tipo doméstico que son depositados por usuarios de la CEDA y que son generados en el exterior. Normalmente estos residuos se encuentran **mezclados (orgánicos e inorgánicos)** por lo que la Delegación no los acepta y la CEDA los ha ido almacenando en algunas áreas dentro y fuera del perímetro de la organización. Lo anterior es violatorio de lo que establece en la ley de residuos local y su en sus artículos 21 y 24 y en el 11 de su reglamento principalmente.

3.7.1 Marco legal sobre residuos sólidos en México

A continuación se muestra un desglose de los instrumentos jurídicos que establecen disposiciones en materia, el cual abarca la legislación a nivel federal ya que de ahí emanan las atribuciones y competencias del Gobierno del Distrito Federal, así como la legislación local que es la que regula a la CEDA principalmente, aunque para algunos tipos de residuos, la organización está sujeta a disposiciones y reportes federales.

Dichas disposiciones son la base para llevar a cabo el análisis de los ordenamientos que la CEDA debe cumplir en materia de residuos descrita en la sección siguiente, mismas que se enlistan a continuación:

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
Federal	
Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 – Residuos Sólidos	<p>OBJETIVO 12: Reducir el impacto ambiental de los residuos</p> <p>Para atender el problema de la disposición inadecuada de los residuos en nuestro país se requerirá favorecer la valorización de los residuos, así como el diseño y construcción de infraestructura apropiada que permita la recolección, separación, reciclaje y disposición final de éstos. Además será necesario vigilar que se cumpla la normatividad vigente en las instalaciones y en las operaciones de manejo de residuos.</p> <p>Un ejemplo es el aprovechamiento de los desechos orgánicos para la producción de biogás y la generación de electricidad, lo cual es especialmente rentable para los municipios.</p> <p>ESTRATEGIA 12.1 Promover el manejo adecuado y el aprovechamiento de residuos sólidos con la participación del sector privado y la sociedad.</p> <p>ESTRATEGIA 12.2 Promover el desarrollo de la infraestructura apropiada para la gestión integral de los residuos peligrosos.</p> <p>ESTRATEGIA 12.3 Intensificar las regulaciones y controles para la gestión integral de residuos peligrosos.</p> <p>ESTRATEGIA 12.4 Promover la remediación de suelos en sitios contaminados.</p>
Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988)	<p>Establece las competencias en materia de residuos para la federación, estados, D.F. y municipios.</p> <p>Federación: manejo y disposición final de residuos peligrosos.</p> <p>Estados y D.F.: sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos</p> <p>Municipios: prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo,</p>

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos.
Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2003)	<p>Esta ley sienta las bases para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Regular la generación y manejo integral de residuos peligrosos así como establecer las • disposiciones que serán consideradas por los gobiernos locales en la regulación de los residuos que • conforme a esta Ley sean de su competencia; • Definir las responsabilidades de los productores, importadores, exportadores, comerciantes, • consumidores y autoridades de los diferentes niveles de gobierno, así como de los prestadores de • Servicios en el manejo integral de los residuos; • Fomentar la valorización de residuos, así como el desarrollo de mercados de subproductos, bajo • criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica, y esquemas de financiamiento adecuados • Crear un sistema de información relativa a la generación y gestión integral de los residuos; • peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial, así como de sitios contaminados y remediados • Prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los • criterios a los que se sujetará su remediación; • Regular la importación y exportación de residuos; • Fortalecer la investigación y desarrollo científico, así como la innovación tecnológica, para reducir • la generación de residuos y diseñar alternativas para su tratamiento, orientadas a procesos productivos • más limpios, y • Establecer medidas de control, medidas correctivas y de seguridad para garantizar el • cumplimiento y la aplicación de esta Ley y las disposiciones que de ella se deriven, así como para la imposición de las sanciones que corresponda. • Establece los conceptos de grande, pequeño y micro generador de residuos e instrumentos como el Plan de Manejo. • Establece las competencias de la federación, estados, D.F. y municipios para la regulación de residuos según su tipo y cantidad.

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	<ul style="list-style-type: none"> • Establece para la federación la facultad de expedir normas oficiales mexicanas para: residuos peligrosos, sujetos a planes de manejo, sólidos urbanos y de manejo especial. <p>Establece para los estados y el DF, entre otras, las siguientes facultades:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar programas en materia de residuos de manejo especial, emitir ordenamientos jurídicos y autorizar el manejo integral de estos residuos; • Autorizar y llevar a cabo el control de los residuos peligrosos generados o manejados por micro generadores mediante convenios que se suscriban con la Secretaría y con los municipios; • Establecer el registro de planes de manejo y programas para la instalación de sistemas destinados • a su recolección, acopio, almacenamiento, transporte, tratamiento, valorización y disposición final; • Promover la investigación, desarrollo y aplicación de tecnologías, equipos, sistemas y procesos que • eliminen, reduzcan o minimicen la liberación al ambiente y la transferencia de uno a otro de sus • elementos, de contaminantes provenientes del manejo integral de los residuos de su competencia; • Diseñar y promover ante las dependencias competentes el establecimiento y aplicación de • instrumentos económicos, fiscales, financieros y de mercado, que tengan por objeto prevenir o evitar la • generación de residuos, su valorización y su gestión integral y sustentable; • Determinar los indicadores que permitan evaluar la aplicación del presente ordenamiento, e • integrar los resultados al Sistema de Información Ambiental y de Recursos Naturales.
Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	<p>Las normas oficiales mexicanas que expida la Secretaría para la clasificación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que estarán sujetos a planes de manejo, contendrán:</p> <p>I. Los criterios que deberán tomarse en consideración para determinar los residuos sólidos urbanos</p> <p>y de manejo especial que estarán sujetos a plan de manejo;</p> <p>II. Los criterios para la elaboración de los listados;</p> <p>III. Los listados de los residuos sujetos a planes de manejo;</p>

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	<p>IV. Los criterios que se tomarán en cuenta para la inclusión y exclusión de residuos en los listados, a solicitud de las entidades federativas y municipios;</p> <p>V. El tipo de plan de manejo, atendiendo a las características de los residuos y los mecanismos de control correspondientes, y</p> <p>VI. Los elementos y procedimientos que deberán tomarse en consideración en la elaboración e implementación de los planes de manejo correspondientes.</p>
<p>Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de residuos</p>	<p>Las NOM expedidas por la federación en esta materia abarcan normas para el manejo de residuos peligrosos (RP) de giros específicos como los residuos mineros y los biológico infecciosos (BI), normas para el listado de los RP y BI, normas sobre requisitos y criterios de planes de manejo de residuos mineros, normas sobre presas de jales, normas para bifenilos policlorados, sobre confinamientos controlados de RP, entre otras, y en materia de residuos sólidos urbanos, normas para la operación de rellenos sanitarios para residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Su listado y documentos vigentes se encuentran en la página de SEMARNAT:</p> <p>www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/nomsxmateria.aspx</p>
<p>Distrito Federal</p>	
<p>Ley Ambiental del Distrito Federal</p>	<p>Establece la obligación de tramitar la Licencia Ambiental Única para diversos establecimientos mercantiles, comerciales, manufactureros, de servicios, entre otros y la lista de actividades que están exentas de presentar este trámite. Dentro de este instrumento se liga el aspecto de residuos y los planes de manejo que deben elaborarse de acuerdo a la Ley de Residuos Sólidos del D.F. y su reglamento.</p>
<p>Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal</p>	<p>Esta ley tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpieza.</p> <p>Establece conceptos como “generador de alto volumen” y el tipo de residuos que le corresponde regular: sólidos urbanos de alto volumen y de manejo especial.</p> <p>Establece el listado de los residuos considerados como de manejo especial. Estos y los de alto volumen están sujetos a Planes de Manejo además de otros que pueden causar alto impacto al ambiente.</p>

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	<p>Define las atribuciones y responsabilidades de las distintas dependencias y Delegaciones en lo que respecta al sistema limpia, transferencia y tratamiento de residuos.</p> <p>Establece un capítulo de composteo y la obligación de la Secretaría de Obras de diseñar, construir, operar y mantener centros de composteo o de procesamiento de residuos urbanos orgánicos. En coordinación con la Secretaría de Desarrollo Económico promoverá el fomento de mercados para la comercialización del material que resulte del composteo.</p> <p>Las dependencias y entidades del Gobierno del Distrito Federal, de las delegaciones, de la Asamblea Legislativa del Distrito Federal, el Tribunal Superior de Justicia del Distrito Federal y demás órganos autónomos, están obligados a implementar Sistemas de Manejo Ambiental los cuales tendrán por objeto prevenir, minimizar y evitar la generación de residuos y aprovechar su valor.</p>
Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	<p>Establece categorías para planes de manejo de acuerdo al volumen de generación y tipo de residuos. Lista los residuos especiales y las categorías de aquellos que pueden causar alto impacto al ambiente y que por ende están sujetos a plan de manejo. Ordena la separación de residuos en orgánicos y sugiere la sub clasificación de cada categoría en distintos tipos de residuos. Establece el procedimiento y tiempos de autorización de los planes de manejo y define la periodicidad con la que deben ser actualizados.</p> <p>Establece las responsabilidades de las secretarías involucradas en la gestión de los residuos y las responsabilidades para los generadores de los mismos abarcando casas habitación, establecimientos mercantiles, de servicios y actividades de construcción entre otras.</p>
Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal	<p>Es el instrumento que está orientando la ejecución de las disposiciones contenidas en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal durante el período de 5 años a partir de que inició su vigencia que fue en septiembre de 2010 cuando éste se publicó.</p> <p>Los residuos considerados en el programa son los sólidos urbanos y los de manejo especial.</p> <p>El programa menciona específicamente: dar prioridad a la composta generada con los residuos de la CEDA así como la proveniente de poda de áreas verdes, parques y jardines; ubicar los sitios de producción de composta más cercanos a las fuentes generadoras de materia orgánica, para evitar los costos económicos y ambientales del traslado en la zona urbana; promover la producción de composta a cargo de los propios consumidores para combinar el punto de generación y el lugar de consumo; y los Centros Integrales de Reciclaje y Energía (CIRE's)</p>

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	<p>incluirán el tratamiento de los residuos orgánicos mediante el tratamiento en pilas y/o biodigestores.</p> <p>El programa establece estrategias para la gestión integral de los residuos sólidos con objetivos, metas, acciones, participantes y calendario de aplicación para cada estrategia.</p> <p>Los generadores de más de 500 kg diarios de residuos son prioritarios en la estrategia de planes de manejo, estrategia en la que cae directamente la CEDA.</p> <p>En la estrategia correspondiente a Separación en el Origen, se establece un objetivo para establecimientos mercantiles de servicios, entre otros de promover la instalación de centros de producción de composta de los residuos orgánicos en los Centros de</p> <p>Generación de Alto Volumen. Según la programación del documento, esto debería haberse realizado en 2011, al igual que la entrega de los planes de manejo de este tipo de generadores.</p> <p>En la estrategia sobre Mejoramiento de la Infraestructura, se establece la acción de realizar estudios de factibilidad para establecer plantas de composta en las delegaciones políticas y una de forma regional. No se tiene conocimiento de que existan dichos estudios.</p> <p>Dentro de la estrategia de Aprovechamiento y Valorización de los Residuos Sólidos, Tecnologías Alternativas, se tiene un objetivo consistente en analizar la posibilidad de promover en la Central de Abasto la utilización del proceso de metanización, para aprovechar y valorizar los residuos orgánicos. Algunas de las acciones ligadas a este objetivos programadas desde 2011 en adelante es la realización de un diagnóstico de residuos en la CEDA, Merced y mercado de Jamaica y efectuar los estudios de viabilidad y factibilidad técnico-económica del proceso de metanización en los sitios mencionados.</p> <p>El fortalecimiento del marco regulatorio del DF sobre residuos es otra de las estrategias contenidas en el programa. En esta se plantó la elaboración de normas ambientales para un sin número de aspectos de la gestión integral de los residuos entre las que destaca la norma para composta y biodigestores.</p>
Normas Técnicas Ambientales	<p>El reglamento establece que se deberán generar normas ambientales para las distintas etapas de la gestión integral de los residuos sólidos (generación, operación, acopio, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización, disposición final, valorización; minimización, reutilización, condiciones de seguridad, requisitos y limitaciones en el manejo de residuos sólidos que presenten riesgo para el ser humano, el equilibrio ecológico y el medio ambiente, y las demás que se relacionen con la gestión y manejo integral</p>

Instrumento jurídico	Aspectos importantes contenidos
	<p>de residuos sólidos) sin embargo aún no existen normas publicadas para estas etapas de la gestión de residuos salvo la NADF-007-RNAT-2004 sobre la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción. Y la NADF-020-AMBT-2011 de reciente publicación (noviembre de 2012) que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el Distrito Federal. Esta norma es relevante para este estudio ya que de implementarse la tecnología seleccionada y elaborar composta de los residuos sólidos orgánicos de la CEDA, ésta deberá cumplir con los requerimientos establecidos en ella.</p>

Capítulo IV

Opciones de manejo de los RSU de la CEDA

4 Estrategias en la gestión de RSU

4.1 Introducción

Posterior al análisis de los resultados del diagnóstico de los RSU de la CEDA, se procedió al análisis de las alternativas para su manejo, se revisó la literatura especializada en este tema así como una revisión exhaustiva, a través de los medios electrónicos, de las soluciones que están implementado otros países. Las referencias bibliográficas se encuentran al final de este informe.

De igual forma, se consultó a los directivos de la CEDA⁸, así como representantes y directivos de la SMA para conocer sus experiencias pasadas, las consultas que hayan hecho a expertos o las empresas y organizaciones que hayan hecho alguna aportación, todo esto con la finalidad de tener una línea base o incluso, entrevistar a esos actores para conocer su punto de vista sobre la problemática. Tanto la CEDA como la SMA a través de la dirección de residuos, nos hicieron saber que habían recibido más de 20 propuestas de diferentes países y con diferentes tecnologías sin que se haya podido implementar alguna solución, así mismo indicaron que algunas empresas nunca regresaron a ratificar su interés por el manejo de estos residuos.

Con la finalidad de revisar dichas propuestas se le solicitó oficialmente al director de la CEDA, facilitara copia de dichas propuestas para estudiar cada una de ellas, sin embargo la dirección contestó por oficio que la documentación es de carácter privado. Copia de los oficios se encuentran en el Anexo 2 de este documento.

4.1.1 Técnicas y tecnologías disponibles para el manejo de los RSU

4.1.1.1 Línea base

Partiendo del inventario cualitativo de residuos se llevó a cabo el análisis de opciones tecnológicas, teniendo en mente que el resultado final deberá ser 100% factible de implementar. En esta sección se recapitulan los datos más relevantes para visualizarlos como punto de partida.

La línea base de análisis con la que contamos es la siguiente:

- a) Los residuos sólidos inorgánicos (RSI) representan, en números redondos, el 20% del total de los RSU de la CEDA mientras que el 80% son residuos sólidos orgánicos (RSO).
- b) La humedad relativa de los RSI se encuentra en el rango de 10% a 20%, mientras que, en promedio, los orgánicos se encuentra por arriba del 70% como se muestra en la figura 12.
- c) Es posible que se puedan organizar los residuos orgánicos, por categoría como por ejemplo: frutas, legumbres, verduras, y adicionalmente por tipo de fruta, entre otros.
- d) Es factible la colecta desde los locales y el control de disposición de los RSU en los contenedores para evitar que se contaminen ya sea con los inorgánicos o entre los mismos orgánicos.

⁸ En el Anexo 2, se encuentra la relatoría de este estudio y las minutas de las reuniones.

- e) El porcentaje mayor de los RSI son plásticos de diferentes clases, mismos que pueden ser clasificados desde el origen, ayudando a que no pierdan su valor en las recicladoras y que no contaminen a otros residuos.
- f) Otros residuos que son parcialmente pepenados como son el papel, cartón, vidrio, metales, podrían ser aún más depurada la separación y envío a los centros privados de reciclaje, con un mayor valor agregado.
- g) Existe una aportación externa de RSU proveniente de los vecinos, de los transportistas y de algunos compradores que llevan sus residuos a los contenedores de la CEDA. Es incierta la opción de que se puedan controlar estas aportaciones en el futuro, a menos que se establezcan mecanismos de control.

HUMEDAD DE LOS RSU		
Componente	% de humedad	
	sin mezclar	mezclados
Orgánicos (alimentos)	68	65
Papel y Cartón	12	24
Plásticos	1	2
Madera	20	24
Textiles	12	19
Vidrio	2	3
Metales	2	2

Tabla 7 Humedad relativa de los RSU más comunes. (<http://www.ambientum.com>)

4.1.2 Clasificación de los RSU considerada para el presente estudio

De acuerdo a la clasificación de los RSU de la SEMARNAT y adaptándola en términos de biodegradabilidad, se presenta la figura 13, en la que básicamente se encuentran:

- a) Orgánicos: representan el 80% en el sentido estricto y que además es biodegradable
- b) Inorgánicos: aquellos que no son de origen orgánicos y por lo mismo no son biodegradables
- c) Peligrosos: Los combustibles, pinturas, baterías de autos, entre otros
- d) De manejo especial: como ejemplo las llantas de vehículos, los restos de construcciones, entre otros

	POR SU ORIGEN	BODEGRADABILIDAD	CLASIFICACION	RSO/RSI
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	DE ORIGEN ORGÁNICO	BIODEGRADABLES	Alimentos preparados	A estos se les clasifica comunmente como Residuos Sólidos Orgánicos (RSO)
			Frutas y verduras	
			Cárnicos y Mariscos	
			Papel, cartón y sus derivados	
			Madera y similares	
	INORGÁNICOS	NO BIODEGRADABLES	Plásticos	A estos se les clasifica comunmente como Residuos Sólidos Inorgánicos (RSI)
			Llantas y similares	
			Combustibles, lubricantes, pinturas	
			Vidrio	
			Metales	
			Restos de construcción	

Tabla 8 Clasificación de los RSU por su grado de degradabilidad biológica

4.1.3 Elementos funcionales del sistema de manejo de RSU

De acuerdo al manual de manejo de residuos sólidos (Tchobanoglous, 2002) se mencionan que los elementos funcionales o etapas de la gestión de RSU se pueden resumir de la siguiente forma y de manera gráfica se muestra en la fig. 14.

- a) **Generación de residuos** – Esta etapa comprende las actividades en las cuales los materiales se identifican como productos sin valor y son confinados o colocados en los depósitos de residuos. Una parte importante en la generación de residuos es que debería de haber una etapa de identificación y clasificación, sin embargo en la mayoría de las veces esto queda fuera de control.
- b) **Manejo, separación, almacenaje y procesamiento** (desde la fuente de generación) – Esta etapa incluye las actividades asociadas con el manejo de residuos hasta que estos son colocados en contenedores para su recolección. La separación de los residuos es un paso importante en esta etapa, ya que eso reducirá costos de manejo futuros. El adecuado confinamiento antes de la colecta es vital en términos de salud pública y estética.
- c) **Colecta de los residuos** – La colecta incluye dos pasos importantes por si mismo, el reunir los residuos y siendo previamente clasificados una parte podrá ser enviada a los centros de reciclaje.
- d) **Transferencia y transporte** – la actividad de transferencia y transporte incluye dos etapas a) la transferencia de residuos desde los contenedores pequeños a los sitios de transferencia y b) el subsecuente transporte en vehículos de gran tonelaje generalmente recorriendo grandes distancias.
- e) **Separación, procesamiento y transformación de los RSU** – en esta etapa se lleva a cabo la recuperación de aquellos residuos que puedan ser enviados a las recicladoras por lo que implica una etapa de separación, clasificación y transporte. La transformación se refiere a la compactación, combustión, composteo.
- f) **Disposición final.** Esta etapa varía en función de las etapa por las que hayan pasado los residuos anteriormente pero en términos generales implica su ubicación en los rellenos

sanitarios y en caso de cenizas de la combustión su posible aplicación en asfaltos, construcciones, entre otros.

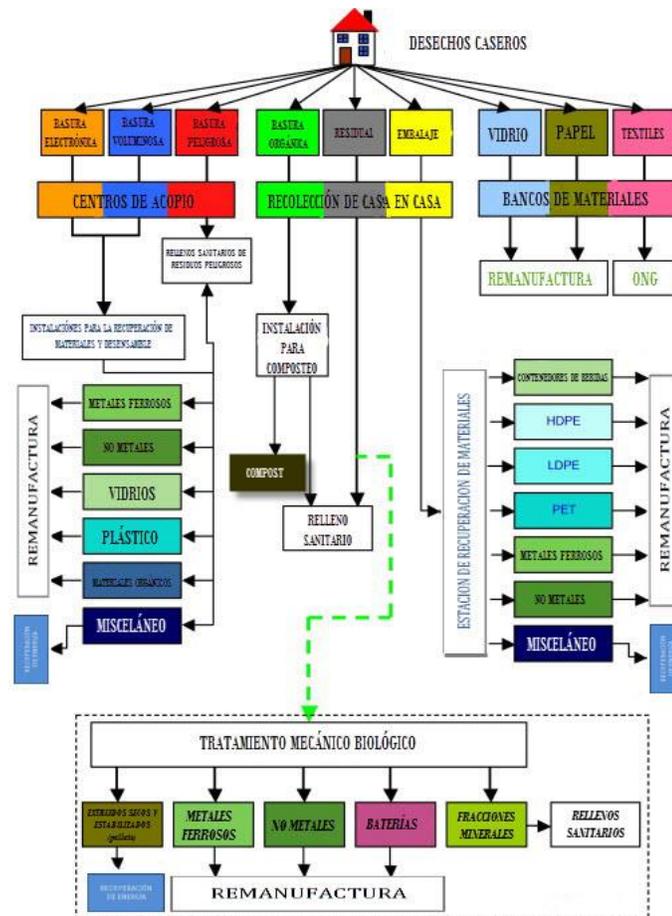


Fig. 12 Diagrama de los elementos funcionales de la GIRSU

4.1.4 Criterios generales para el manejo de los RSU

Las alternativas que se han identificado en México y en otros países tanto en forma independiente como en el conjunto de acciones son las siguientes:

- Reducción de residuos desde el origen
- Reutilizar todas la veces que sean posibles
- Reciclar, utilizando el residuo como materia prima
- Construcción de rellenos sanitarios
- Combustión para generación de energía eléctrica y/o calor
- Biodigestores para desechos orgánicos (generación de gas metano) y generación de calor
- Composteo y vermicomposteo de residuos orgánicos

Cada una de éstas alternativas será analizada a lo largo de este documento estudiando sus pros y contras para llegar a la o las alternativas más viables de implementar en todos los sentidos, económico, ambiental, social y político.

Los incisos **a)** y **b)**, están muy relacionados con un cambio en la parte de generación, desde las mismas fabricas hasta los usuarios de los bienes, en otras palabras los hogares, restaurantes, hoteles, por mencionar solo algunos. Es común encontrar acciones en las que reducir se interpreta solamente como compactar o triturar, en el sentido amplio tiene validez pero en el caso específico se refiere a producir menos desechos, a utilizar menos materias primas y menos recursos naturales para obtener un producto. Por otra parte el utilizar tantas veces como sean posible o “reutilizar” implica el análisis del origen de los residuos, un ejemplo sencillo son los platos y vasos de unicele los cuales son usados una sola vez y son desechados, se deben de buscar los mecanismos para evitar este residuo recurrente en todos los sitios y en la CEDA particularmente. Con estos ejemplos queda claro que estas acciones no implican forzosamente la implementación de tecnologías sino de criterios, acciones, decisiones y actitudes.

El inciso **c)**, invita a una interacción entre usuarios y las autoridades responsables de la gestión de los residuos, que otros productos se pueden elaborar a partir de cierta materia prima que ya está considerada como desperdicio?; si bien esa decisión implica muchas veces la participación de otros sectores como las universidades, las fábricas, los centros de investigación, entre otros.

Los incisos **d)**, **e)**, **f)** y **g)**, están relacionados con inversión pública y/o del estado para su implementación, en algunos casos se requieren de grandes inversiones que llegan a ser prohibitivas por sus costos y tiempo de implementación, pero que podría quedar en manos de privados, en otras los costos de implementación no son muy altos pero se requiere igual que en el caso anterior, de decisiones de alto nivel.

Para los casos de los incisos **d)** al **g)** se ha destinado un análisis detallado en los capítulos siguientes, ya que implica el uso de tecnologías, el saber que experiencias han tenido otros países, sus verdaderos costos y sus implicaciones sociales. A continuación, presentamos una breve semblanza de cada una, a manera de análisis sucinto que nos dé una idea de lo que implica cada una de las alternativas y específicamente para el caso de la CEDA.

4.1.4.1 Reducción de residuos desde el origen

Sin lugar a dudas ésta es una de la políticas que se debiera de implementar y para ello se proponen las siguientes acciones:

- a) Una actividad que se lleva a cabo de forma natural es la pepena de alimentos que se encuentran en buen estado e incluso algunos aun sin madurar y que por diversas circunstancias llegaron a los contenedores. La medida a implementar es evitar que lleguen a los contenedores para lo cual deberán ser seleccionados y separados previamente. Entre las opciones que se proponen para el manejo de esos residuos son las siguientes:
 - i. Distribución entre los trabajadores⁹
 - ii. Distribución centros de beneficencia social
 - iii. Distribución entre asilos, guarderías, orfanatos, entre otros

⁹ En la estrategia general, se propone que la empresa que se haga cargo de los RSU contrate como empleados a los pepenadores actuales para que sean ellos quienes se hagan cargo de vigilar que no se contaminen los RSU entre si.

- iv. Distribución como alimento para animales en los zoológicos del DF y otros alrededores.
- b) Productos que pueden ser utilizados para la producción de deshidratados con alto valor en el mercado, tales como los siguientes, para dar un ejemplo:
 - i. Cebolla deshidratada
 - ii. Perejil deshidratada
 - iii. Cilantro deshidratado
 - iv. Zanahoria
- c) Productos que pueden ser materia prima para la producción de alimento para animales, algunos de estos ejemplos son:
 - i. Residuos de pescados y mariscos
 - ii. Cítricos
 - iii. Forrajes como nopal, olotes, entre otros
 - iv. Zanahoria
 - v. Papa
- d) Productos que tienen un mercado de compradores dentro de la industria cosmética y medicina alternativa o naturista como son:
 - i. Papaya
 - ii. Mamey
 - iii. Aguacate
 - iv. Mango

Estos son solo algunos ejemplos de los productos que en la actualidad, y con base en las investigaciones realizadas, están considerados como residuos pero que tienen un mercado potencial de compradores siempre que estos residuos se mantengan en buen estado, lo que implicaría evitar su contaminación con otros productos o elementos, en otras palabras un manejo adecuado desde su origen.

4.1.4.2 Reusar tantas veces como sean posibles

Esta medida se ve poco factible para los RSI, mientras que para los RSO se han mencionado algunas estrategias en el apartado anterior.

4.1.4.3 Reciclar, tomado el producto como materia prima.

Ésta es la estrategia más afín al principio de sustentabilidad y que es coincidente a las políticas y acciones implementadas por otros países desarrollados. A continuación enlistamos estas técnicas en las que se podrá observar que los rellenos sanitarios no están considerados, ya que no es una forma de reciclaje total sino parcial.

- a) Combustión para generación de energía eléctrica y/o calor. Bajo esta tecnología se pueden combustionar prácticamente todos los RSU. En algunos casos llegan a hacer una preselección pero no es indispensable.

- b) Biodigestores para los desechos orgánicos (generación de gas metano) y generación de calor, los lodos residuales son enviados a la composta.
- c) Composteo de residuos orgánicos.

4.1.5 Análisis de los diferentes tipos de tratamiento para los RSU

Otra manera de clasificar o reclasificar los RSU es por sus opciones de tratamiento. En la figura 20, se presenta la tabla que describen los diferentes tipos de procesos para el manejo de los residuos, algunos no son procesos únicos a implementar sino solo la primera fase de su tratamiento como lo es el tratamiento físico, por poner un ejemplo.

- a) Tratamientos físicos. Los cuales están orientados a facilitar el manejo, optimizar los procesos, reducir espacios, prepararlos para su transportación o siguientes etapas de un proceso y un mejor aprovechamiento de los RSU.
- b) Tratamientos biológicos mediante los cuales y con la intervención de agentes biológicos o químicos externos, se logra una descomposición o transformación de los RSU, principalmente los de origen orgánico, pero con propiedades de biodegradabilidad.
- c) Tratamientos térmicos en los que interviene una fuente de calor la cual puede ser de media (<800°C) hasta muy altas temperaturas (2500°C +)
- d) Tecnologías de disposición final, las cuales pueden ser rellenos sanitarios en cualesquiera de sus opciones. Todos los residuos son confinados en una celda generalmente cubierta con tierra o escombros de construcción.
- e) Esquemas tecnológicos combinados. Como su nombre lo indica, involucra más de una tecnología, ésta es de las estrategias o medidas más comunes en los países desarrollados.

TRATAMIENTOS FÍSICOS	Reducción de tamaño por trituración
	Separación manual
	Separación mecánica
	a) densidad
	b) cribado
	c) magnética
	Compactación
TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS	Composteo
	Vermi-composteo
	Digestión anaeróbica
	Hidrólisis
	Oxidación
	Vitrificación
	Mineralización
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	Incineración
	Pirolisis
	Microondas
	Gasificación
	Plasma
TECNOLOGÍAS DE DISPOSICIÓN FINAL	Relleno sanitario convencional
	Relleno metanogénico
	Relleno seco
ESQUEMAS TECNOLÓGICOS COMBINADOS	Mecánico biológico
	Plantas de recuperación (separación, trituración, compactación)
	Plantas integrales (Arrow Bio)

Tabla 9 Opciones de manejo de los RSU de la CEDA

Capítulo V

Tecnologías

5 Tecnologías

5.1 Introducción

En este capítulo se describirán los hallazgos de las investigaciones realizadas en cuanto a tecnologías aplicables para la gestión de los RSU de la CEDA, y que se encuentran disponibles en el mercado y que han sido probadas con algún grado de éxito en México y en otras partes del mundo. Se presentan las ventajas y desventajas identificadas o expresadas por las fuentes consultadas así como sus costos de implementación y de operación para cada caso. El objetivo es que con esta información se llegue a una recomendación aplicable a la CEDA tomando en cuenta los volúmenes y composición de sus residuos.

5.2 Rellenos sanitarios

Tiraderos de basura, barrancas, huecos y entierros de basura así como incineradores a cielo abierto han sido las formas más simples para la gestión de los residuos desde tiempos históricos¹⁰, tal vez la diferencia más grande de aquellos tiempos a los actuales es la composición de los residuos. Esos tiraderos o botaderos como le llaman otros autores, se convirtieron en lo que hoy se les llama



En esta fotografía se muestra una imagen del Bordo Poniente – el relleno sanitario de la ciudad de México recientemente clausurado y que era uno de los 7 más grandes del mundo. (foto: Yuri Cortez/Getty Images, Fuente: www.takepart.com)

relleno sanitario y que en esos tiempos distaba mucho de lo que son ahora. A pesar de lo anterior, pocos son los países que cuentan con sistemas efectivos y eficientes en el manejo de los RSU y su disposición final de forma efectiva desde el punto de vista ambiental.

Fig. 13 Imagen del Relleno Sanitario de Bordo Poniente

Esta técnica de rellenos sanitarios es usada en casi todo el mundo, más en aquellos países que cuentan con suficiente espacio para llevar a cabo esta tarea de sepultar los residuos. En algunos

¹⁰ No se encontró un registro claro de cuando el hombre comenzó a enterrar sus desechos y sus efectos del corto y mediano plazo, pero hay algunos documentos de varios cientos de años antes de Cristo. Ver anexo 5, referente a las experiencias mundiales en composteo de RSO.

casos hay una separación sistemática y en otros la separación se da en el sitio por los pepenadores antes de que los residuos sean cubiertos con tierra y concreto.

El origen de este sistema de gestión de RSU es tan antiguo como muchas culturas, las pequeñas villas y asentamientos humanos crecen y conforme aumenta su población el problema de los residuos toma un papel importante en las decisiones de las autoridades locales en turno.

En Estados Unidos, las ciudades comienzan a tomar su responsabilidad en la recolección y disposición final de los residuos sólidos al final del siglo XIX (Mc. Bean, et al,1995). Los primeros tiraderos a cielo abierto con combustiones espontáneas, incineraciones voluntarias para reducir el volumen también eran eventos frecuentes, acompañado de humo, vapor, hedores, ratas y gaviotas. Típicamente hasta finales de 1970 cada ciudad y poblado operó su propio relleno sanitario, haciendo cobros simbólicos a las empresas y comercios así como a las ciudades y poblados circunvecinos por el uso de estos sitios. En este mismo país, Estados Unidos, y a partir de los 90's cada vez hubo menos rellenos sanitarios y cada vez fueron más grandes, debido a la economía de escala, además de que los costos por el servicio a los usuarios cambiaron en forma sustancial, mientras que en 1985 era de \$12 dólares por tonelada, en el año 2000 se incrementó a \$30 dólares (Repa,2000), las razones principales que generaron esos cambios tan significativos se debe a las regulaciones ambientales de los Estados Unidos por la Agencia de Medioambiente de ese país (EPA, por sus siglas en Inglés) y los costos de operación asociados a la logística y sistemas de control ambiental (Gallagher,1994), aunque muchas de las nuevas regulaciones solamente aplicaron a los nuevos rellenos sanitarios.

En cuanto al tema de la economía de escala para este tipo de sistemas de disposición final de los RSU, se han llevado a cabo estudios detallados sobre los costos de implementación y manejo de los cuales se presenta el siguiente extracto elaborado por la EPA (Repa,2000): a principios de 1970, había en Estados Unidos 20,000 rellenos sanitarios¹¹, para fines de los 80's se redujeron a 6000 y para 1998 quedaron solamente 2000. Los rellenos sanitarios pequeños fueron cerrados, los grandes crecieron en número y en tamaño, unos cuantos cientos manejaban la mitad de los RSU de todos los municipios de EU. Los números explican todo, la EPA estimó que un relleno sanitario de menos de 25 toneladas diarias cuesta del orden de \$40 dólares por tonelada (dólares de 1997¹²) mientras que un relleno sanitario con capacidad superior a las 400 toneladas por día cuesta \$10 dólares por tonelada. En la actualidad solamente 38 de las 100 ciudades más grandes de EU tienen su propio relleno sanitario, los rellenos sanitarios de las demás ciudades están en manos de empresas privadas (Ezzet,1997). Para principios de 1990 dos firmas tenían permisos para manejar más de 2 billones de yardas cúbicas¹³ de capacidad lo que es equivalente a tres años de residuos de la Unión Americana (equivalente a 1,520 millones de m³); para mediados de los 90's ambas empresas podían manejar dos terceras partes de los residuos de ese país (Kravetz,1998; Bailey,1998).

¹¹ En México había 238 rellenos sanitarios en el 2010, de acuerdo al inventario de la SEMARNAT

¹² Tipos de cambio 1997: 1 USD =0.91 EUR=7.87 MXN

¹³ 1 yarda³ = 0.76m³

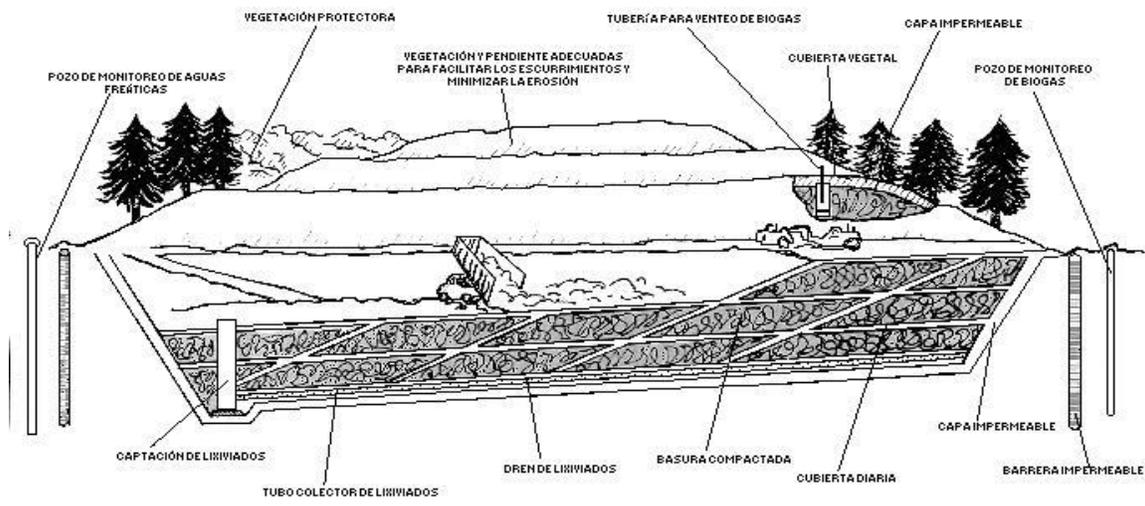


Fig. 14 Dibujo esquemático que muestra la construcción de un relleno sanitario "moderno" en el cual se recuperan los lixiviados.

En términos económicos, esta experiencia de Estados Unidos deja en claro que los rellenos sanitarios efectivos y rentables deben ser grandes ya que los costos asociados por concepto de transporte no son el factor determinante de su rentabilidad sino los costos de manejo en donde además se logra un beneficio económico tras la venta de energía eléctrica generada mediante el uso de turbinas aprovechando el gas metano generado.

Entre los factores más importantes que se consideran para la selección del sitio para un relleno sanitario están:

- a) La distancia al asentamiento humano más próximo,
- b) Dirección de los vientos,
- c) Tipo de suelo,
- d) Topografía,
- e) Clima,
- f) Precipitación pluvial e
- g) Hidrografía subterránea.



relleno sanitario Puente Hills, Los Ángeles California. Cubre aproximadamente 552 hectáreas con una elevación de 150 metros. Recibe 12,000 toneladas diarias de RSU y actualmente almacena 5 millones de toneladas. Foto: Wallofhair/Creative Commons. (Ref. 88).

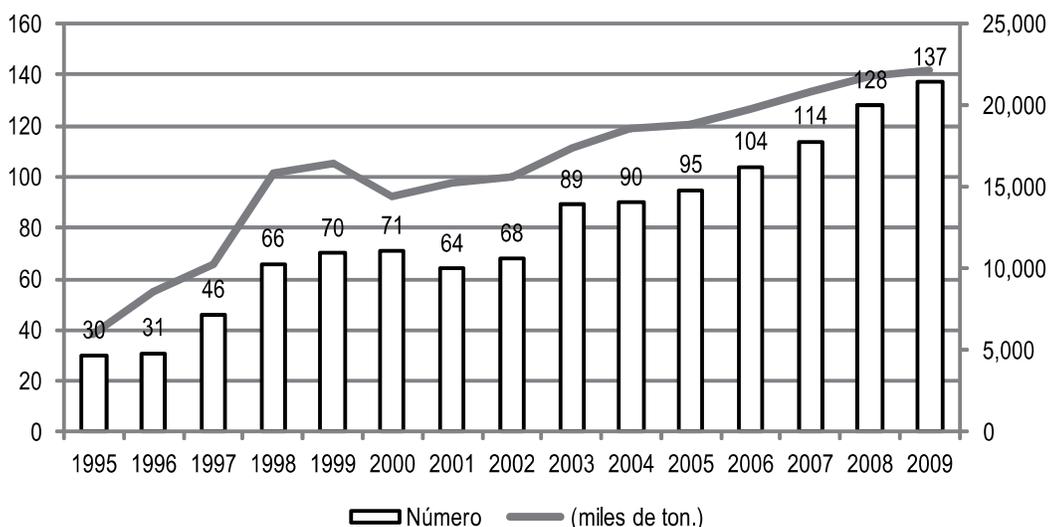
Fig. 15 Relleno Sanitario de Puente Hills.

Los rellenos sanitarios modernos (Tchobanogulous,2002) toman en cuenta otros factores que en el pasado no habían sido considerados, tales como:

- h) Aspectos ambientales, regulaciones, restricciones y las condiciones particulares del sitio
- i) Generación, composición control y manejo de los gases del relleno sanitario
- j) Generación, composición y manejo de los lixiviados
- k) Cubiertas intermedias y finales del relleno sanitario
- l) Características estructurales y establecimiento del relleno sanitario
- m) Consideraciones particulares del diseño del relleno sanitario
- n) Plan de operación y mantenimiento del relleno sanitario
- o) Monitoreo de la calidad ambiental
- p) Clausura, post clausura y remediación del relleno sanitario

5.2.1 Rellenos Sanitarios en México

Para el caso de México, este tema tiene una magnitud diferente comparado con Estados Unidos, en la figura 19 se muestran los datos del compendio estadístico ambiental nacional en la sección de sitios de disposición final de los RSU. En el 2009 había 137 RS, para el 2012 se reportan 238 en todo el país, y de todos los tiraderos del país, la mayor parte de ellos (87.36%) son tiraderos a cielo abierto. Vale la pena tomar estos datos con reserva, ya que al menos en nuestro país hay un tiradero por municipio, sin embargo hay municipios que por su extensión cuentan con más de un tiradero a cielo abierto en los que además se llevan a cabo incineraciones no controladas. Por lo anterior las cifras mostradas no son coincidentes con el número de municipios y por ende, no son consistentes con los probables tiraderos de RSU de cada comunidad, municipio y estado de la república.



Fuente: Semarnat, *Compendio de Estadísticas Ambientales 2010*, México, en www.semarnat.gob.mx (fecha de consulta: enero de 2012).

Fig. 16 Numero de rellenos sanitarios al 2009 según SEMARNAT.

Entre las técnicas más comunes en el mundo es precisamente los tiraderos a cielo abierto, los cuales al aplicarles capas consecutivas de tierra los convierten en “rellenos sanitarios”. En muy pocas ciudades de México se han construido rellenos sanitarios con las medidas ambientales previstas por las normatividades más estrictas de los países desarrollados, principalmente porque no se cuenta con ese presupuesto ni con esa intencionalidad de su construcción. El Banco Mundial (BM) declaró en 1989: “instamos con grado de urgencia a los países en desarrollo que adopten las prácticas de rellenos sanitarios”. Tomando esta última declaratoria del BM de hace 23 años, la tabla de la figura 23 nos ilustra de las tendencias mundiales. A pesar de los inconvenientes que pueda representar un RS, eso es una mejor disposición de residuos que los tiraderos clandestinos a cielo abierto y los incendios incidentales de basureros municipales.

A continuación se transcribe una nota del portal de SAGARPA relativa a los RS:

Beneficios: El caso del relleno sanitario de Monterrey

Los beneficios de quemar el gas de los rellenos sanitarios es, antes que nada, ecológicos, ya que el metano no llega a la atmósfera. Además, están los beneficios derivados del empleo de la energía eléctrica generada. Véase el ejemplo del relleno sanitario en el municipio de Salinas Victoria, en Nuevo León, el primer proyecto de este tipo generador de electricidad en América Latina. Se trata de un relleno sanitario que recupera el gas de 130 hectáreas de basura, equivalentes a un total de 18 millones de toneladas de desperdicio.

El proyecto es resultado de la asociación de una empresa privada con el gobierno del estado. Se estableció en 2003 y en octubre se inauguró su tercera fase. En un inicio generaba 7.42

MW, y con la tercera fase su capacidad creció a 16.96 MW para una producción anual de 120 mil MW.

Esta energía sirve para abastecer el 52% del alumbrado público de Monterrey, el Metro, varios edificios públicos y el servicio de drenaje.

En total, la energía producida equivale a la que consumirían 34 mil casas de interés social, y genera un ahorro de cerca de 16 millones de pesos en consumos eléctricos.

Gracias a este relleno se ha impedido que más de 90 mil toneladas de metano lleguen a la atmósfera. (Ref. 62)

5.2.2 Análisis comparativo

Analizando el caso de Puente Hill de Los Ángeles, este sitio produce 50 MW de electricidad y fluyen 31,000 CFPM¹⁴ (877.8 m³/min) de gas de relleno sanitario (50% metano, 50% dióxido de carbono y trazas de varios contaminantes). Para generar esta misma cantidad de energía con espejos parabólicos habría que cubrir 250 acres (100 hectáreas), lo que representa 1/5 del área ocupada por Puente Hill. (Humes,2012).

Si bien esta técnica de RS es la más económica y rentable, en México no hay suficientes rellenos sanitarios, ni todos están bien construidas, por lo que además de ser un tema importante ambientalmente hablando, también lo es desde el punto de vista de salud pública, que finalmente ambos temas están íntimamente relacionados.

Una lección, que es recomendable considerar: en otros países han optado por dejar ésta tarea en manos de empresas privadas, quienes además de hacerse cargo de todos los costos y etapas del proceso, toman beneficio por la venta de energía y producción de calor, reduciendo así el costo de sus servicios a los usuarios y municipios.

Por otra parte se ha demostrado, y como se verá a lo largo de este estudio, los rellenos sanitarios no es una de las técnicas más sustentable ya que existen otras tecnologías, estrategias y mecanismos que alcanzan índices de sustentabilidad más altos.

País	Rellenos sanitarios	Reciclaje/compostaje	Incineración/combustión Generación de energía.
Alemania	0%	66%	34%
Noruega	1%	60%	39%
Austria	1%	70%	29%
Suiza	2%	49%	49%
Bélgica	4%	60%	36%
Dinamarca	4%	48%	48%
Francia	32%	34%	34%
Italia	45%	43%	12%
Finlandia	46%	36%	18%
Reino Unido	48%	36%	18%

¹⁴ Pies cúbicos por minuto

España	52%	39%	9%
Portugal	62%	20%	18%
Estados Unidos	69%	24%	7%
Hungría	72%	18%	10%
Polonia	78%	21%	1%
Lituania	96%	4%	0%
Bulgaria	100%	0%	0%

Tabla 10

Diferentes tipos de Gestión de RSU en algunas partes del mundo.

5.2.3 Aspectos económicos

Con el fin de tener parámetros que permitan la comparación entre tecnologías y mecanismos de manejo de los RSU, se presentan algunos análisis realizados en rellenos sanitarios existentes operados por particulares y con información encontrada en la literatura consultada. En términos económicos y de acuerdo con los cálculos de Gallagher (Gallagher,1994) y Walsh (Walsh,1990), se presenta el siguiente cuadro comparativo:

Fuente: “The sustainable Waste Management Ladder” Earth engineering center
(posiblemente los datos no sumen 100% en todos los casos debido a redondeos)

Variable	Gallagher	Walsh
Flujo de residuos (Q) en miles de toneladas por año	300	365
Tiempo de vida en años del Relleno Sanitario (T)	20	20
Tasa de interés (por ciento anual) (i)	4	4
Costo Variable , (V) dólares por tonelada	9.33	13.75
Costo fijo (F) (valor presente en millones de dólares por relleno sanitario)	66.68	45.12

Tabla 11 Costos de los RS por dos autores (Porter,2002)

Las cuotas por tonelada de RSU, están en promedio a \$36 dólares para las 100 ciudades más importantes de EU (Ezzet,1997), pero este promedio oculta las grandes variaciones ya que va desde los \$9 dólares la tonelada en Denver hasta los \$97 dólares la tonelada en Spokane, una ciudad en Washington Oriental cerca de la frontera de Idaho, ésta ciudad es la segunda más grande del estado (Ackerman,1997). Internacionalmente hablando, hay una gran variación en los precios en países con escasez de tierras y por tanto extremadamente costosas como Alemania o Japón, donde los costos llegan hasta los \$300 y \$400 dólares la tonelada (Hawken,1993).

5.2.4 Cambio climático y rellenos sanitarios

El uso de tecnologías para la gestión de RSU debe de tener como misión la reducción de emisiones de GEI y en la medida en que esas emisiones se aproximen a cero, se podría considerar esa es una tecnología sustentable. Las emisiones no pueden ser consideradas solamente los gases, vapores, humos que se están generando por esos residuos sino también se deben de contabilizar otros impactos como la contaminación de acuíferos subterráneos por los lixiviados y el impacto al suelo por mantener residuos no biodegradables ni degradables por cientos de años ya que solo los biodegradables dejarán un beneficio relativo si el metano generado es recuperado y con él se genera

energía eléctrica en algún momento; sin embargo no todos los RS actuales están contruidos con las ultimas especificaciones que aseguran un mínimo impacto ambiental, ni todos los tiraderos son o podrán ser RS de última tecnología. Por lo anterior, y al menos en México, solo una mínima parte de los RSU son confinados en RS de última tecnología, los demás, están contribuyendo irremediamente al cambio climático global.

5.2.5 Aplicabilidad de la tecnología en el caso de la CEDA.

No hace muchos años que los residuos de la CEDA eran enviados a un relleno sanitario y no era necesario llevar a cabo separaciones por tipo de residuo entre los orgánicos y los inorgánicos, solamente había un contenedor para todo tipo de residuos y estos eran enviados al centro de transferencia y posteriormente al sitio de disposición final. Al entrar en operación las nuevas disposiciones en que los RSU deberían de ser separados para que fuesen aceptados en el centro de transferencia y que los residuos orgánicos fueran enviados al centro de composteo, el problema se salió de control en la CEDA, ya que no estaban preparados con los suficientes contenedores, ni medios de transporte ni con las medidas de control que eran indispensables para llevar a cabo esta separación de manera efectiva.

Dadas las nuevas disposiciones, los RSU y por su categoría de orgánicos no pueden ser enviados a los rellenos sanitarios sino que por ley, su destino debe ser el centro de composteo. En cuanto a los RSU en su categoría de inorgánicos podrían ser enviados a los rellenos sanitarios, pero deberán ser previamente separados de forma adecuada para recuperar algunos residuos reciclables. Con esta medida, se puede prever que llegarán a los rellenos sanitarios aquellos RSU que sean inorgánicos no aprovechables, los que se han contaminado (y no es practico descontaminarlos) con algunos orgánicos, como son el caso de los envases de alimentos, envolturas, con residuos de alimentos, entre otros.

Es claro prever que la capacidad de generación de metano de ese “hipotético” relleno sanitario, al que no se le “alimenta” con residuos orgánicos, será más limitada que otros, pero por otra parte su capacidad para recibir residuos podrá ser mucho mayor. Tomando en cuenta éstas última consideración resultaría poco práctico y de utilidad enviar a los rellenos sanitarios residuos como uncel, vidrio, metales, por citar algunos, ya que estos no tendrán ningún beneficio energético dentro del relleno sanitario por lo que deberían de ser reciclados en la medida de lo posible.

Los rellenos sanitarios son en la actualidad una solución práctica en muchos países con grandes extensiones territoriales y altos niveles de población. En México hay cientos de comunidades que no cuentan con sistemas efectivos de disposición final de RSU, entendiend por efectivos que sean ambientalmente aceptables y por lo mismo sustentables. Los residuos hablan mucho de la forma de vida de las personas y por lo mismo entre más tecnificadas y con mayores ingresos sus residuos serán más complejos de manejar. Las comunidades con altos niveles de pobreza tienen niveles muy bajos de producción de residuos, sus RSO están limitados a residuos de agricultura los cuales representan un impacto ambiental relativamente bajo.

5.2.6 Conclusión sobre esta tecnología

Al analizar los RSO de la CEDA encontramos un mal manejo de los residuos desde su origen y posteriormente sobre su administración; en un análisis de requerimientos de productos alimenticios vs recursos disponibles, se encuentra un lamentable desbalance. Decenas o miles de kilos de alimentos se van prácticamente a la basura cuando hay miles de personas en pobreza extrema dentro de la misma ciudad. Aun sin la ley que exige la separación de los residuos, es un caso lamentable que se desperdicien esos recursos alimenticios por un manejo inapropiado que adicionalmente serán emisores de gases efecto invernadero.

En conclusión, esta tecnología de rellenos sanitarios podría aplicar a la CEDA solo para la fracción inorgánica que no tiene opción de reutilización o reciclaje y que de acuerdo al diagnóstico llevado a cabo este volumen podría ser del orden de entre el 5% y el 10% del total de sus RSU.

5.3 Combustión, incineración

5.3.1 Introducción, la situación mundial

Una alternativa a los rellenos sanitarios es la incineración. Dave Dempsey de la junta ambiental de Michigan, EU, dice que un incinerador es un relleno sanitario en el cielo (Porter, 2002); éste tipo de opiniones controversiales son comunes cuando las tecnologías se enfrentan para demostrar su efectividad.

Esta tecnología es conocida como “conversión de residuos en energía” o “energía a través de los residuos”, por sus siglas en Inglés WTE (Waste-to-energy).

Como se mostró en la tabla de la figura 10, la relación de países que utilizan ésta tecnología corresponde principalmente a países con poca extensión territorial. La incineración, reduce los volúmenes de los residuos en forma muy considerable (85% a 95% de reducción) y las cenizas, resultado de este proceso, son enviadas a rellenos sanitarios y en algunos casos usados en la construcción.

La incineración, es una técnica usada con una historia muy larga en la humanidad. En años tan recientes como 1960, en la Unión Americana la tercera parte de los residuos municipales eran incinerados (Rogoff, et al., 2011). Los incineradores de esos tiempos no recuperaban el calor para generación de energía eléctrica, ni mucho menos tenían control de los contaminantes; sin embargo la preocupación por la toxicidad de esos gases emitidos a la atmosfera desmotivó el uso de esos equipos. Más tarde las crisis energéticas y los costos de los rellenos sanitarios en la década de los 70's y 80's motivaron nuevamente el retorno de la incineración, pero esta vez con equipos más eficientes diseñados para la generación de energía eléctrica y un control más estricto de las cenizas (Ujihara and Gough 1989). Para los años 90's, en los Estados Unidos se había estabilizado el 15% de los residuos mediante esta tecnología; toda la biomasa incinerada generó el 3% de la producción de energía de ese país (DOE 1998).

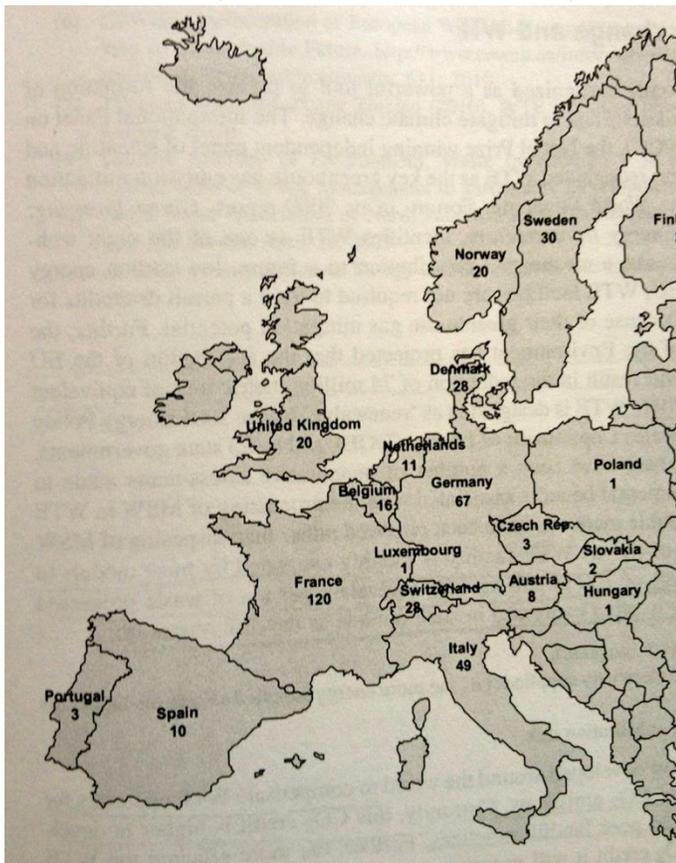


Fig. 17 Mapa Europeo que indica el número de plantas incineradoras

Número de instalaciones de incineración (WTE) en la Unión Europea. 2008.

Referencia: Confederation of European Waste-to-Energy Plants.

En las últimas décadas, ONGs como la ONU, el World Bank, el Assian Development Bank, así como agencias internacionales de investigación soportadas por varios países europeos, han estimado que en el mundo se generan del orden de los 2.5 a 4 billones de toneladas de residuos. Sin embargo el problema se hace más complejo cuando se quieren llegar a datos más exactos, ya que la falta de control, de estadísticas y de información de los países así como de la falta de coincidencia en las metodologías para la evaluación, aunado a los miles de sitios en comunidades rurales en los que los residuos son depositados en barrancas o enterrados en sitios clandestinos de los cuales por obvias razones no hay registros ni control alguno (UN-HABITAT); por lo anterior el pretender llegar a cifras de porcentajes de RSU manejados en forma apropiada (RS, incineración, composteo, entre los más importantes) resulta una tarea sumamente compleja.

En muchos países como EU y algunos europeos y asiáticos, han adoptado la tecnología de los rellenos sanitarios, sin embargo dadas las nuevas regulaciones y especificaciones que deben de cubrir estos sitios, han optado por incursionar en el tema de la incineración la cual, aun con sus

regulaciones, resulta la mejor solución cuando se aúna el problema de la falta de tierra disponible para los rellenos sanitarios. Consecuentemente la capacidad de los rellenos sanitarios se ha venido reduciendo y se ha recuperado el interés por el reciclaje y la generación de energía a través de los RSU, la meta en Estados Unidos es reducir un 65% los rellenos sanitarios existentes.

Esta tecnología fue transferida a Estados Unidos a finales de los 60s y principios de los 70s (Rogoff,2011), sin embargo debido a problemas de diseño, presentaron serios problemas de operación. A pesar de los anterior, varias plantas fueron puestas en operación en Massachusetts, Florida y Iowa entre los más importantes. Los incentivos en los impuestos, motivaron la inversión privada aumentando el número de proyectos y mejorando la tecnología lo que además ayudó a que la tecnología fuera utilizada en otros estados y otros países. Se estima que en EU se crearán entre 60 y 80 nuevas plantas incineradoras antes del 2020. Los países escandinavos han sido históricamente proponentes de esta tecnología. Los países asiáticos, Japón, Taiwán, Singapur y China, tienen el mayor número de plantas incineradoras del mundo mismas que suman 764. Todos estos países enfrentan limitaciones de espacios abiertos para ubicar los rellenos sanitarios y tienen altos niveles de población. Japón, por ejemplo, incinera el 70% de sus residuos mediante esta tecnología.

5.3.2 Experiencias de incineración en México

En México existen al menos dos plantas incineradoras privadas que utilizan los RSU como fuente de energía para sus procesos, según lo expresado por la dirección de residuos del DF durante una reunión de trabajo. No se cuenta con mayor detalle de cantidades de RSU ni de energía generada, pero al menos se sabe que hay beneficios por la incineración controlada de residuos y que existe un mercado para esa energía y también para residuos que pueden ser “vendidos” a las empresas para generar su propia energía eléctrica o calórica.

País	Poblacion (millones)	% Urbano	PIB/Cap US\$	kg/día de RSU	t/día RSU	Capacidad %	Plantas WTE	
							t/día	#
MACAO	0.4	100		1.5	648.0	133.0	864.0	1
HONG KONG	6.7	95	\$ 22,990	1.7	10,821.0	0.0		
SINGAPUR	4.1	100	\$ 26,730	1.7	6,800.0	121.0	8,200.0	4
TAIWAN	22	80	\$ 13,000	1.3	22,000.0	111.0	24,324.0	24
KOREA	46.9	81	\$ 9,700	1.6	60,626.0	15.0	9,190.0	26
THAILANDIA	58.2	20	\$ 2,740	0.5	6,053.0	6.0	390.0	2
MALASYA	22.7	54	\$ 3,890	0.8	9,874.0	0.0		
FILIPINAS	74.3	54	\$ 1,050	0.5	20,941.0	0.0		
CHINA	1238	30	\$ 620	0.8	296,340.0	2.0	5,650.0	7
INDIA	1010	27	\$ 340	0.6	173,235.0	0.0		
JAPON	126.6	78	\$ 39,640	1.5	144,415.0	138.0	200,000.0	700
EUROPA	300			1.3	390,000.0	59.0	228,850.0	440
FRANCIA (incluida)	60		\$ 26,270	1.3	78,000.0	50.0	38,680.0	128
EU	263.1		\$ 28,020	2	526,200.0	17.0	91,453.0	96
CANADA	29.6			1.8	53,280.0	3.0	1,800.0	2
TOTAL							570,721.0	1302

Estimación del número de plantas incineradoras en el mundo. (fuente Deltaway Energy. Inc.)
 440 ubicadas en Europa.

Tabla 12 Capacidad de algunas plantas incineradoras en el mundo

5.3.3 Cambio climático y conversión de residuos en energía

Esta tecnología de incineración, ha sido controversial y hay opiniones encontradas entre los autores de libros especializados; de hecho se denomina combustión para darle un sentido más técnico al proceso. Esta tecnología es reconocida como una herramienta poderosa para prevenir las emisiones de gases efecto invernadero y mitigar el cambio climático. El panel internacional de cambio climático (IPCC) así como expertos científicos y técnicos han reconocido a esta tecnología como la clave para la reducción de emisiones contaminantes. El Foro Económico Mundial en su reporte del 2009, “Green Investing Towards a Clean Energy Infrastructure” identifica a esta tecnología de combustión como una de las ocho tecnologías que harán contribuciones importantes para un futuro de “sistemas de energía de bajas emisiones”. En la Unión Europea, los incineradores, no requieren de un permiso o créditos de CO₂ debido a su potencial para la mitigación de gases efecto invernadero. Adicionalmente, el Ministerio Alemán de Medio Ambiente, ha proyectado que la aplicación de la directriz sobre rellenos sanitarios de la UE dará lugar a la reducción de 74 millones de toneladas métricas CO₂ equivalentes, para el 2016. Esta tecnología fue designada como renovable en el 2005 por el Departamento de Energía de los EU (DOE) y por 23 gobiernos estatales de ese país. Las instalaciones más modernas de incineración garantizan reducción de emisiones entre 100 kg y 350 kg de CO₂ equivalente por tonelada de residuos procesados. Esta variación se explica ya que está en función de la composición de los residuos, cantidad de calor y electricidad suministrados (entre más alta sea la producción de energía en forma de calor, mayor será la reducción de emisiones de CO₂).

Por una parte, la incineración reduce los residuos sólidos a su mínima expresión (80% a 85%) y puede ser o no selectiva, esto significa que todos los residuos pueden llegar al incinerador. Los productos como las cenizas, el calor residual, principalmente, pueden tener aplicaciones en otras industrias, y su componente más débil y controversial son los gases de combustión a los que en algunas fuentes los mencionan como cancerígenos o de alto potencial contaminante como gases efecto invernadero.

5.3.4 Implicaciones técnicas para la implementación de un proyecto de incineración.

Es importante que se tomen en cuenta las implicaciones técnicas que se deben de considerar antes de la implementación de un proyecto de incineración. Estas implicaciones conllevan también condiciones de tipo social, político y técnicos que deben asegurarse para que el proyecto sea exitoso. A estas recomendaciones se les ha denominado “aspectos clave”:

- a) Deberá existir una verdadera razón y necesidad para que se lleve a cabo el proyecto, como por ejemplo: una crisis originada por los volúmenes de residuos y falta de alternativas viables para su gestión.



Planta incineradora en Malmö, Suecia. Fuente: Colin Baird. 2001 “Química Ambiental”.

- b) Se requiere de una agencia gubernamental implementadora, o una empresa privada desarrolladora que tenga un auténtico compromiso político, así como capacidad y voluntad para hacerse cargo del proyecto.

- c) Un adecuado suministro de residuos sólidos y mecanismos que aseguren el flujo de residuos para el sistema ya sea por una sola fuente o que haya fuentes alternas para asegurar los volúmenes requeridos.

- d) Mercados garantizados para la energía generada y para los subproductos.

- e) Contar con un sitio en el que el proyecto es ambientalmente factible, social y políticamente aceptable.

Fig. 18 Planta Incineradora en Suecia

Prácticamente, estos aspectos son determinantes para el éxito del proyecto tomando en cuenta que es una inversión para decenas de años en las que estarán involucrados varios factores externos siendo el más importante el social. Es por esto que el primer punto mencionado es que debe de existir una plena convicción de que el proyecto es indispensable y que tanto los políticos como la sociedad en su conjunto estén comprometidos, y para ello, se requiere que se reconozca que los residuos sólidos son un problema que se debe de atender de forma sustentable y que las soluciones deben ser diseñadas para el largo plazo.

Otro componente clave en este tipo de proyectos es el liderazgo político que se requiere para llevar de la mano el proyecto hasta su implementación. Tomando en consideración que un proyecto de esta envergadura toma de uno a dos años de diagnóstico y estudios previos desde la evaluación del recurso hasta la selección del sitio y de dos a tres años en la construcción y puesta en marcha de la planta, el total de 4 a 5 años es el tiempo promedio que un político clave permanece en el cargo. Por lo tanto, cualquier proyecto que se pretenda implementar se deberá de gestionar desde antes de que el político entre en funciones y de esa forma se evitará que el proyecto quede huérfano antes de que termine la gestión de ese funcionario clave.

El siguiente componente crítico es la comunidad misma; una vez que se ha llevado a cabo el diagnóstico de los RSU, la sociedad deberá de comprometerse a mantener, cuando menos, los mismos volúmenes y la misma calidad, ya que de esto depende la cantidad de energía a generar y el plan de negocio se basará en esos números para demostrar su factibilidad técnica y económica. Este parámetro es tan crítico que algunas empresas en el mundo cobran “multas” a través del incremento de cuotas a la comunidad cuando no se logra mantener la misma mezcla o los mismos volúmenes. Este aspecto es crítico y es una de las debilidades de la tecnología. La forma en que la o las comunidades se comprometen a mantener la “mezcla” de residuos es aceptar que todos los RSU seleccionados para la incineradora no pueden destinarse para otro fin, como enviarse a las recicladoras, por poner solo un ejemplo (Rogoff, et al, 2011)

Dado que la energía generada será en parte para el mismo complejo y otra parte se entregará al sistema eléctrico nacional, es importante que exista la infraestructura para que la energía pueda ser entregada a la red en la calidad y cantidad comprometida.

El sitio del proyecto es otro de los componentes críticos y determinantes ya que se deben de considerar aspectos como el nuevo tránsito vehicular de camiones con los residuos, impactos en la calidad del aire, efectos en la salud pública, pérdida de valor de los terrenos en las inmediaciones de la planta, entre los más relevantes. Esta afectación a un sector social deberá de ser manejado políticamente y con mucho tiempo de antelación, ya que puede ser una barrera infranqueable si no se cabildea de forma adecuada.

5.3.5 Tecnologías de incineración

Se define como incineración al proceso térmico mediante el cual se lleva a cabo la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas. Esta tecnología ha sido usada como la más efectiva para residuos sólidos peligrosos en la categoría de hospitalarios

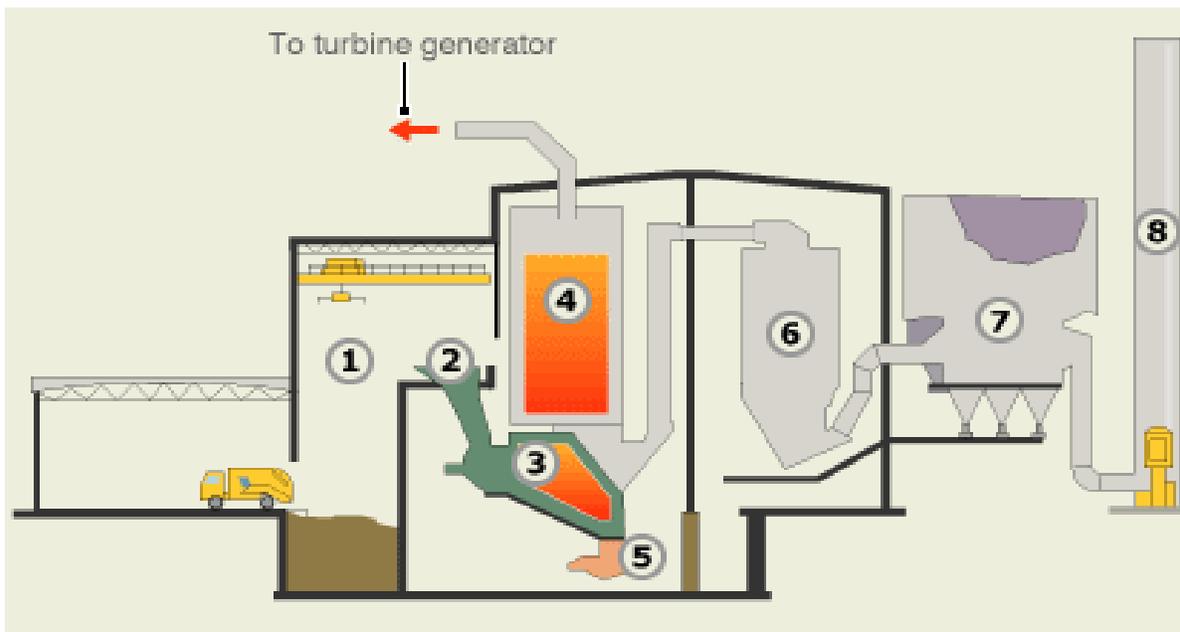
principalmente. La incineración se lleva a cabo en hornos mediante oxidación química en exceso de oxígeno. Los productos de la combustión, son gases, cenizas y calor, principalmente. La eficiencia del proceso térmico depende de las condiciones y de la mezcla de los residuos que alimentan al sistema. Para una combustión más eficiente se requiere que el producto entre seco al proceso por lo que se requiere de una cámara de secado antes de ingresar a la cámara de combustión. La humedad típica de los RSU deberá oscilar entre el 20% y 25% (Rogoff, et al, 2011). Las temperaturas de trabajo de estos sistemas llegan a los 982°C , el periodo de estancia de los residuos en el horno varia de 45 a 60 minutos.

Este proceso térmico de incineración es denominado *Mass-burning*, en inglés, la figura¹⁵ 29 muestra en forma esquemática el proceso. Tecnología usada desde hace más de 30 años en países como Japón y EU y actualmente hay más 500 instalaciones en todo el mundo que procesan desde 60 hasta 3500 toneladas al día. Mass-burning ó mass-fired es la tecnología más probada hasta ahora. Con las experiencias de las plantas instaladas las empresas se han dado a la tarea de diseñar sistemas que sean más eficientes y que sus efectos contaminantes sean menores de ahí que haya adecuaciones como son la separación de metales ferrosos antes de entrar a la cámara de combustión, o que se lleve a cabo una preselección de residuos y formación de una “pasta” lista para alimentar al reactor con lo que los procesos se separan y se logra una mayor eficiencia en cuanto a generación de energía y reducción de emisiones contaminantes.

Existen otros procesos térmicos denominados Gasificación y Arco de Plasma. El primero utiliza calor, presión y vapor para convertir los materiales directamente en un gas compuesto primeramente de monóxido de carbono e hidrogeno. Las tecnologías de gasificación difieren en muchos aspectos pero recaen en 4 factores:

- b. La atmosfera del reactor de gasificación
- c. El diseño del reactor
- d. Calentamiento interno y externo
- e. Temperatura de operación.

¹⁵ <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/science/nature/4622484.stm>



Los RSU son depositados en la cámara receptora (1) de donde son tomados por las pinzas transportadoras y depositados en las tolvas (2) los RSU son gradualmente empujados dentro del incinerador (3) el cual está a una temperatura de 750°C, el calor de combustión de los RSU, es usado en el calentador (4) y el vapor es enviado a la turbina que genera energía eléctrica. Las cenizas más pesadas caen dentro del tanque colector (5) y posteriormente pasan por electroimanes para recuperar los residuos ferrosos para su reciclaje. Los gases conteniendo cenizas finas pasan a un segundo reactor a 500°C (6) donde se da tratamiento a los ácidos contaminantes como el SO₂ y las dioxinas. Posteriormente pasan a una cámara donde se remueven las cenizas finas (7) y se lleva a cabo un enfriado final para posteriormente salir por la chimenea (8). (Waste2energy,Inc.)

Fig. 19 Diagrama esquemático del proceso de incineración.

Los productos de la gasificación son básicamente tres:

- Gases de hidrocarburos denominados “syngas”
- Hidrocarburos líquidos
- Residuos sólidos denominados “Char”, que son cenizas y escoria.

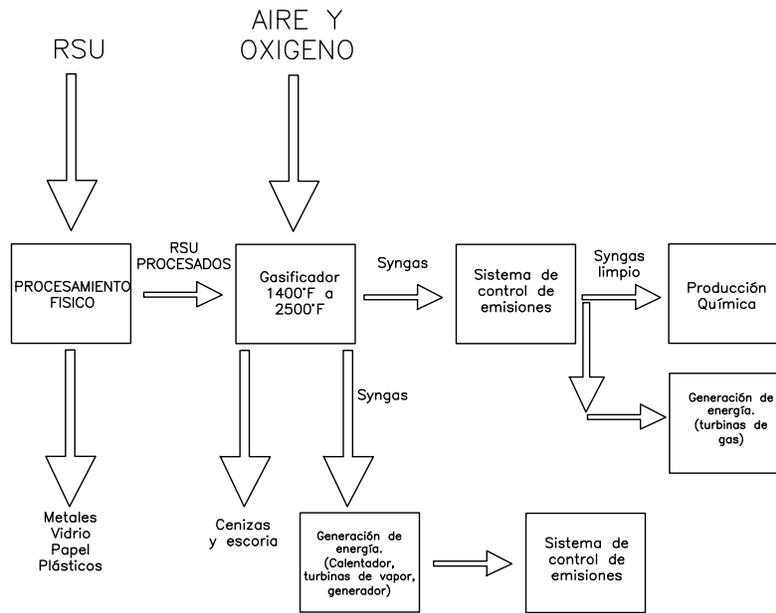


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

Fig. 20 Diagrama de bloques del sistema de gasificación.

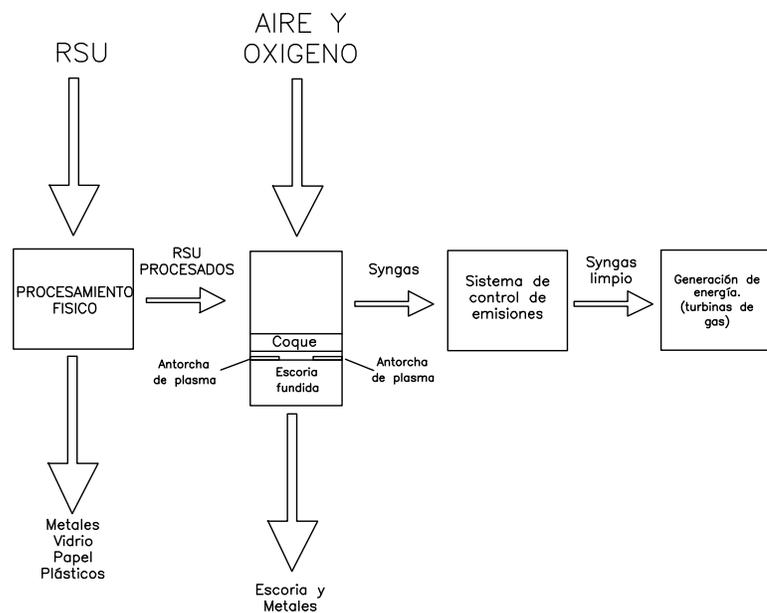


DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE PLASMA

Fig. 21 Diagrama de bloques del sistema de Plasma

Las temperaturas de operación van de los 700°C hasta los 1370°C, temperatura muy superior a la incineración. Un diagrama de bloques se muestra a en la Figura 20, el cual es un sistema típico de

generación de energía a través de la gasificación o que puede ser usado para la obtención de productos químicos (hidrocarburos) lo que en la actualidad puede ser una forma de reciclaje (Rogoff, et al, 2011)

Por otra parte el Arco de Plasma, técnicamente no puede ser considerado como un sistema térmico ya que no es una incineración, propiamente dicho. Este sistema utiliza muy altas temperaturas en un ambiente sin presencia de oxígeno para descomponer los residuos en moléculas muy simples. La tecnología de Arco de Plasma ha sido usada por muchos años para el procesamiento de metales. La fuente de calor es una “antorcha” de arco de plasma y es la fuente de calor más alta disponible tecnológicamente hablando, con rangos de temperatura desde 1,482°C hasta 6,649°C. Los sistemas de Arco de Plasma son diseñados para el tipo, cantidad y tamaño de RSU a ser procesado. Las altas temperaturas del reactor proveen una óptima zona de procesamiento dentro de la cámara transportadora de los residuos la cual opera a presión atmosférica. El lote de residuos puede ser completamente gasificado mientras que los materiales no-combustibles como el vidrio y los metales son reducidos a un residuo inerte, denominado “Slag” ó escoria. El producto resultante en forma de gas tiene una capacidad calorífica de una cuarta parte o una tercera parte de la capacidad calorífica del gas natural (el gas natural tiene un valor de 1,040 BTU/ft³_{std}) por lo que podría ser usado como una fuente de combustible para la industria incluyendo la generación de energía eléctrica y la producción de etanol y metanol; por su parte el “Slag” podría ser usado en la industria de la construcción (Rogoff, et al, 2011). Se ha demostrado que todos los subproductos resultante de este proceso pueden ser usados en diversas industrias. En la figura 21 se muestra un diagrama de bloques del proceso de Arco de Plasma.

5.3.6 Aspectos económicos

Para analizar este tema se utilizó la información de casos reportados en la literatura, las referencias de cada caso se indican. Un análisis interesante que presentan algunos autores es la comparación entre tecnologías y particularmente entre los rellenos sanitarios y los incineradores, así como se encontraron opiniones controversiales, también los análisis económicos tienen sus puntos débiles que deben de ser considerados con objetividad. La tabla 13 muestra un comparativo de “costos netos estimados” por rellenos sanitarios e incineración en cinco países (Miranda, et al, 1997) (Dólares de 1997 por tonelada de RSU). Al observar la columna de energía generada, en tres de los 5 casos no fue considerada por no contar con la información, esto se debe básicamente a que en los rellenos sanitarios resulta difícil estimar la energía que se podrá generar, lo que origina una incertidumbre financiera para el proyecto. Por otra parte en la columna de Costo Total, los rangos de valores, en promedio, indican que los RS tienen un costo inferior que los incineradores.

País	Disposición	Costo privado	Costos externos	Energía ganada ¹⁶	Costo total ¹⁷
Alemania	Relleno Sanitario	51	3-15	n.e.	53-66
	Incineración	104-192	5-14	58-106	52-100
Suiza	Relleno Sanitario	16-24	3-15	n.e.	19-39
	Incineración	57-65	7-15	35-42	29-37
Reino Unido	Relleno Sanitario	8-51	3-15	n.e.	11-66
	Incineración	84-96	24-33	63-77	46-62
Estados Unidos	Relleno Sanitario	15-57	3-15	n.e.	18-72
	Incineración	69-137	11-20	49-66	31-91
Países Bajos	Relleno Sanitario	49	36	13	74
	Incineración	155	56	57	153

Tabla 13 Tabla comparativa de costos

5.3.6.1 Variables que afectan financieramente los proyectos.

En el mismo contexto de comparación entre estas dos tecnologías de rellenos sanitarios e incineración, se llevó a cabo un análisis de cada parámetro relevante para poder observar las ventajas y desventajas de cada caso; una vez concluida esta comparación se puede tener la certeza que “un incinerador no es un relleno sanitario en el cielo”.

Existen 5 diferencias fundamentales entre ambas tecnologías que desde el punto de vista económico tienen un impacto significativo:

- La inversión inicial es mucho más alta para un incinerador que para un relleno sanitario
- Los incineradores muestran economías de escala mucho más extensas que los rellenos sanitarios
- El monto de inversión en tierras es una mínima parte para el caso de los incineradores
- Los incineradores, una vez entrando en operación, deben de recibir el flujo de residuos en forma continua, de otra forma la operación resulta muy costosa.
- Los incineradores pueden producir energía de forma más inmediata que los rellenos sanitarios, y por lo mismo sus costos netos de operación, incluyendo los beneficios por la venta de energía, son mucho más bajos que los rellenos sanitarios.

5.3.6.2 Costos

Los costos estimados por los equipos de incineración varían enormemente desde los \$100,000 dólares por tonelada diaria de residuos hasta los \$200,000.00 (Rheyner et al, 1995). Debido a que los incineradores en rangos prácticos van desde los más pequeños de 300 t/día hasta las 3,000 t/día, éste rango de costos implican que el propietario del sistema de incineración deberá de contar con

¹⁶ La energía ganada es la utilidad por la venta de energía – (n.e. significa: “no estimada”)

¹⁷ Este valor resulta de sumar los costos privados más los costos externos y resta de la energía ganada.

recursos del orden de los \$30 millones a los \$600 millones de dólares. Independientemente del tamaño del equipo, estos montos de inversión pueden ejercer un estrés importante en las finanzas municipales si es éste quien llevará a cabo las inversiones o en su caso si está dando alguna garantía a particulares, garantizando los residuos en cantidad y calidad por el tiempo de vida del proyecto, 20 a 30 años.

Para comprender la magnitud de estos costos de inversión, es útil ponerlos en costos por tonelada de residuo incinerado; a manera de ejemplo se presenta el siguiente caso hipotético:

Un incinerador a un costo de \$150,000 dólares por tonelada, que procese 1,200 toneladas al día los 365 días del año y por 20 años, y sin considerar la venta de energía generada durante ese periodo de tiempo, el resultado es de \$20.54 dólares por tonelada incinerada. Aun sin considerar los costos de operación y mantenimiento, este costo por tonelada resulta ser el mismo que para los rellenos sanitarios en algunas partes de los Estados Unidos.

5.3.6.3 Escala

La economía de escala en este tipo de sistemas es un factor de importancia, un incinerador pequeño es más costoso proporcionalmente, sin embargo el costo por tonelada es bastante comparable, de hecho en promedio las instalaciones modulares tienen un costo de inversión relativamente más bajos. Los costos por operación y mantenimiento de los sistemas más grandes son del orden de \$10 dólares por tonelada menos que los incineradores modulares. Debido a que los costos por manejo y disposición de cenizas y los beneficios por la producción de electricidad son los mismos por tonelada para los dos tipos de incineradores, lo que significa que las instalaciones más grandes tienen costos más bajos que las instalaciones más pequeñas.

Otros factores indirectos que impactan los costos directos de inversión son por ejemplo los costos por obtención de permisos, estudios preliminares, y que no marcan una diferencia muy grande en función al tamaño del incinerador sino que son prácticamente costos estándares lo que implica que si el incinerador es pequeño, el costo porcentual será más alto.

5.3.6.4 La extensión del terreno

Un incinerador requiere mucho menos espacio que un relleno sanitario y el costo de la tierra hace una gran diferencia para el costo relativo de ambos métodos para la disposición final de los RSU. Y este es uno de los puntos medulares entre las tecnologías, ya que por ejemplo en Japón donde hay una densidad de población de 10,000 personas por milla cuadrada (3,876 personas/km²) y más de dos veces la proporción de RSU incinerados respecto a los enviados a los rellenos sanitarios. El costo de la tierra es muy costosa alrededor de las ciudades. Por ejemplo en Estados Unidos en las áreas rurales del suroeste el costo de uso del terreno es de \$10 dólares por tonelada mientras que en el noreste llega a ser de \$100 dólares (Porter,2002).

5.3.6.5 Flujo de materia

Los incineradores tienen una capacidad de diseño y no operan en forma económicamente eficiente si no tienen los volúmenes necesarios, no es una cuestión de promedios sino de valores fijos diarios

los 365 días del año. Esta limitación de los incineradores los pone en desventaja con los rellenos sanitarios, los cuales son flexibles por excelencia. Si llegan más residuos a un relleno sanitario, el sitio se llenará más rápido y viceversa si no llega suficiente volumen. En el caso del incinerador, si llega de más, no lo puede procesar y si llega de menos es ineficiente.

5.3.6.6 Energía

Los sistemas de incineración recuperan completamente sus costos de operación y mantenimiento a través de la venta de la energía (Keeler, et al,1994). Los costos variables e ingresos por la venta de energía se ubican entre los \$20 y \$40 dólares por tonelada de residuos incinerados. Esto es una gran diferencia con respecto a los rellenos sanitarios en que resulta un beneficio económico marginal la quema del metano y obtención de energía eléctrica.

5.3.6.7 Balance final del comparativo entre las dos tecnologías

En conclusión podemos decir que en ambos casos, rellenos sanitarios e Incineradores, bajo mismas condiciones, partiendo del hecho que para los dos casos, el barrido, colección, centros de transferencia, transportación final son el mismo caso; se llegó a la conclusión de que los incineradores tienen 3 ventajas:

- a) Requieren mucho menos terreno,
- b) Reducen el volumen de los residuos en un 80% en promedio y
- c) Se obtienen beneficios por la venta de energía eléctrica.

Sus desventajas son dos:

- a) Su alto costo inicial y
- b) Su incapacidad para ajustarse a las variaciones de flujo de materia.

Cuando las ventajas y desventajas son sopesadas cuantitativamente muchos estudios encuentran a los incineradores con costos por tonelada más altos que los rellenos sanitarios, tanto en estudios hechos en el pasado como en los más recientes.

5.3.7 Aplicabilidad de la tecnología en el caso de la CEDA.

Una vez estudiada esta alternativa tecnológica, las experiencias internacionales y sus aspectos económicos correspondientes y llevando estos datos al caso de la CEDA se identificaron algunos obstáculos:

- a) Dadas las condiciones particulares de los residuos de la CEDA, como la cantidad de humedad relativa, esto es > 25% de humedad (aprox. 70%), pone en situación no viable para la CEDA esta tecnología.
- b) Una alternativa para hacerlo viable es mezclarlo con otros residuos de las delegaciones aledañas para lo cual se requiere de 2400 toneladas adicionales con una humedad máxima del 15% (prácticamente residuos secos) para que combinadas con las 600 a 800 toneladas con 70% de humedad de cómo resultado 3000 toneladas diarias con una humedad máxima del 25%, que es lo que requiere esta tecnología, entre otros requisitos.

- c) Si por otra parte se considera que la pepena retira cartón, papel, vidrio, PET y metales de los residuos, se puede estimar que las 2400 toneladas deberían de provenir de una colecta de 4000 toneladas para que después de la pepena se garanticen las toneladas y porcentaje de humedad que requiere el sistema.

En terminos de inversion el monto sería del orden de los \$450 millones de dólares considerando un costo inicial de \$150 mil dólares por tonelada y 3,000 toneladas diarias. Considerando un tiempo de vida del proyecto de 20 años, el costo por tonelada de RSU seria del orden de \$20.54 USD, como costo unitario de inversion.

Como ya se menciona anteriormente, la “calidad” y “mezcla” de RSU es crucial para este tipo de sistemas, lo que implica que las empresas de incineración mantienen un inventario de residuos para asegurar que la mezcla es uniforme o con mínimas variaciones a lo largo del año. Esto seria un verdadero reto para la CEDA en donde hay variaciones estacionales y seria muy dificil asegurar la mezcla por los siguientes 20 o 30 años.

Por otra parte, los volúmenes deben de mantenerse constantes y si bien se puede prever un crecimiento en la generación, éste no podría ser superior a un 15% del volumen originalmente planeado.

Cabe recordar que para la implementación de un sistema de incineración se llevan a cabo estudios e inventarios minuciosos por términos de un año en promedio para conocer la mezcla de RSU disponibles y a partir de ese inventario es que el equipo es diseñado.

5.3.8 Conclusión sobre esta tecnología

Por las razones antes expuestas, así como las otras indicadas en el análisis preliminar, resulta complejo que ésta tecnología pueda ser implementada exclusivamente para la CEDA. No se ha llevado a cabo el estudio de factibilidad económica ya que técnicamente no es viable y en resumen por las siguientes razones:

- a) La composición de los residuos es 80% orgánicos que incluyen básicamente frutas y verduras y el 20% restante es inorgánico (bajo la descripción expuesta en el capítulo de diagnóstico)
- b) El contenido de agua de esta mezcla de residuos orgánicos es del orden del 70% al 80%
- c) Debido a que la mezcla RSO-RSI es 80%-20% se estima que la humedad relativa de la mezcla total sería del orden del 55% al 65%
- d) Los sistemas de combustión de residuos para la generación de energía, además de recibir materia prima seca debe ser triturada antes de entrar a la cámara de combustión, el proceso de deshidratación (secado) de los RSU sería muy costoso debido al porcentaje de humedad
- e) Una vez deshidratados los RSU (orgánicos + inorgánicos) de la CEDA – la mezcla final sería insuficiente para un proyecto de esta naturaleza, por lo que deberían de mezclarse con residuos de otra fuente pero siempre buscando que la humedad relativa no supere el 30%.

No se descarta la posibilidad de que ésta tecnología pueda ser utilizada para otras fuentes de RSU de la Ciudad de México y otras entidades, de hecho ésta podría ser la mejor alternativa para los volúmenes que maneja el DF y más aún si los RSO se están enviando a los centros de composteo y la pepena está seleccionando un alto porcentaje de material reciclable.

5.4 Biodigestores

5.4.1 Introducción

Los biodigestores son equipos que han sido diseñados para la producción y recuperación controlada de metano (CH₄), el cual como gas combustible puede ser aprovechado *in situ*, principalmente. Este compuesto fue identificado por el físico Alessandro Volta en el siglo XVIII, en el año de 1777; a este gas se le conoció como “gas de los pantanos”; a partir de entonces se han desarrollado equipos y sistemas para su captura y aprovechamiento en sitios que son productores naturales o artificiales como los “actuales” rellenos sanitarios y en sistemas diseñados *ex profeso* para ese fin como ya se mencionó.

Las aplicaciones más comunes de los Biodigestores son para la obtención de metano a partir de desechos orgánicos de animales, estiércoles específicamente. Para el caso de Biodigestores para residuos sólidos urbanos ha tenido una limitada aplicabilidad y en esta sección se presenta un análisis detallado de sus beneficios y limitaciones. La biotecnología anaeróbica satisface tres necesidades básicas: a) mejorar las condiciones sanitarias, b) generación de energía para aplicaciones locales y c) suministro de materiales estabilizados como fertilizantes para cultivos.

El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso en los últimos años dado el alto costo de fertilizantes químicos y la tendencia hacia la denominada “producción orgánica”. Esta tendencia positiva ha encontrado sus limitaciones en la madurez de las tecnologías, la disponibilidad y requerimientos de espacio y el conocimiento en el manejo del biogás.

5.4.2 Procesos de biodigestión

La actividad microbiana juega un papel importante en la transformación de los RSO si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función a la presencia o ausencia de oxígeno y tratar de forma eficiente los RSO.

Del enunciado anterior podemos entonces deducir que existen dos tipos de tratamiento, el aeróbico, con presencia de O₂ y el anaerobio, con ausencia de él. La decisión en cuanto al procesamiento de los residuos por esta alternativa de biodegradación controlada depende en gran medida del tipo de residuo, los volúmenes a tratar y las condiciones en las que se encuentran.

5.4.2.1 Digestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos principalmente bacterias y protozoos que en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica

disuelta transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Este proceso involucra oxígeno que en algunos procesos, como en el tratamiento de aguas residuales representa un costo significativo; ya que el proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la auto oxidación de la materia celular (Varnero,2011).

Durante las primeras fases de del proceso cuando una población de microorganismos se pone en contacto con una fuente ilimitada de sustrato, los microorganismos se reproducen a tasas logarítmicas ya que su población estará limitada por su capacidad de reproducción; por lo anterior la tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido a la absorción y asimilación de la materia orgánica para la síntesis de la nueva materia celular. A medida que progresa la oxidación de la materia orgánica disponible la tasa de crecimiento bacteriano comienza a disminuir. Las fuentes de carbono orgánico disponible se convierten en una limitante y por consiguiente se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno. Cuando la cantidad de materia orgánica disponible es apenas suficiente para garantizar la subsistencia de los microorganismos, estos comienzan a auto oxidarse mediante su metabolismo endógeno.

La digestión aeróbica, presenta ventajas importantes frente a la anaeróbica, destacando la facilidad de operación, bajos costos de capital de inversión , no genera olores desagradables, reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto de patógenos. Este tema lo retomaremos en la sección de composta de residuos orgánicos.

5.4.2.2 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso complejo en el que parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás, la cual es una mezcla de bióxido de carbono y metano, con trazas de otros compuestos. Esta acción degradante es gracias a la acción de diversas bacterias que son sensibles o inhibidas por el oxígeno y sus precursores como el H₂O₂ (Peróxido de hidrógeno).

En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo el 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido por un sistema aeróbico. El proceso anaerobico se subdivide en dos procesos: a) Fermentación anaeróbica y b) respiración anaeróbica.

5.4.2.2.1 Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, el sustrato es parcialmente oxidado y por lo tanto solo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva. En la fig.33, se muestra una representación gráfica de la fermentación anaeróbica de la glucosa en etanol. Es importante mencionar que dos terceras partes del metano se producen mediante fermentación y la producción de metano mediante esta vía se conoce comúnmente como metalogénesis acetotrófica.

5.4.2.2.2 Respiración anaeróbica

La respiración anaeróbica es un proceso biológico de óxido reducción de monosacáridos en el que el aceptor terminal de electrones es una molécula inorgánica distinta del oxígeno y rara vez una molécula orgánica. Este proceso, requiere aceptores de electrones externos para la disposición de

los electrones liberados durante la degradación de la materia orgánica. Los aceptores pueden ser CO_2 , SO_4 , o NO_3 . La energía liberada es mucho mayor que la que se produce durante la fermentación. Cuando el CO_2 acepta los electrones liberados por la materia orgánica, se reduce a gas metano y a este proceso se le conoce como metalogénesis hidrogenotrófica y es responsable de un tercio de la producción total de metano. La presencia de sulfato, desvía parte de la materia orgánica hacia la reducción de sulfato mediante un grupo de bacterias, la liberación de sulfuro de hidrogeno – gas penetrante – es característico de ambientes anaeróbicos en los cuales el sulfato actúa como aceptor de electrones. Cuando el Nitrato actúa como aceptor de electrones, se reduce a gas nitrógeno.

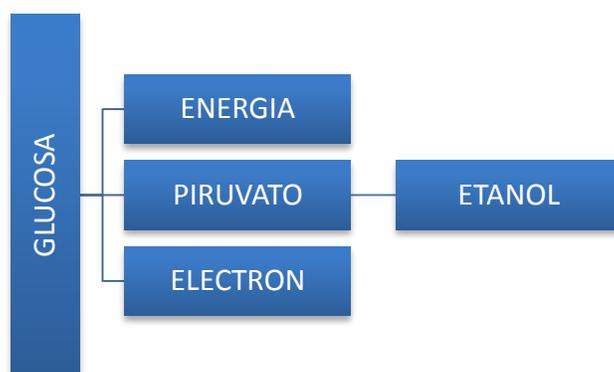


Fig. 22 Fermentación anaeróbica de la glucosa en etanol

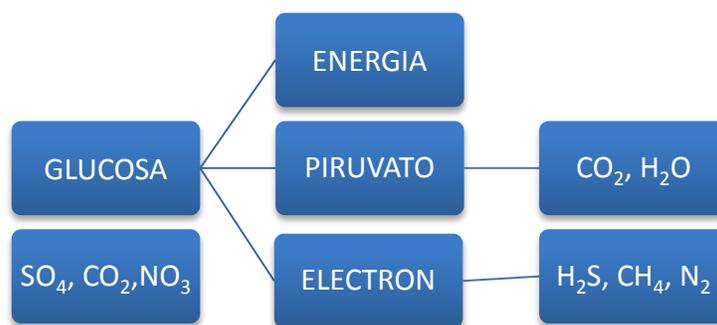


Fig. 23 Respiración anaeróbica de la glucosa en Metano

5.4.3 Producción de gas metano y “bioabono” mediante la descomposición de los residuos sólidos orgánicos.

La fórmula química de los RSO es una fórmula compleja de polisacáridos saturados que se puede representar de la siguiente forma $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$, la cual al combinarse con el agua y con la acción de microorganismos fermentativos produce glucosa, ésta a su vez formará etanol y bióxido de carbono

con desprendimiento de calor; gracias a la acción de microorganismos acidogénicos ésta mezcla de etanol y bióxido de carbono producirá ácido acético, metano y bióxido de carbono, lo que motivara la formación de microorganismos metanogénicos que acelerarán el proceso de formación de metano y bióxido de carbono.

	BASURA	HUMEDAD	GLUCOSA	
n {C ₆ H ₁₂ O ₆ }	Composición	55-70% de Metano (CH ₄)		X. DE C. (CO ₂)
		30 – 45% de Bióxido de carbono (CO ₂)		
2n {CH ₄ }	Contenido energético	6.0 a 6.5 kWh m ⁻³		X. DE C. (CO ₂)
		Equivalente de combustible		
2n {CH ₄ }	Limite de explosión	0.60 a 0.65 L petróleo /m ³ de biogás		X. DE C. (CO ₂)
		6-12% de biogás en el aire		
n {C ₆ H ₆ }	Temperatura de ignición	650°C a 750 °C		X. DE C. (CO ₂)
		Presión critica		
B1	Temperatura critica	78 a 88 atm		X. DE C. (CO ₂)
		-82.5 °C		
B2	Densidad	1.2 kg m ⁻³		X. DE C. (CO ₂)
		Olor		
B3	Inodoro			X. DE C. (CO ₂)

Por su parte, las características del “Bioabono”, compost o humus dependerá en gran medida del tipo de tecnología y de las materias primas utilizadas para la digestión. Durante el proceso anaeróbico, parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido de materia orgánica es menor al de las materias primas. Gran parte de la materia prima de este producto se ha mineralizado, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico.

5.4.3.1 Etapas de la fermentación metanogénica

Los estudios bioquímicos y microbiológicos, dividen el proceso de descomposición anaeróbica en 4 fases o etapas.

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

Tabla 14 Características del biogás.

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizados por enzimas producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógenos de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrogeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último los microorganismos metanogénicos producen metano a partir del ácido acético, hidrogeno y bióxido de carbono.

5.4.3.2 Hidrólisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles que puedan atravesar la pared celular. Por lo anterior, el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos es la hidrólisis. La etapa hidrolítica, puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se trata de residuos con alto contenido de sólidos. Además la hidrolisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato, del tamaño de las partículas, del nivel de pH, de la concentración NH_4 , y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas llamadas proteasas. La velocidad de degradación de los materiales lignocelulosicos, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. La tasa de hidrólisis aumenta con la temperatura, por lo tanto si se reduce el tamaño de partícula y se aumenta la temperatura se logran menores tiempos de retención y/o tamaño de reactores igualmente menores.

5.4.3.3 Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de la moléculas orgánicas solubles en compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2) y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico, y etanol, principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de este tipo de bacterias no solo radica en el hecho que produce alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que además eliminan cualquier traza de oxígeno disuelto en el sistema. Este grupo de microorganismos se componen de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

En estas primeras dos etapas participan bacterias de al menos 128 ordenes de 58 especies y 18 géneros.

5.4.3.4 Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metaogénicos (H_2 , acético), otros como el etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos deben ser transformados en compuestos más sencillos como acetato (CH_3COO^-) e hidrogeno (H_2) a través de las bacterias acetogénicas.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas, han extraído todo el alimento de la biomasa y como resultado de su metabolismo eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

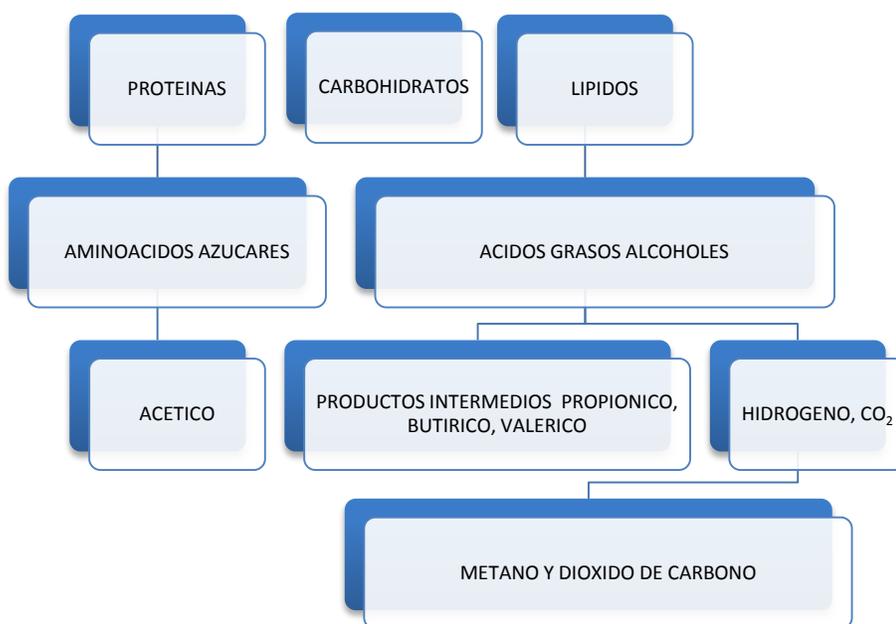


Fig. 24 Transformación de los principales compuestos en Metano

5.4.3.5 Etapa metanogénica

En esta etapa, un amplio grupos de bacterias anaeróbicas estrictas, actúa sobre los productos resultantes de la etapas anteriores. Los organismos metanogénicos pueden ser considerados los más importantes dentro del grupo de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación del metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo además los que dan nombre al proceso general de biometanización. Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación

del ácido acético, a pesar de que mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H₂ como aceptor de electrones, solo dos géneros pueden utilizar acetato. En la tercera y cuarta etapa de la degradación se encuentran principalmente bacterias metanogénicas, en la actualidad se han identificado 81 especies de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes.

5.4.4 Diseño del reactor para la obtención del biogás

Para el diseño del reactor se requieren datos precisos de los productos que serán procesados en el biodigestor, los volúmenes que se pretenden procesar, tiempos de retención deseables, pH y posteriormente los volúmenes de biogás y lodos que se esperan obtener.

5.4.4.1 Naturaleza y composición bioquímica de la materia prima

Las características bioquímicas que presentan los residuos deben de permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio las sales minerales (azufre, fósforo, potasio, magnesio, hierro, entre otros). Normalmente los estiércoles y residuos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, contienen éstos elementos en proporciones adecuadas. Sin embargo en ciertos desechos y en particular los de la CEDA, probablemente sea necesaria la adición de los compuestos enumerados o bien un post tratamiento. Considerando los RSO de la CEDA, éstos se ubican dentro de las siguientes clasificaciones:

- a) Residuos de origen vegetal: Frutas, verduras, follajes, flores, entre los más probables. Estos RSO, se consideran con un contenido de agua superior al 50% pero inferior al 90%
- b) Residuos de alimentos procesados: como desechos de comida preparada.

Las sustancias con alto contenido de lignina¹⁸ no son directamente aprovechables y por tanto deben ser sometidos a tratamientos previos como cortado, macerado y compostaje. Tal es el caso, pajas, cañas, hojas secas y residuos de jardinería de la CEDA o sus alrededores y que no podrían entrar dentro de este proceso de biodigestión anaeróbica.

En términos generales se pueden clasificar los sustratos en 4 clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración, porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV), y demanda química de oxígeno (DQO).

Los sustratos clase 1 pueden ser degradados eficientemente en digestores de tipo alimentación por lotes. Los sustratos clase 2, pueden degradarse en forma eficiente en biodigestores de operación continua. Los sustratos clase 3, por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor, deben tratarse con digestores de alta eficiencia como los denominados de filtro anaerobio y los sustratos de clase 4, debido a su alto contenido de DQO, deben de ser degradados en digestores aerobios intensivos de mayor eficiencia.

¹⁸ El grado de lignificación afecta notablemente a la digestibilidad de la fibra. La lignina, que aumenta de manera ostensible en la pared celular de la planta con el curso de la maduración, es resistente a la degradación bacteriana, y su contenido en fibra reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos.

Los RSO de la CEDA podrían ser tratados con “biodigestores por lotes”. La cantidad de energía disponible y posible de obtener de este tipo de procesos deberá de evaluarse para tratar de determinar la rentabilidad del proyecto.

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características cuantitativas
Sólido	1	RSO domésticos Restos de cosechas Estiércoles sólidos	Mayor a 20% ST 40-70% fracción orgánica
Lodo altamente contaminado alta viscosidad	2	Heces de animales	100-150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos	3	Heces de animales de cria y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustria aguas negras	5-18 g/l DQO 4-500 g/l DQO

Tabla 15 Clasificación de los residuos por sus características cuantitativas.

La mezcla de los RSO es determinante para el cálculo de metano factible de ser producido. La tabla 15 muestra los índices de producción de gas en función de la composición del sustrato y La tabla 17, nos indica el contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas de algunas frutas y hortalizas (datos en porcentajes) con lo que es posible hacer cálculos preliminares del potencial de los residuos de la CEDA.

El volumen más representativo de los RSU son los residuos orgánicos de la CEDA, y están conformados principalmente por frutas y hortalizas; haciendo cálculos preliminares tomado los datos de las tablas, se tiene:

- a) La tabla 17, se puede tomar como una muestra representativa de RSO y considerando que sean 500 toneladas¹⁹, en promedio el 84.68% es agua, equivalente a 423.4 toneladas y 76.6 toneladas de sólidos totales.
- b) Tomando los datos de la tabla 16 concluimos que se pueden obtener 26,586 m³ de metano al día, lo que sería equivalente a 264,262 kWh/día, asumiendo hasta ahora una alta eficiencia en el proceso.

Para la obtención de esta energía se requiere de un reactor además del equipamiento para el procesamiento de los residuos, tales como trituradoras, cribadoras, sistemas de precalentamiento, tolvas, entre otros.

¹⁹ 80% de 625 t/día, valor arbitrario para fines de simplificación de cálculos

Compuesto Orgánico	Formula Química	Biogás m ³ /kg SV	CH4 m ³ / kg ST
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0.75	0.37
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1.44	1.44
Proteínas	C ₁₈ H ₂₄ O ₅ N ₄	0.98	0.49

Tabla 16 Índices de producción de biogás por tipo de compuesto orgánico

HORTALIZA/FRUTA	CARBOHIDRATOS	PROTEINAS	GRASA	CENIZA	AGUA
Papa blanca	18.90	2.00	0.10	0.00	78.00
Camote dulce	23.30	0.40	1.00	1.00	70.00
Zanahoria	9.10	0.10	0.20	1.00	88.60
Rábanos	4.20	1.10	0.10	0.90	93.70
Espárragos	4.10	2.10	0.20	0.70	92.90
Ejotes verdes	7.60	2.40	0.20	0.70	89.10
Chicharos frescos	17.00	6.70	0.40	0.00	77.00
Lechuga	2.80	0.30	0.20	0.90	94.80
Plátanos	24.00	1.30	0.40	0.80	73.50
Naranja	11.30	0.30	0.20	0.80	73.50
Manzana	15.00	0.30	0.20	0.50	87.10
Fresa	8.30	0.80	0.50	0.50	89.90
Melón	6.00	1.60	1.20	1.40	92.80

Tabla 17 Porcentaje de carbohidratos, proteínas, grasas, cenizas y agua de algunas hortalizas y frutas.

PARAMETROS	CARBOHIDRATOS	PROTEINAS	GRASA	CENIZA	AGUA
% promedio de la mezcla	11.66	1.49	0.38	0.71	84.68
kg equivalentes 500t/día	58,307.69	7,461.54	1,884.62	3,538.46	423,423.08
Producción de biogás (m3)	43,730.77	7,312.31	2,713.85	0.00	0.00
Producción de metano(m3)	21,573.85	3,656.15	1,356.92	0.00	0.00

Tabla 18 Cálculo de producción de metano con la mezcla

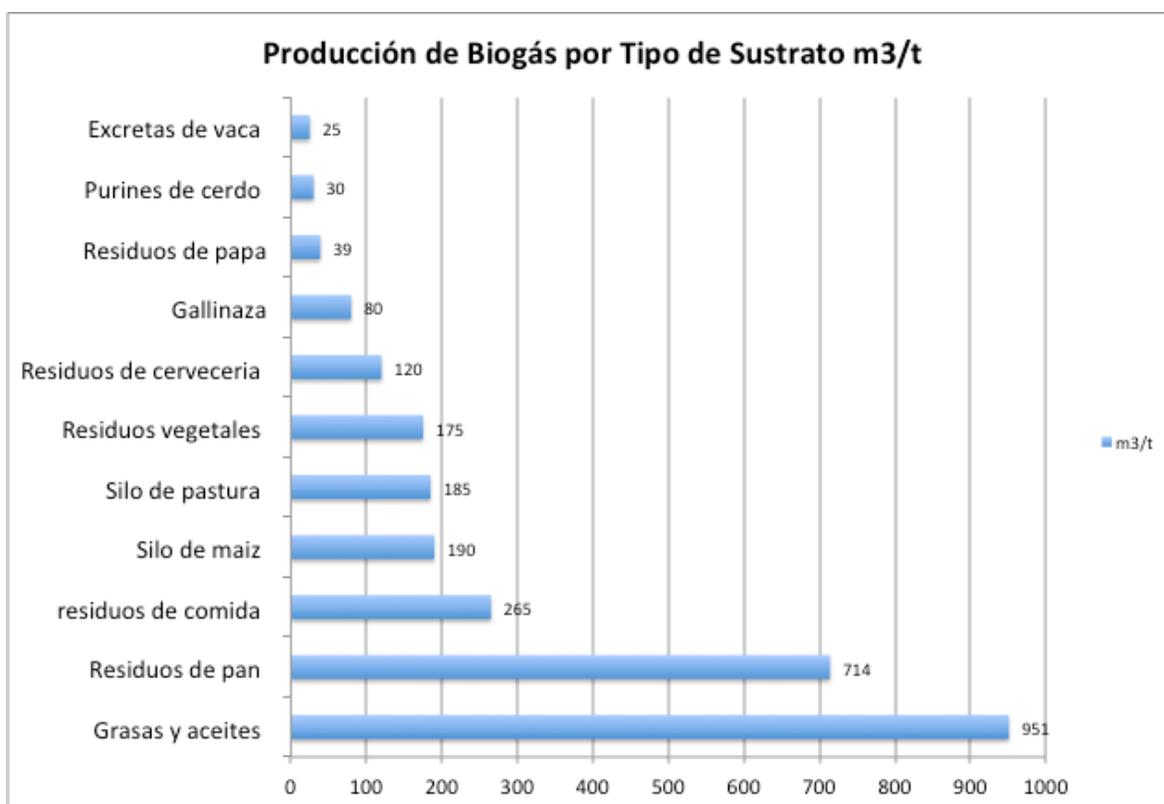


Fig. 25 Producción de biogás por tipo de sustrato.

5.4.5 Cálculo de las dimensiones del reactor

Para el dimensionamiento del reactor se requiere definir el tiempo de residencia de la biomasa y el volumen que se quiere procesar. Partiendo de un diseño que justifique su inversión en el largo plazo se consideró procesar el 100% de los RSO de la CEDA. Considerando los volúmenes de residuos que se generan diariamente y calculando el menor tiempo posible de estancia las dimensiones aproximadas del reactor serían de 5 m de altura por 60m de diámetro, lo que se obtiene de los siguientes cálculos:

$$V_d = (C_d) \cdot (T_r) \text{ -----Ecuación 1 Volumen del Biodigestor}$$

V_d : Volumen del Biodigestor (m^3)

C_d : Carga Diaria ($m^3/día$)

T_r : Tiempo de retención (días)

Para el caso de la CEDA, considerando una densidad de $540 \text{ kg}/m^3$ de los residuos orgánicos²⁰, triturados y mezclados como alimentación al reactor y una carga diaria de $540,000 \text{ kg}$ por día²¹, y 15 días de tiempo de retención, la capacidad del reactor deberá de ser de $15,000 \text{ m}^3$. Bajo estas condiciones estableciendo la temperatura de operación del reactor en 60°C promedio, para que el tiempo de proceso sea el mínimo posible, será necesaria una fuente de calor externa la cual, el mismo proceso en un tiempo T podrá generar por sí mismo.

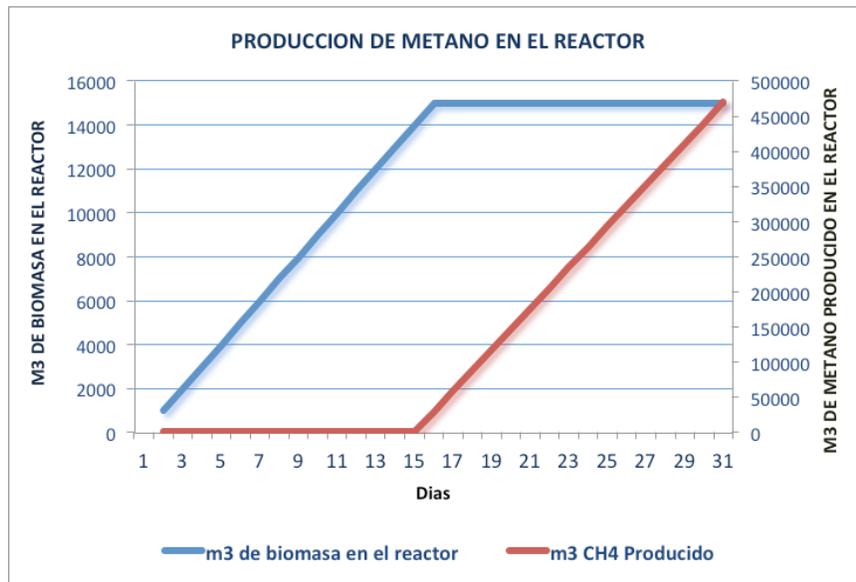


Fig. 26 Producción de metano en el reactor

La grafica de la figura 26, es una representación de la producción de metano y su relación con la alimentación de biomasa durante un proceso de 30 días. Los primeros 15 días la producción de metano es mínima o nula y se debe controlar y medir la producción de bacterias metanogénicas

²⁰ A manera de referencia, los residuos de jardinería tienen una densidad aproximada de $100 \text{ kg}/m^3$

²¹ 540 toneladas diarias, representan el 80% de 675 toneladas de residuos de la CEDA – se consideró que este valor está dentro del rango de residuos que reporta la CEDA (entre 600 y 800 t/día) y considerando un rango de crecimiento a futuro, con lo que además se simplifica el calculo.

para asegurar que a partir del día 16 la producción de gas sea constante y de buena calidad. Entendiendo por buena calidad la concentración de metano del biogás que se produce.

Si el biodigestor es de flujo permanente, deberá de estar provisto de un dren para la extracción de los lodos inertes mientras que por otro lado se alimenta con materia orgánica. Un segundo reactor es necesario con el fin de asegurar una operación continua y contar con la alternancia para efectos de mantenimiento. En caso de que el reactor no sea de flujo continuo sino por lotes, será necesario remover los lodos inertes 15 días posteriores a cada carga y se deberán de instalar más de dos reactores, probablemente de menor capacidad. Los cálculos finales de este tipo de sistemas se podrá obtener una vez que se hayan recibido las propuestas de los proveedores de la tecnología, que se lleven a cabo muestreos detallados de los residuos para determinar con mayor precisión la producción esperada de metano e incluso para que la selección de materia prima (RSO) sea selectiva prefiriendo aquellos residuos que tengan un mejor rendimiento en el reactor.

5.4.6 Producción de energía eléctrica a partir del Metano

De acuerdo a los cálculos preliminares de la sección anterior, la cantidad de metano capaz de producir el reactor con las 540 toneladas diarias de residuos sólidos orgánicos es de 28,712 m³ al día, lo que sería equivalente a 285,402 kWh/día, éste es un valor teórico para fines de estimación de magnitudes de equipos, espacios, y producción de energía eléctrica.

Debido que se requiere calentar la mezcla en el reactor a 60°C , parte de la energía generada será utilizada para este fin. Un cálculo preliminar de la energía requerida para mantener la mezcla de 15,000 m³ a esa temperatura, es del orden de los 28,000 kWh/día, aproximadamente el 10% de energía generada. Este valor resulta al considerar una masa de 540,000 kg, un “delta T” de 30°C (diferencial entre la temperatura ambiente de la mezcla de alimentación vs la temperatura del reactor de 60°C), y una capacidad calorífica de la mezcla de (0.6 kCal)(kg)⁻¹(°C)⁻¹.

5.4.7 Experiencias mundiales y casos de estudio.

Son limitados los casos de estudio disponibles en la red y la literatura así como de estimaciones reales de montos de inversión, por lo que es preciso llevar a cabo un análisis más detallado de la viabilidad económica para el uso de esta tecnología y se deberá de recurrir a empresas especializadas como la que se muestra en la figura 27; la AAT, Abwasser und Abfalltechnik GmbH²². Por otra parte, durante una visita a México de la delegación Italiana durante la cual se llevó a cabo el taller de capacitación sobre gestión de residuos para el GDF, en junio del 2013, se tuvo la oportunidad de platicar con el Ing. Alessandro Filippi Presidente de la empresa Kyklos Acea S.p.A., quien comentó de la experiencia italiana de un biodigestor el cual tiene una capacidad para procesar 120,000 toneladas al año de RSO, generando 3 MW y con un costo de inversión de 25 millones de Euros. Esta cifras nos indican que una planta de 328 t/día genera 3 MW. Este valor comparado con

²² Austria 6960 Wolfurt - Konrad Doppelmayr Straße 17 ;Tel. +43/5574/65190-0 ;Fax +43/5574/65185-6 ; eMail office@aat-biogas.at ; http://www.aat-biogas.at

las 540 t/día de la CEDA, indicado en los párrafos anteriores, es 64% superior, por lo que se podría esperar que la producción de metano fuese en la misma proporción y por ende la capacidad sería de 4.93 MW y una producción de energía diaria de 118,320 kWh/día en lugar de los 285,402 kWh/día, del cálculo previo, lo que podría deberse a la eficiencia del proceso equivalente a 41%.



Fig. 27 Biodigestor de BioWorks

Debido a que no se han identificado más experiencias de otros países ni empresas específicas en la internet, se asume que están en fase experimental o que los hallazgos no han sido publicados por alguna razón. A pesar de lo anterior se han tomado esos valores y experiencias como válidas para llegar a conclusiones preliminares en este capítulo de biodigestores.

5.4.8 Aplicabilidad de la tecnología en el caso de la CEDA.

Con base en la información con la que se cuenta en lo relativo a la composición de los RSO de la CEDA, su disponibilidad y facilidad de clasificación por tipo (frutas, hortalizas, residuos cárnicos, entre otros), esta tecnología es aplicable con las siguientes consideraciones:

- a) La selección de los productos de mayor capacidad de producción de metano deberá hacerse desde el origen para evitar una selección posterior y que el producto pierda parte de sus características como fermentación anticipada, acidificación, por mencionar algunas.
- b) La trituración podría llevarse a cabo en la misma CEDA para optimizar espacios en los equipos de transporte
- c) El sitio de ubicación del reactor deberá ser en otro distinto a la CEDA, por motivos de seguridad, ya que tendría producción de metano, el cual es un gas altamente inflamable y explosivo.
- d) El sitio del reactor deberá estar en un área de baja densidad de población y cumpliendo con la normatividad para este tipo de sistemas.
- e) Este sistema deberá estar en un sitio que cumpla con los requisitos eléctricos para que la energía generada pueda ser entregada a la red, por lo que ésta deberá tener la capacidad requerida para la interconexión.
- f) La generación de energía será en forma constante ya que la alimentación al reactor así sería y aunque fuesen dos o tres reactores siempre habría uno en operación cuando menos por

lo que la generación de energía no será intermitente, como sucede con otras fuentes de energía renovable como la solar, eólica, por mencionar algunas.

5.4.9 Conclusiones respecto a esta tecnología

La tecnología de biodigestores para la producción de Metano y posteriormente generar energía eléctrica es técnicamente viable, por las experiencias que se reportan, y se deberán de tomar en consideración las recomendaciones que se indican en el apartado anterior.

La propuesta es que ésta sea una de las tecnologías a utilizar para los RSO, y de forma complementaria a otra, ya que como subproductos de ésta se tienen lodos con propiedades benéficas que pueden ser utilizadas como abonos orgánicos.

5.5 Composteo y Vermi-Composteo

5.5.1 Introducción

Esta es una técnica realmente milenaria como se podrá ver en el anexo 5, del cual se extrajo lo más relevante para presentarlo en este capítulo. En el anexo en cuestión, se presenta un análisis de las experiencias mundiales en este tema, el cual contrasta en forma particular con las otras tecnologías. Para citar algunos ejemplos: para los rellenos sanitarios la diversidad de literatura habla de sus beneficios parciales, su manejo complejo, sus controversias de índole ambiental; caso similar que para los incineradores, éstos aunados a sus altos costos de inversión y su mayor complejidad para su instrumentación, así como el último caso analizado de biodigestión, con muy escasa literatura y documentación de casos exitosos para los RSO. Para el caso del composteo, las experiencias mundiales son tan bastas y algunas tan antiguas que se decidió presentar esa sección de experiencias mundiales, anexo 5 a este informe.

Existen también casos de fracaso o de limitado éxito, pero son los menos. Una de las principales causas de éxito es el manejo correcto de los residuos y su efectivo compostaje logrando un producto con alto valor en el mercado. Otros países han establecido normas y especificaciones así como mecanismos de verificación y certificación, el resultado: un producto con alto valor comercial y ambiental. El compost resultante de líneas de producción certificadas será un producto de gran utilidad para la agronomía, jardinería de ornato y cultivos de traspatio en zonas urbanas así como un medio para la remediación de suelos y reducción de biosólidos activos proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de las ciudades.

Cabe mencionar que el compostaje y vermi-compostaje son técnicas que pueden ser empleadas desde la escala más elemental, de casa por casa, fraccionamientos, colonias y hasta ciudades completas; se ha demostrado ampliamente su valor ambiental y viabilidad técnico-económica, misma que se muestra de forma amplia a lo largo de éste capítulo.

5.5.2 Breve revisión histórica del Compostaje

El año que fue decisivo en la historia del compost, definitivamente fue 1909 ya que se inicia la aplicación del proceso Bosh-Haber para sintetizar amoníaco; en esta época los agrónomos protestan porque los fertilizantes minerales “arruinan la tierra y devoran el humus”. El profesor estadounidense en agricultura Franklin Hiram King (1848 –1911), hace un recorrido de 9 meses por Asia; tiempo que dedica al descubrimiento de las técnicas milenarias y documentando la sustentabilidad de los suelos; posterior a estos acercamientos, escribe el libro “Los Granjeros de Cuarenta Siglos”, o “La Permacultura en China, Korea y Japón” (Paull, 2011), en esta obra King hace un recuento de su investigación sobre lo que ahora conocemos como agricultura sostenible. En el año de 1920 un agrónomo italiano llamado Beccari, puso en marcha un tratamiento biológico denominado “zimotérmico” (Gotaas, 1956), que combinaba un proceso inicial anaerobio con un estado final aerobio. Años más tarde, intrigado por el trabajo que F.H. King había comenzado, y motivado por sus 25 años como investigador agrícola en la India; Sir Albert Howard (1873 - 1947) se convierte en lo que hoy conocemos como el “padre del compostaje moderno”, y pionero en el concepto de la “agricultura orgánica”. Howard obtuvo después de varios años el primer producto de humus estable mediante la aplicación de residuos orgánicos y reciclaje efectivo. Una característica importante de este método es la combinación de materia orgánica vegetal y animal con una base para neutralizar la acidez (Howard, 1931), también menciona el proceso que realizan los microorganismos en condiciones adecuadas dependiendo del tipo de clima, durante tres meses, dos volteos y riego ocasional.

Con el desarrollo de la microbiología y fundamentalmente a partir de los trabajos de Sergius Winogradsky (1856-1953) y Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) fue posible establecer el papel fundamental que desempeñan los microorganismos como agentes geoquímicos, en los ciclos biológicamente importantes de transformación de la materia en la biosfera. Estos conocimientos, permitieron abordar la práctica tradicional del compostaje con una base científica, instrumentando procedimientos y técnicas que permiten mayoritariamente el control del proceso en su conjunto (<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>).

Es así que con interés por una revolución alimentaria, iniciada en Europa en 1931 se construye en Wijster, Holanda, la primera planta industrial de compostaje cuyo sistema de tratamiento es una adaptación del método Indore²³ con el propósito específico de reutilizar los residuos orgánicos en el norte del país aplicados como fertilizantes. Incluso éste bien fundamentado interés, estaba muy ligado a una crisis económica propia de la década que demandaba una sustitución en las costosas materias primas y un aprovechamiento de los residuos locales y domésticos. Este panorama social, junto a la popularidad de los descubrimientos de Sir Howard, permitió el despegue de las instalaciones industriales de tratamiento de residuos mediante compostaje.

23 El método Indore es traducido al alemán en *Der Tropenpflanzer* en febrero de 1936 y al español en la *Revista del Instituto de Defensa del Café de Costa Rica* en marzo de 1937

En su libro de 1940, *An Agricultural Testament*, Sir Howard hace referencias de las granjas que aplicaban exitosamente el método Indore en los cinco continentes. Para ésta década comenzaba un aumento exponencial en la población mundial así como en el volumen en la generación de residuos. Ya era notorio el impacto ambiental en los terrenos y paisajes que se veían afectados por los vertederos, dicho sea de paso el impacto económico por la opinión pública y al bien común, logrando con esto una legítima preocupación por implementar técnicas y métodos inocuos con la naturaleza, y un impacto mínimo de riesgo en la salud pública.

Posteriormente en 1937 aparece en Dinamarca el primer sistema de compostaje cerrado (in-vessel) denominado “sistema de tambores DANO” con el lema “Residuos domésticos para estiércol orgánico”. En los siguientes 25 años se establecieron en Dinamarca 19 plantas con el sistema DANO, y otras se exportaron a los Estados Unidos, Sudamérica, Oriente Medio, Extremo Oriente, Australia y muchos países europeos. Aunque se incluye en las tecnologías del compostaje es necesario comentar que difícilmente se le puede considerar un sistema de compostaje por sí mismo, pues el material no pasa más de 3 días en el tambor rotatorio, donde es mezclado y desmenuzado para que el compostaje posterior en pilas (o por otro método) sea más eficiente.

Durante la segunda guerra mundial, debido a la penuria, el compost y los abonos orgánicos en general tuvieron un importante resurgimiento sobre todo para cultivos de viña y hortalizas (De Silguy, 1996), pero como ha ocurrido otras veces en la historia del compostaje, la mala calidad de algunos productos y los precios exagerados provocaron que cuando hubo una ligera recuperación económica fuesen sustituidos por los fertilizantes minerales que daban una respuesta rápida a las necesidades de los cultivos.

El rápido crecimiento industrial de la década de 1960 fue un desastre para el compostaje tanto por la falta de conocimiento de proceso como por su mitificación centrado en los sistemas de tratamiento de residuos. A principios de esta misma década de los 60's había en Europa 37 plantas de compostaje: 25 con la tecnología DANO y 12 con el sistema de pilas, de las cuales la mayor parte cerraría en la década siguiente. En los Estados Unidos cerraron 14 de las 18 plantas que fueron construidas a partir de 1951. El contenido cada vez mayor en los residuos de plásticos no degradables y otras sustancias no orgánicas, junto con el incremento en la concentración de metales pesados, redujo drásticamente las posibilidades comerciales del compost.

Con la crisis del petróleo de 1973, vuelve a aparecer el interés por el reciclaje y por la materia orgánica, reimpulsando tecnologías como el DANO y VAM, pero nuevamente una guerra comercial con productos de mala calidad provocan un retroceso con reparaciones iterativas dependiendo de la situación económica y social de la época (Mishra, et al, 2003), es decir que las variaciones han dependido de los objetivos de la sociedad moderna, como son la reducción de las emisiones de CO₂ y la creación de espacios disponibles que sustituyan a los vertederos, quedando en último término la conservación de los suelos y el rendimiento de las cosechas.

5.5.3 Principio científico del composteo

El método Indore desarrollado por Sir Howard, previene el ataque de plantas y animales por parásitos, conservando la fertilidad del suelo proveyéndole los requerimientos de humus y logrando mejorar las especies mismas. Este método sustituye el uso de herbicidas, abonos químicos y otros compuestos sintéticos. La mezcla está constituida por tres partes de desechos vegetales por cada una de desechos animales, incluyendo estiércoles, se añaden minerales a través de piedra caliza molida o cenizas de madera, deberá de proporcionársele importantes contenidos de agua y una aireación preponderante. El principio bioquímico de funcionamiento se basa en la fermentación, se realiza en una fosa plana rodeada de canales para la recogida de los líquidos si la naturaleza del lugar es seca y en montículos cubiertos, para sitios donde la lluvia predomina, consiguiendo de esta forma una humedad balanceada en ambos casos.

El siguiente paso se trata de los volteos. El primero se realiza a las tres semanas para facilitar la aireación del material que va oscureciéndose y así favorecer la multiplicación de los hongos termófilos, mismos que son responsables de la fermentación. Con este sistema, la temperatura máxima es de 65° C. El segundo volteo se realiza a la quinta semana de que haya concluido la primera etapa de fermentación, es también cuando comienza la fase de enfriamiento hasta que alcanza los 30°C, cerca de los tres meses.

Podrá notarse cómo el material se torna granulado y debe mantenerse una humedad homogénea en todo el montículo sin que existan escurrimientos. Este proceso también fija el nitrógeno atmosférico a más de un 25% del nitrógeno del aire.

5.5.4 Técnicas elementales del composteo

El objetivo de realizar una composta casera siempre será disminuir el volumen de los desechos sólidos y aprovechar los residuos orgánicos. Entre estos desechos consideraremos todos los de origen vegetal, los de poda, jardinería, y algunos de origen animal. Nuestro producto final podrá entonces ser utilizado en el jardín o utilizarse en porciones de 3 a 1 en macetas.



Fig. 28 Imagen de RSO en forma de compost

El rendimiento promedio es que por cada 100 kilos de materia orgánica que entre al composteo, obtendremos 30 kilos de abono fértil orgánico. En el método de pilas, la composta deberá tener como máximo 1.5m. de longitud, y 1.80m de altura o profundidad ya que el peso puede compactar las capas inferiores impidiendo la aireación y el drenado.

Las técnicas más comunes son 4:

- Método de montón,
- Método de hoyo,
- Método de recipiente y
- Lombricomposta

5.5.4.1 Método de montón o pilas volteadas

El montón debe tener una forma rectangular de máximo un metro de longitud y 50 cm de alto. Se deben cuidar los tiempos para lograr un producto homogéneo, por lo que los montones o pilas deben conformarse en capas ya que se le añadirá producto fresco posteriormente. Esta técnica es excepcional si se aplica en niveles intermedios como en condominios y edificios. Así que éste método sólo funciona para volúmenes de abundante de materia orgánica concentrados en una misma emisión. Se comienza por formar una cama de 15 cm de alto con un material base. La cual puede ser aserrín, *agrolita*, pasto o grava con el fin de cimentar la base donde se colocará el inicio de la composta, esto ayuda a drenar los escurrimientos para evitar la fusión de los lodos con el suelo, y a prevenir que se pierdan nutrientes además de que propicia la aireación desde la base. Posteriormente se coloca una capa de residuos orgánicos de hasta 20 cm de espesor y cubriendo con una capa de hasta 2 cm de tierra. La tierra debe ser de preferencia endémica. Una vez cubierto de tierra, se debe regar o rociar con abundante agua hasta que todo el montón quede humedecido. Este proceso se repite hasta que el montón haya alcanzado la altura máxima de 50 cm. Con una

barra, se hacen hoyos a los lados y el centro de la composta para lograr aireación y facilitar la entrada del aire hasta el centro.

Se continúa aireando y humedeciendo cada 8 o 10 días, controlando las condiciones de lluvia o sol excesivas, se recomienda también tener una lona disponible de las dimensiones del montón para evitar un deslave en caso de lluvia, también se recomienda proporcionar sombra al montón si el sitio es muy soleado. A la tercera semana se debe realizar un volteo, es decir, mover el producto del fondo a la superficie con una pala intentando no remover la base (sobre todo si se usó grava). Se repiten los pasos de airear y humedecer hasta la quinta semana a partir del primer volteo y así sucesivamente hasta la semana 8. Una vez concluido este proceso, la composta estará listo para su aplicación en los campos de cultivo, se recomienda el cernido para retirar partes que no hayan logrado la desintegración completa.

5.5.4.2 Método de hoyo

Es el mejor método para casas particulares con jardín, ya que se puede ir formando la composta conforme se vaya teniendo materia orgánica disponible. Se debe cavar un hoyo de forma cuadrada de preferencia las dimensiones deben ser de 30 a 50cm de profundidad y 1m de cada lado. El procedimiento es básicamente el mismo que en el caso anterior. Colocar una capa de hasta 15cm de pasto, aserrín o grava, y comenzar a formar capas de material orgánico y tierra, para éste método, la materia orgánica deberá tener un espesor de 20cm y la tierra de 3 cm. Posteriormente se humedece y airea con una barra o palo cada 8 o 10 días. En el método de hoyo no se aplica el volteo pero se debe tener mucho control de los tiempos y la temperatura, por lo que se recomienda que cada semana, antes de la aireación y el riego se haga una toma de la temperatura del centro y tan profundo como se pueda. Cuando el centro alcance los 65°C, es el momento de retirar la materia madura. Para esto se debe retirar la capa superficial o aquellas que tengan menos de 3 semanas y apartar, la materia del centro se saca y amontona en una pila; procedemos a colocar en el fondo del hoyo la materia superficial que previamente apartamos para volver a comenzar con el proceso. Se recomienda dejar reposar la materia del montón al menos 2 semanas hasta que logre una estabilidad de temperatura de 30°C, y el producto estará listo para usarse.

5.5.4.3 Método del recipiente

Éste método es el más usado en residencias sin jardín, departamentos o áreas pequeñas debido a su facilidad e higiene. En ésta la descomposición es más rápida porque mantiene los materiales distribuidos de forma uniforme, además de que controla la población de insectos y se mantiene resguardado de las inclemencias climáticas.

ALGUNOS EJEMPLOS DE SISTEMAS DOMÉSTICOS DE COMPOSTAJE

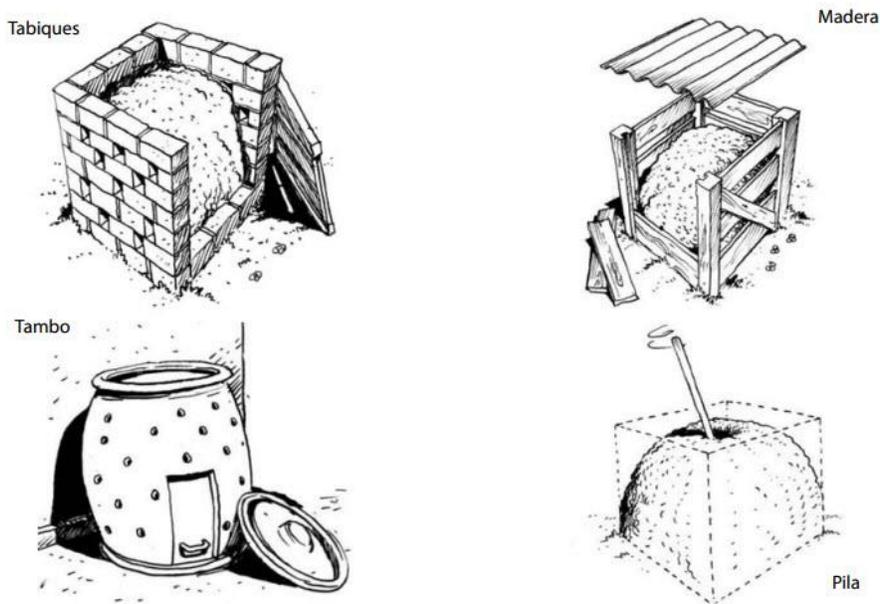


Fig. 29 Algunos ejemplos de sistemas de composteo

El recipiente puede ser un tambo de 200 litros, de plástico o madera sin barnices o químicos, también se puede usar resina, cemento, ladrillos o malla, es decir, un material resistente que no desprenda pintura, óxido, entre otros. Se prepara el contenedor perforando agujeros de 1 a 5 cm de diámetro con una separación igual entre cada agujero, y forrando el contenedor por dentro con malla de mosquitero. Esto propiciará la aireación, y evitará que se desborde el contenido. Se recorta un círculo en el centro del fondo del tambo (Aprox. 17 cm de diámetro) con el fin de que se pueda extraer el material maduro al levantar el tambo o cilindro y mejorar el drenado. Si el tambo permaneciera en un lugar bajo techo, balcón, terraza o en el interior de una cocina, podremos utilizar el fondo sin perforar pero agregando una base de grava y pasto o aserrín para evitar malos olores. El procedimiento general será el mismo, capas de material orgánico y tierra en relación de 20cm a 3 cm., se deberá humedecer y airear la mezcla cada 8 días. A la quinta semana se intentará realizar un volteo de la mezcla, colocando la mezcla del fondo a la superficie para dejar madurar hasta la quinta semana a partir del primer volteo.

5.5.4.4 Vermicomposta o lombricomposta

En éste método los actores principales del proceso, son las lombrices. Las lombrices indicadas para este fin son la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*), o la Lombriz Africana (*Eudrilus eugeniae*); sus glándulas calcíferas segregan iones de calcio, contribuyendo a la regulación del equilibrio ácido básico, tendiendo a neutralizar los valores del pH. Estas y otras particularidades inherentes al proceso digestivo de la lombriz, hace que el producto por ella elaborado, tenga una acción como enmienda, fertilizadora y fitosanitaria muy superior a un compost convencional. También tiene un mayor tiempo de elaboración, condicionado a los inalterables ritmos biológicos de la lombriz

(<http://www.ilustrados.com/tema/1968/Tecnicas-cultivo-Lombriz-Roja-Californiana>). Una explicación más detallada se puede apreciar en el apartado de vermicomposta.

El procedimiento en general es una combinación entre el método del hoyo y el método de tambo, es decir, se hace un hoyo en la tierra y se delimita con maya de mosquetero. También se puede aplicar la misma técnica que la del tambo pero se debe de hacer la perforación en el fondo del mismo y ésta deberá estar en contacto con tierra al fondo. Se coloca un puño de lombrices por cada 30 cm de altura de composta. Posteriormente, se toman las capas de materia orgánica y tierra en relación de 30cm por 2cm de espesor respectivamente e integrando asteriscos de ramas de bambú o piedras de río grandes entre cada capa con el fin de hacerle espacio a las lombrices para que se puedan mover entre toda la composta. Otra característica importante es que esta composta no requiere volteo y debe partir de una base de humus previamente existente para permitir a las lombrices un ambiente cómodo mientras se adaptan a su nuevo habitat.



Fig. 30 Botes composteros

Entre algunas variantes que se pueden encontrar es la adaptación de varias de estas técnicas según la disponibilidad de la materia prima y el espacio con el que se cuenta. Se tiene documentado un caso de éxito conocido como W&D (wet and dry), que relata la experiencia de Brian Matthews, en la que aplicó una simple separación de sus residuos secos y húmedos. Esta consideración es importante para efecto de los residuos orgánicos, ya que puede llegar a condicionar las alternativas de su tratamiento.

5.6 Tecnologías para grandes volúmenes.

Cualquier técnica para bajo o alto volumen parte del método denominado Indore, el cual fue explicado anteriormente, de dará por hecho que se comprende el comportamiento de la tierra en cualquiera de las técnicas para grandes volúmenes que se mencionan a continuación.

5.6.1 Sistema de pilas volteadas

Obedece al mismo método que el montón pero para grandes volúmenes, aquí suelen integrarse excrementos, y otros residuos principalmente ganaderos como gallinaza, restos de poda o de la industria maderera. Algunos desechos de industrias agrícolas como pulpas y jugos también se integran en la materia prima. Las pilas se forman sobre una extensión de tierra plana y deliberadamente destinada para éste fin.

En los casos donde el clima es cálido y lluvioso, las pilas deben taparse con una malla de fibra textil gruesa pero porosa para promover la aireación y protegerlas del medio ambiente, un material excelente para ello, es la tela de yute o manta, ya que conserva la humedad y permite la oxigenación. Mientras que zonas áridas y de baja humedad, el riego es indispensable para controlar la humectación de la tierra.

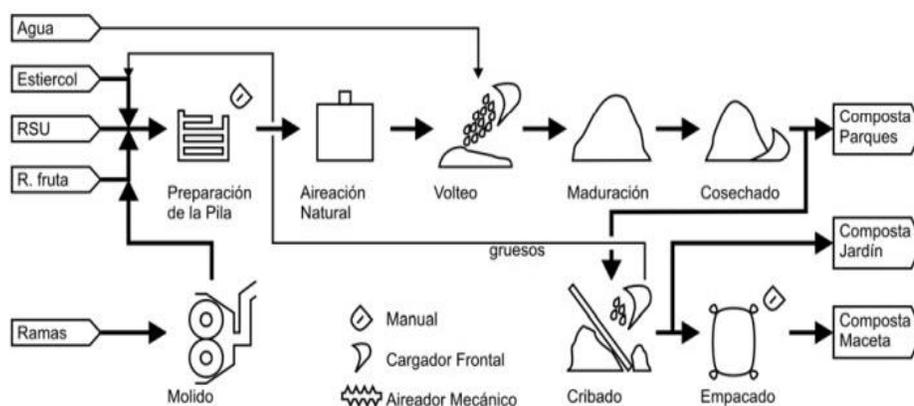


Fig. 31 Diagrama del proceso parcialmente mecanizado.

Las prácticas de aireación y volteo son las mismas que se mencionaron en el método del montón, con la particularidad de que la temperatura y los niveles de PH son tomados cada día llevando una relación de las muestras para su control y obtener un producto final de calidad.

5.6.2 Sistema de pilas estáticas con aireación forzada

Como su nombre lo dice, no se aplica volteo a estas pilas sino que se alimentan de aireación mediante un sistema de inyectado de aire con suficiente oxígeno al centro y a lo largo de la pila. El aire es administrado mediante tanques que generan dicha aireación a través de tubos y mangueras que se insertan en las pilas. Este método se usa cuando la dimensión las pilas excede su tamaño ideal y se complica el paleado de la misma, también cuando la materia prima es demasiado densa. Por lo general las pilas de éste método están separadas en muros contenedores de ladrillo o

cemento a cielo abierto, disponiendo también de un riego automatizado generado por aspersores, similares a los que se observan en un campo de golf.

La forma de aireación para pilas de tamaño mediano, puede no estar provista de tanques, sino simplemente de tubos de 20cm de diámetro insertados a lo largo de la pila con una separación de 80cm entre un tubo y otro.

5.6.3 Sistema de pilas extendidas

Este es un sistema más sofisticado ya que involucra un sistema de aireación previamente sistematizado que consiste en generar ventilación desde al suelo hasta la parte superior de la composta. La zona está provista por un ventilador con suficiente presión oculta bajo piso, y sobre éste, una plataforma o base perforada que expulsará el aire adecuadamente.

Este sistema industrial contempla las filtraciones de humedad hacia el fondo y el drenado de algunos residuos (lixiviados) el tipo de ventilador deberá ser adecuado para tal fin, dispuesto con selladores, filtros y charolas recolectoras de lixiviados. Estas pilas requieren volteo bajo los mismos principios que se han mencionado anteriormente.

5.6.4 Sistemas cerrados o en reactores

Los sistemas cerrados son aquellos que pasan la mayor parte de su proceso sellados y sin una aireación natural ni expuestos al medio ambiente. Existen dos tipos: En camas selladas, o en tambores rotatorios muy similares a los tambores DANO, mismos que permiten la trituración de la materia prima, mientras se les agrega una cantidad importante de tierra. El reactor hace girar el tambor, revolviendo muy bien el material y proveyéndolo de agua y aireación cada cierto tiempo, en éste sistema también hacen mediciones de peso, temperatura, PH y humedad mientras la composta está dentro del mismo. Una vez que en su interior la temperatura alcanza su rango óptimo, el tambor gira y deposita el compost sobre una superficie plana donde pasará el final de su proceso para estabilizarse y madurar.

Estos tambores son de gran tamaño, similares a una mezcladora de cemento, aunque se han desarrollado modelos más compactos. En el caso de las camas selladas, los sistemas se operan mediante canales hechos en módulos de plástico (parecidos a los contenedores de basura), hechos en madera o de malla, todos ellos deben tener la particularidad de poder voltearse fácil y rápidamente, ya sea mediante un columpio integrado o una manivela. Otra particularidad es que deben estar selladas con plástico o dentro de un invernadero, ya que los gases y la energía térmica que desprenden son la base de su denominación.

La última particularidad para reconocer este sistema es el movimiento, en el caso de los tambores ya se explicó que gira para homogeneizar el producto y luego lo voltea. En el caso de los canales o camas, se debe contar con un sistema de movimiento oscilatorio que permita la aireación del compost mediante agitación sistematizada.

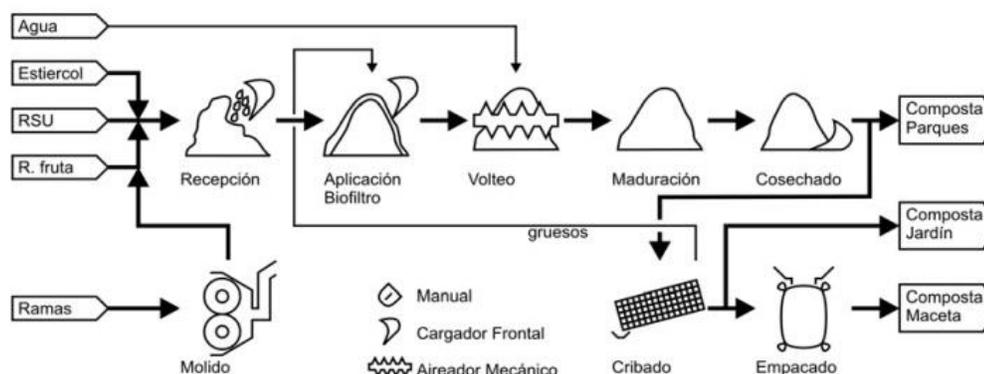


Fig. 32 Diagrama del proceso mecanizado

5.6.5 Sistemas para cadáveres animales

Dado que los cadáveres de animales no procesados se degradan de forma más lenta, es recomendado no mezclarlos con la composta tradicional pero sí compostearlo por separado. Este tipo de composta se recomienda hacerse en suelo en forma de trinchera lo suficientemente profunda, y separar los restos animales, de preferencia por tamaño o en destajos de hueso, plumas, piel entre otros. La relación de las capas deberá ser de 20cm por 60cm de tierra. Nótese que el producto de esta composta no podrá aplicarse como un humus o fertilizante orgánico pero ayudará a disminuir el impacto de descomposición animal en la mezcla de residuos.

5.7 Usos de la composta y su valor

Actualmente, el proceso de compostaje ha incrementado su popularidad o elevado su auge ya que la crisis energética ha llevado a los gobiernos a buscar nuevas formas de producir energía y disminuir los desechos, siendo éste proceso el idóneo para conseguir ambos objetivos. Además de obtener un producto de alto valor agronómico, igualmente se trata de un sistema de tratamiento de residuos orgánicos económico y viable desde una perspectiva ambiental, social y política.

El compostaje es sin duda un método de revalorización para algunos materiales residuales pues funge como un estabilizador de residuos orgánicos, elimina los elementos patógenos, se puede cuantificar una reducción de peso, volumen y algunas ocasiones humedad; el producto final del proceso puede utilizarse como enmienda o abono orgánicos, o como sustrato para el crecimiento vegetal.

El uso del compost es importante desde un contexto ecológico, sostenible, orgánico y biológico *agrícola* ese es su verdadero valor; desde la aplicación del compost y el rendimiento de los cultivos y la relación entre ambos; así mismo como la influencia del compost sobre ciertas enfermedades como por ejemplo el uso que le dan los agricultores japoneses para proteger la papa china de una enfermedad utilizando el compost de corteza de arce. Otro ejemplo es relativo a los

estudios sobre las ventajas que tiene el compost, al no presentar la lixiviación de nitratos y por ende la eutrofización de las aguas por el uso de fertilizantes fosforados.

Aunque es un producto dúctil, la composta debe ser tratada como un producto frágil pues representa la capacidad de revertir lo muerto o inútil en algo vivo y fértil.

El valor comercial de un costal de compost puede variar de acuerdo a su calidad o el método que se haya empleado para su producción. Su valor agregado sería la calidad de materias primas (digamos residuos de vegetales orgánicos certificados). Tómese en cuenta que el compost también tendrá un valor atribuido y ese lo define el usuario dependiendo del uso que le dé.

El valor del compost por lo tanto está cercanamente relacionado con sus aplicaciones entre las que destacan:

- Como práctica para el mantenimiento y recuperación de la fertilidad del suelo en condiciones climáticas críticas.
- Disminuir la compactación del suelo para facilitar su exploración por las raíces de las plantas.
- Mejorar la estabilidad de los agregados como un indicador del mantenimiento de la arquitectura porosa del suelo y de la resistencia a la degradación superficial del suelo por sellamiento.
- Aumentar la capacidad de agua utilizable por las plantas para evitar los riesgos de estrés hídrico temporal.
- Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua a saturación para mejorar la capacidad de infiltración de los suelos, retardando con ello los riesgos de encharcamiento.
- Mejorar la velocidad de infiltración del agua en el suelo para disminuir los riesgos de encharcamiento las pérdidas de agua y nutrientes por escorrentía, y la pérdida de suelo por erosión hídrica

En el sector agrícola, concretamente en horticultura, se aplican hoy en día distintos tipos de compost como alternativa a las turbas y otros sustratos utilizados para favorecer el crecimiento vegetal. Sus aplicaciones van desde servir como fuente de nutrientes o como cubierta para mantener la humedad de los suelos, hasta ser útil como producto supresor de enfermedades vegetales (Tejada, et al.2001).

De igual modo, estudios recientes han demostrado que la adición de compost maduro procedente de residuos sólidos urbanos provoca un efecto positivo moderado sobre la concentración de nutrientes en cosechas de maíz (*Zea mays*) así como en la producción de grano, siendo estos datos semejantes a los obtenidos con otros fertilizantes nitrogenados recomendados comercialmente (Wolkowski, 2003).

La aplicación de compost muestra diversos beneficios en términos generales, entre ellos está el de mejorar el crecimiento de la plantas y favorecer la supresión de patógenos vegetales del suelo. En cuanto a este último aspecto, han sido demostrado fenómenos de *supresividad* de determinadas enfermedades, en los que la microbiota que permanece en el punto final, está directamente implicada. Por último, el producto obtenido en el proceso de compostaje puede usarse para otros fines; por ejemplo, sus propiedades absorbentes lo hacen idóneo para ser usado en biofiltros.

5.7.1 Obtención de energía a través de la composta

Durante el proceso de compostaje obtendremos dos tipos de energía: la energía calórica que se entiende como el calor que se desprende durante el proceso de descomposición y el biogás que es el gas que se desprende durante la fase termófila.

El biogás es producido por la fermentación anaeróbica de la biomasa, que se basa en la transformación de la materia orgánica, a través de una serie de reacciones bioquímicas en presencia de microorganismos, en un gas cuyos componentes principales son el metano (CH_4) y el dióxido de carbono (CO_2) (http://www.inapiprojecta.cl/605/articles-1660_recurso_1.pdf)

El proceso de compostaje eficiente es un proceso 100% aeróbico por lo que la presencia de metano es un indicador de baja eficiencia y de que la oxigenación no es la apropiada por lo que se están produciendo bacterias anaeróbicas y por ende se produce metano. Bajo estas condiciones se deberá de revisar el proceso con el fin de evitar que baje el contenido de oxígeno en la mezcla y el proceso aeróbico se lleve a cabo de forma más eficiente.

Para el caso específico de los biosólidos, producto de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, así como el caso de las excretas de animales que pueden ser tratadas en un biodigestor y posteriormente por un proceso de compostaje, se pueden lograr altas temperaturas ($70^\circ\text{C} +$) lo que ayuda de forma sustancial la descomposición de los residuos. El propósito de adaptar las compostas a un biodigestor es el de aprovechar el calor que se genera durante el compostaje y considerar la biomasa que no tiene un uso productivo. Esto es, darle una aplicación a la energía excedente de la biomasa.

5.7.2 Otros subproductos con valor comercial.

Una vez obtenido el humus, el cual es el producto final de la composta, se obtienen varios subproductos:

1. Tierra para cultivos de plantas ricas en mucilagos.- la cual se forma con una parte de humus por una parte de tierra, el producto comercial puede pesar de 3 a 5 kilos.
2. Tierra para macetas.- La compondremos con una parte de humus por tres partes de tierra.
3. Humus fértil.- Este es humus puro, que se comercializa a un precio más elevado. El humus fértil debe aplicarse directamente sobre la tierra previamente ablandada y desmazalada en las áreas donde se vaya a cultivar un huerto con un espesor de 5 cm. Para el caso de los árboles, el humus sirve como fertilizante orgánico y debe aplicarse una capa de 5cm de espesor que cubra desde 15 cm a partir del tronco y hasta un diámetro en suelo del total de su follaje.
4. Para fertilizar áreas de tierra nueva, se utilizan de 2 a 3 kg de composta por cada metro cuadrado de suelo.
5. Vermicomposta por costal. Es el resultado de la composta con lombriz, y es categóricamente de mayor valor que el resto de los otros humus que se puedan producir además de que no tiene fecha de caducidad y a medida que pasa el tiempo es más asimilable.

6. Bokashi por costal. Este tipo de tierra fértil es el producto del compostaje de excretas de animales, y su precio varía de acuerdo al volumen aunque puede llegar a ser de lo más costosos, ya que por lo regular se obtiene por *lobricompostaje*.
7. Lixiviado de Lombriz roja. Es el drenado en humus de vermicomposta y su venta se realiza a partir de un litro hasta un galón, es un mejorador de suelo y su modo de empleo es de 3c.c por cada litro de agua de riego.
8. Pie de cría de Lombriz roja. Es como tal una familia de lombrices que se asegura proliferarán mediante un humus inicial, su venta propuesta incluye 1 kg de lombriz (aproximadamente de 1000 a 1500 lombrices de diferentes edades). Una vez pesadas se agregan a un contenedor especial con compost para que continúen comiendo y multiplicándose mientras llegan a su nuevo destino.
9. Te de composta.- es la solución obtenida del lixiviado de una composta orgánica realizada mediante ciertas regulaciones que aporta nutrientes a los cultivos sobre todo, hidropónicos, su venta es desde un litro hasta un galón.
10. Compostadores: Es el recipiente fabricado para el compostaje, su diseño depende del tipo de cliente (casero o industrial) y del método a emplear (vermicomposta, recipiente, reactores , entre otros).
11. Hangares. Este aplica únicamente para la industrialización de volúmenes masivos de composta e implica la construcción de las infraestructuras cerradas, el espacio y la altura adecuada para estos fines (www.milestonesbd.com)



Fig. 33 Bote para lombricomposta y lombriz Californiana

5.8 Aspectos Técnicos

5.8.1 Aspectos biológicos, químicos y físicos

Se define al “composteo” como el “proceso” y a la “composta” como el “producto”. La composta es el producto de la degradación aeróbica de residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y parecido al humus que no representa riesgo sanitario para el medio ambiente natural y social, ya que no contiene organismos patógenos ni productos químicos contaminantes. Se produce bajo condiciones controladas que recrean, favorecen y en algunas ocasiones, aceleran las condiciones naturales de generación del humus. La definición etimológica de “composteo” viene del Latín *compositum* que significa mezcla; refiriéndose al proceso de biodegradación de los sustratos con una alta carga microbiana en condiciones aeróbicas y en estado sólido. El nombre correcto de acuerdo a la Real Academia Española (RAE) es “compost” y significa “humus obtenido artificialmente por descomposición bioquímica-calórica de los residuos orgánicos.”

El nombre coloquial en México es “Composta”, como sinónimo de composición. La transformación microbiana en sustratos puros lleva el nombre de fermentación o bioxidación, pero no composteo.

En estado natural, el ciclo biológico de los nutrientes es indispensable para sostener la vida y es mediado por microorganismos, a esta modificación biológica se le conoce como Bio-transformación, alterando su estructura química. Éste prefijo “bio” es un indicador de actividad biótica. La bio-transformación puede sintetizar átomos o moléculas simples en moléculas más complejas (biosíntesis), o viceversa (biodemolición, biodegradación, mineralización). La biodegradación a su vez puede ser la segmentación de compuestos complejos en otros más simples, incluso átomos; esta segmentación usualmente no tiene una fragmentación tan sencilla, pero en ocasiones otros átomos también se incorporan para formar nuevos compuestos.

Durante el composteo, se eleva la temperatura de la masa produciendo energía en forma de calor, a éste proceso se le conoce como exotérmico y ocurre una vez concluida la fase de bioxidación. Sin embargo atraviesa por un proceso espontáneo conocido como fase termófila, seguido de dos fases mesófilas. Hay una liberación temporal de foto-toxinas (metabolitos intermediarios, amonía, entre otros). Al final de todo el proceso, esta foto-toxicidad es completada del todo y el producto final es beneficioso para el crecimiento de las plantas. El proceso de composteo conlleva finalmente a la producción de dióxido de carbono, agua, minerales, y materia orgánica estabilizada.

El proceso comienza con la oxidación de la materia orgánica fácilmente degradable, ésta primera fase es llamada descomposición, la siguiente fase, estabilización, incluye no solo la mineralización de moléculas que se degradan lentamente, también involucra un proceso más complejo como la humidificación de componentes celulósicos.

Desde un punto de vista técnico el proceso de composteo es detenido en una fase donde la materia orgánica sigue presente en abundancia relativa, más del 50% del volumen inicial; de lo contrario el proceso continuaría siempre que las condiciones del ambiente lo permitan hasta que todos los componentes orgánicos estén completamente mineralizados.

El producto principal es llamado compost, para que éste sea considerado tal, debe cumplir con los siguientes atributos:

- 1) Tener una fase inicial de rápida descomposición;
- 2) Una fase de estabilización; y
- 3) Un proceso incompleto de humidificación.

La transformación de materia orgánica fresca en compost se debe principalmente a tres razones:

- 1) Superar la foto toxicidad de la materia orgánica fresca no estabilizada;
- 2) Reducir la presencia de agentes (virus, bacterias, hongos, parásitos) patógenos, a un nivel donde no represente un riesgo para la salud del hombre, animales, y plantas;
- 3) Producir un fertilizante orgánico y mejorador del suelo, reciclando desechos orgánicos.

Recordemos que el compostaje se realiza bajo un proceso aeróbico que consta de dos fases: una primera de temperaturas entre 15°C a 45°C (mesófila) y una segunda a temperaturas entre 45°C a 70 °C (termófila).



Fuente: Ochoa S. Isabel, Tipos de Compost; UAM

Fig. 34 Gráfica de temperaturas del proceso de compostaje

La materia prima de los residuos es el factor clave inicial para lograr un compost de calidad, ya sea que se usen residuos mezclados (previamente clasificados en una planta de producción) o realizar su separación en el sitio donde se pretenda generar el compost.

Una buena composta depende en gran medida de la temperatura, aislamiento, aireación y humedad interna y externa. Con un procedimiento adecuado se tendrá control de estos factores condicionantes con el fin de acelerar el proceso, favorecer la humidificación, evitar pérdidas de nutrientes innecesariamente, enriquecer y obtener un producto homogéneo libre de patógenos.

En un panorama favorable y óptimo, considerar una generación de materia prima que ha surgido de al menos tres generaciones de productos vegetales orgánicos que por su denominación no han sido tratados con controladores químicos ni pesticidas, y que por lo tanto su desecho es igual de inocuo, es decir una reproducción igualitaria a la de la naturaleza por lo que su producto final será un humus fértil de muy buena calidad.

El producto final podría así variar de calidad dependiendo de la calidad del material orgánico, las restricciones del proceso, su procedencia, el control durante cada fase y el conocimiento de los equilibrios mínimos según el tipo de suelo. El suelo a su vez está compuesto básicamente por una relación de **Carbono/Nitrógeno**, este balance es por sí mismo el que da origen a una población de bacterias y hongos que descomponen, fermentan y producen un humus nutrido con buena concentración de humedad, indicando la cantidad de Celulosa (carbono) en proporción al contenido de Nitrógeno. Así por ejemplo, una $R\ C/N=30$ (relación carbono-nitrógeno) indica que hay treinta átomos de carbono por cada uno de nitrógeno.

En un suelo promedio la $R\ C/N$ oscila entre 8 a 12, mismo que proveerá bastante nitrógeno disponible para las plantas de constitución verde y de hojas amplias que dependen en un 90% del proceso de la fotosíntesis, muy parecido a la composición del suelo durante la Era jurásica. Por otra parte si oscila entre 20 y 30 indica que hay un equilibrio, lo que resulta perfecto para el cultivo de árboles frutales con gran cantidad de agua y flores de tonos intensos. Si por contrario es mayor a 30, se dice que hay una necesidad mayor de agua y la competencia por el nitrógeno es mayor, esto se ve claramente en las regiones áridas donde abundan las cactáceas y otras plantas con mayor resistencia a las sequías.

Al igual que durante el proceso de digestión en el cuerpo humano, en la tierra los hidratos de carbono son los primeros en ser descompuestos por los microorganismos, desprendiéndose en forma de dióxido de carbono (CO_2), de modo que la $R\ C/N$ disminuye, pero contrarrestándose con el consumo de nitrógeno por parte de los microorganismos, alcanzándose un equilibrio con valor cercano a 10.

Para lograr un proceso de compostaje óptimo, se requiere que la materia prima esté picada o desmenuzada en porciones de entre 1 a 5 cm, esto con el fin de acelerar su proceso sin con ello sacrificar agua, este tamaño también asegura una adecuada circulación del aire.

Durante el proceso de compostaje la base de éste metabolismo microbiano dependen de la presencia del nitrógeno, carbono y fósforo además de tener ciertos micronutrientes como boro, cobre, manganeso, zinc, hierro y cobalto en cantidades pequeñas (las cantidades altas pueden resultar altamente tóxicas). La relación sana de C/N debe ser por eso mínimo de 25 a un máximo de 35 lo cual se logra al compostear distintos materiales orgánicos. De ser más elevada se produce una falta de nitrógeno disminuyendo la actividad biológica incluso ocupando materias ricas en N.

Cuando esta relación queda por debajo del 25% no afecta del proceso pero se produce una pérdida en forma de amoniaco, éste último provoca una pérdida de nutrientes obteniendo al final un producto poco viable.

En cuanto a su temperatura, ronda en un intervalo óptimo de 60°C a 65°C, (ver tabla 19, “Limites térmicos letales para algunos patógenos y parásitos”, datos según Burford (1994), Finstein y Morris (1974), Gotaas (1956) Hang (1993) y Polprasert (1989)) lo que elimina agentes patógenos, semillas de hierbas adventicias y parásitos. Al menos en México, se ha demostrado por su altitud y temperaturas máximas alcanzadas que ese debe ser el rango de temperatura para que procura la maduración del compost y una mayor temperatura mataría algunos microorganismos indispensables para la descomposición. Cabe mencionar la importancia de las pilas donde se fermenta el compost; las temperaturas más altas se alcanzan en los montones de 30 cm, por ello se recomienda tomar la temperatura al centro de ésta zona con un termómetro de suelo para controlar la evolución del compostaje. El control incluirá un control de la humedad, evitando que se eleve pues desplazará el aire y se producirá un proceso anaeróbico. El punto contrario, donde la humedad es muy baja, disminuyen los microorganismos y se reduce la velocidad del proceso de compostaje.

A lo largo del proceso ocurre la reproducción de varios microorganismos. Durante la primera etapa aparecen los hongos y bacterias mesófilas, una vez alcanzados los 40°C, aparecen los hongos y bacterias termófilos junto con los primeros actinomicetos. Al disminuir la temperatura reaparecen formas primitivas como protozoos, nematodos, miriápodos, entre otros. Posteriormente, durante la fase de maduración se estabilizan estos microorganismos, siendo muy importante permitir el reposo por al menos dos meses con lo cual se obtendrá un compost de excelente calidad.

Organismos	50°C	55°C	60°C
<i>Salmonella thyphosa</i>		30 min	20 min
<i>Salmonella sp.</i>		60 min	15-20 min
<i>Shigella sp.</i>		60 min	
<i>Escherichia Coli</i>		60 min	15-20 min
<i>Streptococcus pyogens</i>		10 min	
<i>Mycobaterium diphteriae</i>		45 min	
<i>Brucellus abortus o suis</i>		60 min	3 min
<i>Endamoeba histolytica (cysts)</i>		1 seg.	
<i>Trichinella spiralis</i>			1 seg.
<i>Necator americanus</i>	50 min		
<i>Ascaris lumbrigoides (ova)</i>		60 min	

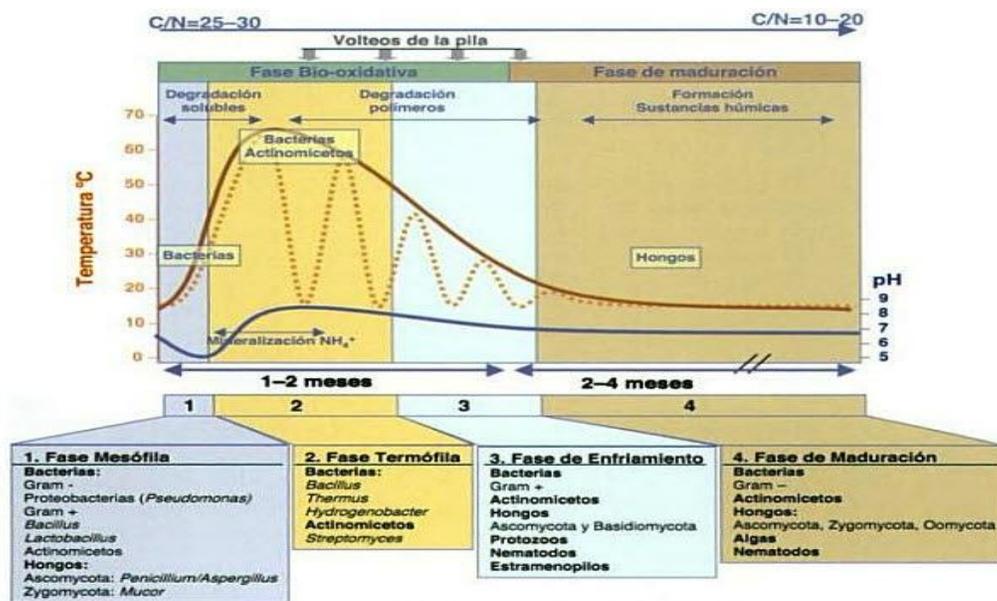
Tabla 19 Limites letales para algunos patógenos y parásitos.

5.8.2 Balance entre nitrógeno y carbono

Durante el compostaje, la materia orgánica tiene diferentes rasgos metabólicos: mineralización, humidificación, y degradación parcial (por respiración aeróbica, respiración anaeróbica y fermentación). (<http://inversanet.wordpress.com/2012/01/20/materiales-iniciales-y-parametros-a-controlar/>)

En un proceso bien manejado, aproximadamente el 50% de la materia orgánica biodegradable es convertida en CO₂, H₂O, sales minerales y energía, el resto de la materia orgánica, se considera que el 20% tiene transformaciones metabólicas complejas con una producción sustancial, el otro 30% es parcialmente degradado mediante un proceso aeróbico y anaeróbico con una producción final de moléculas orgánicas menos complejas.

La pérdida de materia orgánica biodegradable durante el proceso de compostaje puede variar entre un 30% a 60%, los factores que afectan a esta variación son: el sistema de composteo, la duración del proceso, el sistema de aireación, la calidad (química y física) de la materia orgánica a compostear, tamaño de la partícula, carbono y nitrógeno disponibles, y el patrón de temperatura.



Sucesión microbiana y ambiental durante el compostaje.

Moreno Casco, Joaquín; Moral Herrero, Raúl. Ed. Científicos. Mundi Prensa, Compostaje, P. 115.

Fig. 35 Sucesión microbiana y Ambiental durante el compostaje.

Todas las transformaciones microbianas del nitrógeno que ocurren en la naturaleza también toman lugar durante el compostaje incluso con diferente significancia. En el compostaje las fases más importantes son la mineralización, nitrificación y la asimilación. Una asimilación reductiva del nitrato y su siguiente conversión en nitrógeno orgánico dentro de las células microbianas, son pasos importantes en el proceso del compostaje con el fin de reducir pérdidas de nitrógeno en la composición y el suelo.

5.8.3 Vermicomposta

Las lombrices rojas "californianas" fueron criadas intensivamente a partir de los años 50's en California, Estados Unidos. Esta lombriz originaria de Eurasia es *Eisenia foetida*. Especie que en alguna literatura no científica se denomina "Rojo Híbrido", lo que ha dado lugar a no pocas confusiones ya que no se trata de un híbrido sino de una lombriz que al igual que el resto de sus parientes son el resultado de la selección natural. Actualmente es la especie más cultivada en el mundo entero, dada su rusticidad, tolerancia a los factores ambientales (pH. temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento.

5.8.3.1 Conceptos generales, la lombriz roja californiana

Características principales:

- Es de color rojo oscuro.
- Respira por medio de su piel.
- Mide de 6 a 8 cm de largo, de 3 a 5 milímetros de diámetro y llega a pesar hasta 1.4 gramos.
- No soporta la luz solar, una lombriz expuesta a los rayos del sol muere en unos pocos minutos.
- Vive aproximadamente 4.5 años y puede llegar a producir, bajo ciertas condiciones óptimas, hasta 1,300 lombrices al año.

Anatomía interna de la Lombriz

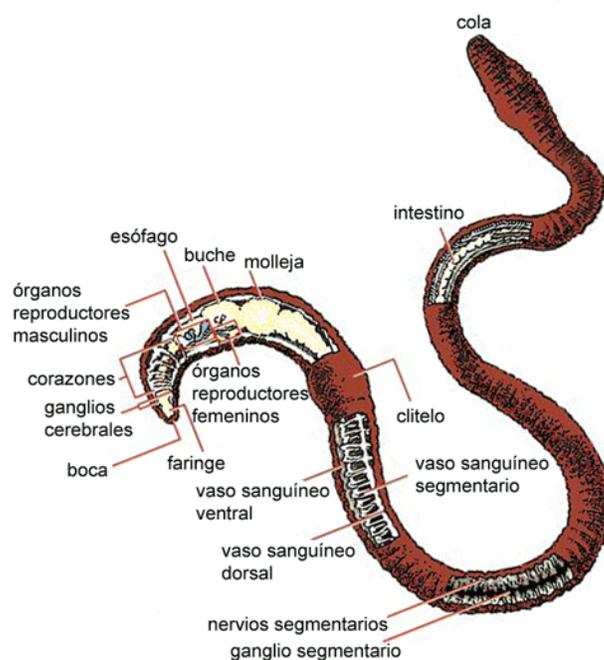


Fig. 36 Anatomía de la Lombriz

La lombriz californiana avanza excavando en el terreno a medida que come, depositando sus deyecciones y convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil que el que pueda lograrse con los mejores fertilizantes artificiales.

Los excrementos de la lombriz contienen:

- 5 veces más nitrógeno
- 7 veces más fosforo
- 5 veces más potasio
- 2 veces más calcio que el material orgánico que ingirieron

Las lombrices californianas pueden criarse en cualquier lugar del planeta que posea temperaturas que no superen los 40°C, y al menos, una temporada con temperaturas promedio inferiores, siendo los climas templados los ideales.

Estas lombrices, alcanzan la máxima capacidad de reproducción en temperaturas de 14°C a 27°C: se reproducirán menos durante los meses más cálidos y los más fríos. Cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

Las lombrices adultas pesan de 0,24 hasta 1,4 gramos, comiendo una ración diaria que tiende a ser igual a su propio peso, de la cual un 55% se traduce en abono, lo que hace muy interesante a la *lombricultura*, incluso se puede considerar la carne de lombriz producida a partir de desperdicios, que puede ser para consumo humano. La lombricultura es un negocio que está en expansión, y en un futuro será indispensable para la subsistencia de los campos. Actualmente, en Europa es mayor la demanda que la oferta tanto de lombrices como de humus de lombriz. No obstante, fuera del ámbito local, los mercados potencialmente más interesantes para la exportación son África, Arabia y Asia.

La única forma de restituir la fertilidad de un campo que ha sido explotado con fertilizantes artificiales durante mucho tiempo es con humus de lombriz. Un campo que ya no sirve para cultivos, puede producir aún más de lo que producía en su mejor época, solo con la aplicación del único abono 100% orgánico. También pueden criarse para la producción de abono para el hogar, pero en este caso, se tendrá un excedente de lombrices que, cada cierto tiempo deberá ser retirado.

5.9 Calidades de composta

Siempre deberá considerarse la calidad a partir de aquellas características que resulten de aplicar un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, acorde con una gestión racional de los residuos y que tenga como objetivo fabricar un producto de aplicación agrícola. Para que se alcance el beneficio ambiental del compostaje y éste llegue a ser una alternativa económicamente viable, el compost producido deberá tener una calidad adecuada a su aplicación y unas características constantes en el tiempo.

En general los requerimientos de calidad del compost deberían ir dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables; higienización correcta; impurezas y contaminantes a nivel de trazas; nivel conocido

de componentes agronómicamente útiles; y, características homogéneas y uniformes. Además debería poder ser almacenado sin experimentar alteraciones. El destino final del compost influye también en su calidad, ya que cada aplicación o aprovechamiento tiene unas experiencias particulares. La determinación del mayor número posible de parámetros (físicos, físico-químicos, químicos y biológicos) nos lleva a definir mejor la calidad del producto.

En la búsqueda de criterios para definir las especificaciones, normas o recomendaciones sobre la calidad de los compost se ha dado lugar a la publicación por numerosos organismos públicos y privados. Por destacar algunos como el U.S. Composting Council y el CEN, que han establecido una serie de normas fruto de una discusión y consenso entre investigadores y organizaciones de la industria del compostaje.

De los múltiples aspectos que afectan a la calidad del compost destacan:

1. **El material inicial.** La calidad del material inicial en el compostaje determinará la calidad del material final. Así, materiales con altos contenidos en nutrientes o bajos valores en metales pesados, darán como resultado productos con altos niveles en nutrientes y sin problema en los contenidos en metales pesados.
2. **El proceso de compostaje.** Para conseguir una higienización del compost se requiere que el material haya pasado por temperaturas elevadas (> 60°C) durante cierto tiempo, si esto no se cumple el producto final puede contener agentes patógenos o semillas de malas hierbas.
3. **El almacenaje del producto final.** En ocasiones el compostaje continúa tras el almacenaje del producto, en este caso se deberán cuidar especialmente las condiciones del almacenaje. Las condiciones anaerobias además de generar malos olores, implican la formación de compuestos tóxicos (ácidos orgánicos, alcoholes,...) para los cultivos.

La tabla 20 es utilizada por los laboratorios Woods End Research Lab. Inc., de los Estados Unidos, para conceder el certificado de calidad a un compost, en ésta tabla se muestra la importancia a las distintas características dependiendo del uso final del compost.

Parámetro de calidad	Uso			
	Sustrato para semillero	Venta como sustrato	Enmienda o abono orgánico	Mulch
Respuesta al crecimiento	++	++	++	-
Contenido en nutrientes	-	+	+	-
pH/Sales solubles	++	++	+	-
Color/Olor	++	++	+	+
Presencia de inertes	+	++	-	+
Maduración/Estabilidad	++	++	+	-
Tamaño de partículas	++	+	+	+

(-) baja importancia; (+) moderada importancia; (++) alta importancia.

Tabla 20 Parámetros para evaluar la calidad de un compost. (Sullivan, D., Miller, R. 2001)

Los parámetros que pueden utilizarse para valorar la calidad del compost, así como la información proporcionada por cada uno de ellos se detalla a continuación.

Las tablas 20 y 21, (<http://woodsend.org/consulting/compost-quality/>) sirven como guía para definir la calidad de un compost pero una evaluación más detallada debe incluir una serie de parámetros específicos que se realizan durante el proceso de compostaje y necesariamente se miden en el producto final antes de su comercialización y empleo, con el fin de lograr la mayor aceptación en la aplicación en compost, ya sea como enmienda orgánica de suelo o como medio de cultivo o componente de sustratos. Los factores a considerar contemplan las propiedades físicas, químicas y biológicas de los productos las cuales permiten conocer el comportamiento del compost en la aplicación elegida. Los parámetros pueden utilizarse para valorar la calidad del mismo, así como la información proporcionada para cada uno de ellos, se resume en la tabla 21 (Soliva,2001).

	Sustrato para semillero	Sustrato contenedor	Enmienda jardines	Mezcla con suelo	Mulch	Fertilizante natural
pH, Humedad	•	•	•	•	•	•
Índice Maduración	•	•	•	•		
Materia orgánica	•	•	•	•	•	
Sales solubles	•	•	•	•	•	
Minerales	•	•	•			•
Densidad	•	•			•	•
Crecimiento cultivo	•	•	•	•		•

Tabla 21 Parámetros claves para la certificación de calidad de un compost (Woods End Research Lab, Inc. 2001)

5.10 Propiedades físicas óptimas del compost

5.10.1 Humedad

El contenido de humedad de un compost está en función de su naturaleza, del proceso y de las condiciones de almacenamiento. Se expresa como el contenido en agua con relación al peso seco (g/ 100g de peso seco), aunque existen formas comerciales de expresar la humedad refiriéndose al peso de la muestra natural: gramos de agua/ 100 gramos muestra fresca. La norma española UNE-EN 13040:2008, para mejoradores de suelos y sustratos de cultivo contempla, en la preparación de muestras para ensayos químicos y físicos, la determinación de la humedad. La humedad debe oscilar entre 35% y 45%. Los compost con humedad menor al 35% pueden no haber quedado totalmente estabilizados debido a la falta de humedad o bien haber sido almacenados durante tiempo excesivo o en condiciones inadecuadas que han provocado pérdidas de humedad (Sullivan, D., Miller, R. 2001).

Generalmente, los compost con menos del 30% de humedad se pulverizan y son de manejo desagradable. Por encima del 50% de humedad el peso de compost repercute en exceso de costo de transporte.

5.10.2 Densidad aparente

La comercialización del compost se realiza en muchas ocasiones en volumen, en este caso es necesario tener muy en cuenta la densidad aparente, relación entre el peso del material y el

volumen (kg/m^3 o $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$). La mayor parte de los compost presentan una densidad aparente entre $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y $700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. La densidad también se ve afectada por la distribución del tamaño de partículas, el contenido en materia orgánica y su grado de descomposición. La densidad se incrementa con el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y una reducción del tamaño de las partículas.

Existen varios procedimientos en las normas del comité europeo de certificación (CEN) para valorar la relación masa volumen de los materiales orgánicos. Por un lado la determinación de cantidad por medio de la norma española UNE-EN 12580:2000, se basa en conocer el peso de un cilindro de 20 litros, se trata de un parámetro fundamentalmente comercial puesto que las compras en ocasiones se comercializan en volumen, por otra parte la norma UNE-EN 13041:2001 describe un método experimental para propiedades físicas de mejoradores de suelos y los sustratos de cultivo, entre ellas la densidad aparente seca. Por último la densidad aparente compacta de laboratorio, bajo la norma UNE-EN 13040:2001, es una determinación previa y necesaria de la muestra para realizar extractos acuosos para la caracterización química de los materiales.

5.10.3 Granulometría y Porosidad

La granulometría o distribución porcentual del tamaño de las partículas es de utilidad para conocer el grado de descomposición del material y determinar sus posibles usos en agricultura y jardinería. Normalmente, y por requerimientos de la normatividad (90% del producto superior a 25mm), el compost es sometido a un proceso de cribado final para evitar partículas de gran tamaño; los rechazos pueden ser incorporados al inicio del proceso. Las partículas de tamaños finos también pueden limitar la utilización para aplicaciones como componentes de sustratos o enmiendas de campos deportivos, donde se requiere un drenaje rápido.

Cuando el compost se emplea como componente de sustratos de cultivo, la distribución del tamaño de partículas y en consecuencia la porosidad inter-particular del material, afectan el balance entre el contenido en agua y el aire del sustrato con independencia del nivel de humedad (Raviv et al. 1986). Siempre se prefieren sustratos con una textura de media a gruesa equivalente a una distribución de partículas entre 0.52mm y 2.5mm, que implica además de una retención suficiente de agua fácilmente disponible, un adecuado contenido de aire (Abad, et al. 2004). Por otro lado Handreck (1983) estudió el tamaño de partículas y las propiedades físicas de distintos sustratos de cultivos en contenedor y concluyó que la fracción menor de 0.5 mm y en particular la que va de 0.1mm a 0.25mm, presenta la máxima influencia en la porosidad y en la retención de agua.

5.10.4 Olor

A pesar de ser una medida subjetiva la presencia de olores desagradables puede indicar que el producto se encuentra en fases iniciales del proceso o que este ha sufrido condiciones anaeróbicas. La norma EN 13725:1999, sobre calidad del aire, es una posible herramienta para la determinación cuantitativa del olor del compost.

5.10.5 Color

La descomposición de los materiales frescos hacen que el color de éstos se oscurezca, llegando el producto final a un color marrón oscuro, casi negro. El color final depende principalmente del material inicial, como los provenientes de residuos verdes, mientras que los provenientes de residuos de estiércoles son generalmente más marrones. También cuando el sistema de compostaje ha sido en pilas estáticas, la no homogenización del producto durante el proceso hace que éste presente distinta coloración en distintos puntos de la pila de compostaje.

5.10.6 Contenido en inertes

El compost se produce a partir de materiales residuales que no siempre están libres de materiales inertes considerados como inertes con impurezas. Dichas impurezas, plásticos y vidrios fundamentalmente, deben ser evaluadas por tamizado entre 4 y 2 mm y ser cuantificadas. La legislación española (RD 824/2005) marca un contenido máximo de 3% de impurezas eventualmente presentes (metales, plásticos y vidrios) de tamaño superior a 2mm.

5.10.7 pH

De forma general durante el compostaje, el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y a medida que el proceso avanza, el valor de pH va aumentando gradualmente hasta valores constantes que oscilaran entre 6.5 y 8.5 dependiendo del material. Bajo condiciones de cultivo intensivo, los valores adecuados deben estar próximos a la neutralidad o ligeramente ácidos.

La determinación de pH se realiza, según la norma UNE-EN 13037:2000, por medida potenciométrica en una suspensión 1/5 (volumen/volumen, compost/agua). Existen multitud de métodos alternativos que modifican la relación compost/agua desde la pasta saturada hasta la extracción 1/25, por ello en la interpretación de los resultados es esencial conocer el método extractivo seguido para que no se produzcan errores.

5.10.8 Conductividad eléctrica (CE) y elementos solubles

La conductividad eléctrica puede determinarse según la norma UNE-EN 13038:2001, por un método de extracción similar al del pH.

La CE es un excelente indicador de la presencia de sales solubles que existen en el compost. Los altos contenidos de sales pueden repercutir directamente en la germinación de las semillas y en el desarrollo general del cultivo, todo dependiendo de la tolerancia de los cultivos a la salinidad, del tipo de suelo y de las pautas de riego. Para el caso de los sustratos de cultivo deben mantenerse niveles de salinidad bajos, debido a que el cultivo se va a desarrollar directamente sobre ellos. Aunque dependerá de las necesidades de la planta a cultivar, se debe intentar mantener valores de la CE por debajo de 1.5 dS m^{-1}

En las normas UNE-EN 13650, 13651 y 13652, se describe la extracción de elementos y nutrientes solubles usando metodologías que emplean como extractante agua, cloruro cálcico, DTPA y agua

regia; con el fin de determinar las diferentes formas de elementos en el material, desde el más lábil soluble en agua hasta las formas más retenidas en la matriz sólida y menos disponibles para la planta.

5.10.9 Contenidos de carbono orgánico total y relación C/N

La concentración de carbono en un compost habla de la concentración de materia orgánica y por lo tanto de su calidad. Dicho carbono se evalúa por dos medios: oxidación o combustión. El método tradicional de Walkley-Black proporciona una estimación del C orgánico en una oxidación química parcial del C orgánico total y está calibrado para la materia orgánica del suelo que no es completamente igual a la materia orgánica de un compost. Por ello, el método de combustión es el recomendable porque es más seguro y preciso que la determinación de Walkley-Black, (Hernán, et al,2003)

El método normalizado CEN (UNE-EN 13039: 2001) propone la determinación por calcinación de la muestra a 450°C y considera la materia orgánica como la pérdida de masa tras evaluar las cenizas como residuo de ignición. Este mismo método permite hacer una estimación de la densidad real del material mediante una fórmula empírica.

5.10.10 Capacidad de intercambio catiónico

El valor de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), definida como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad del peso del compost refleja los cationes que están disponibles para la planta y que no son lixiviados por efecto del riego. Como la mayor parte de los compost tiene pH entre 6 y 8, la determinación de la CIC se realiza con una disolución tamponada²⁴ a pH=7

5.10.11 Nitrógeno total (N)

El contenido de N total del compost es función directa de los materiales iniciales, del proceso de compostaje y de las condiciones de maduración y almacenaje. La calidad del compost debe contemplar la evaluación del contenido de N total con el fin de ajustar su dosificación. El procedimiento normalizado UNE-EN 13654:2002 se basa en la metodología Kjeldahl y no incluye al N-nítrico (NO₃-N) en la medición del N total, sin embargo para la mayor parte de los compost ésta omisión resulta insignificante. La forma y la cantidad del N presente en formas inorgánicas pueden ser buenos indicadores de la madurez de un compost. El N inorgánico del compost también resulta interesante para estimar el N disponible para la planta y aportado por el compost.

²⁴ Solución buffer o reguladora

Propiedad	Parámetro	Informa sobre
PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad aparente	Transporte, manejo y aplicación
	Color	Aceptación
	Olor	Aceptación, higiene e impacto ambiental
	Humedad	Transporte y manejo
	Granulometría	Manejo, aceptación y efectos sobre el suelo/sustrato
	Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo/sustrato y ahorro de agua
	Contaminantes inertes	Aceptación, impacto ambiental y seguridad
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	Contenido y estabilidad de la materia orgánica	Efectos sobre el suelo/sustrato, sobre los vegetales, y aceptación
	Nutrientes minerales	Efectos sobre el suelo/sustrato, y sobre los vegetales
	Contaminantes	Salud, efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	Sales solubles	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	pH	Disponibilidad de nutrientes
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	Patógenos	Salud e impacto ambiental
	Semillas de malas hierbas	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre la producción

Tabla 22 Parámetros de calidad del Compost. (Soliva,2001)

5.10.12 Elementos potencialmente tóxicos (EPT)

Desde hace varios años la denominación de “Elementos Potencialmente Tóxicos” (EPT) se ha generalizado para designar aquellos elementos químicos, metales y metaloides, que diversas actividades humanas han ido incorporando al ambiente. La presencia de metales pesados en el compost es totalmente inherente a los residuos empleados en el proceso de compostaje. La calidad del compost en este aspecto comienza por los materiales de entrada en la planta de compostaje, en el momento que el contaminante entre en el compost el proceso no podrá sino concentrarlo. La solución necesariamente pasa por un sistema de recogida selectiva de los residuos y evitar contaminaciones en las propias plantas. La norma propuesta por el CEN para la determinación de metales pesados (UNE-EN 13652:2002) se basa en una extracción de los elementos solubles en agua regia.

5.11 Propiedades biológicas

5.11.1 Actividad microbiológica

Estudios realizados sobre la actividad microbiana de los compost ponen de manifiesto la existencia de enzimas de todo tipo, a veces en elevadas cantidades, pudiendo entonces ser denominados como “materiales con carga bioquímica”. Su utilidad incidirá sin duda en la calidad biológica y bioquímica de aquellos suelos donde se aplique el compost.

5.11.2 Evaluación de la madurez y estabilidad como índice de calidad

La madurez y la estabilidad son parámetros importantes para determinar la calidad de un compost. Los compost maduros presentan concentraciones insignificantes de componentes fito-tóxicos tipo NH_3 o ácidos de cadena corta y están listos para ser aplicados al suelo (Brewer y Sullivan, 2001)

La respiración se considera una medida de la actividad biológica. Este parámetro puede proporcionar una medida fiable y repetitiva de la actividad microbiana de un material. Las técnicas respirométricas consisten en la medida del O_2 consumido o el CO_2 producido por los microorganismos heterótrofos aerobios que hay en el compost, y en consecuencia son indicadores de la actividad biológica de un material. Para determinar esta actividad se están utilizando diferentes índices respirométricos y diferentes técnicas (Barrena, et al. 2006).

Con en los trabajos de quienes proponen una serie de criterios de madurez simples y combinados se puede concluir que un compost está suficientemente maduro (y por tanto implícitamente estabilizado) cuando reúne las condiciones de estabilidad biológica, “humificación” y madurez que reúne las siguientes condiciones:

- Temperatura estable: Prueba “Dewar”: máximo auto-calentamiento: 10°C (Clase V)
<http://www.woodsend.org/pdf-files/dewar.pdf>
- Olor: Ausencia de malos olores. Ausencia de ácidos orgánicos. Olor a “tierra fresca”
- Color: marrón-negro. Valor Y (grado de luminosidad) entre 11 y 13 (Sugahara, et al. , 1979)
- Emisión de $\text{CO}_2 < 5 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ C-compost peso seco}$ (García, et al., 1992)
- Emisión de $\text{CO}_2 < 2 \text{ mg CO}_2\text{-C g VS-1 d-1}$ (Sullivan y Miller, 2005)
- Prueba Solvita (para CO_2) escala colorimétrica: 7-8 (equivalente a $< 5 \text{ mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ C-compost}$)
<http://www.woodsend.org/aaa/solvita.html>
- Consumo de O_2 (Método SOUR) $< 1 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ VS h}^{-1}$ (Lasaridi et al.,1998)
- Actividad deshidrogenasa $< 35 \mu\text{g TPF g}^{-1}$ (Tiquia, 2005)
- Índice de degradabilidad (ID) < 2 (García, et al., 1992)
- Lípidos extraíbles: ratio DEE/ $\text{CHCl}_3 < 2.5$ (Dinel, et al., 1996)
- AH/AF > 1.9 (Iglesias J. Et al., 1992b)
- Cot/Not < 12 (Iglesias J. Et al., 1992c)
- Cw/Nw < 6 (Chanyasak , et al.1981)
- Cw/Not < 0.55 (Bernal, et al., 1998)
- Cw $< 5 \text{ g kg}^{-1}$ (García, et al., 1992)
- CIC/Cot > 1.7 estiércoles, (Roig, et al., 1988)
- CIC/Cot > 1.9 compost RSU, (Iglesias J. Et al., 1992c)

- $N-NH_4^+/N-NO_3^-$ ratio < 0.16 (Bernal, et al., 1998)
- Prueba de fitotoxicidad: GI \geq 80 % (Zucconi, et al., 1981b)
- Prueba de cebada: FMr 25 % \geq 90 % (FCQAO,1994)

5.11.3 Seguimiento y control de calidad

Todavía no se ha llegado a generalizar el establecimiento de un control de calidad mínimo en el compost, lo que genera cierta desconfianza para algunos potenciales usuarios del producto. Si se estableciera un sistema de seguimiento y control de los compost comercializados y se aportara documentación acreditativa de la utilidad y modo de empleo de los productos, con toda seguridad existiría una aceptación global del compost y se llegaría a una valorización real de los residuos orgánicos, reconocimiento que seguramente repercutiría en el valor económico del compost y animaría al sector privado a invertir en el reciclado.

El documento de la Comisión Europea: “Biological Treatment of Bio waste, 2nd Draft”, puede ser un excelente punto de partida para establecer una metodología de trabajo para el control de calidad del compost.

En México existen compañías que venden el producto sin ninguna certificación ni análisis de contenido de nitrógeno y carbono, lo que sería lo mínimo necesario para darle un valor real al producto y a pesar de ello venden sus productos para los mercados locales.

El compost producido en el bordo poniente podría ser sustancialmente mejorado con solo mejorar las técnicas y/o someterlo a un proceso adicional de “descontaminación” y posteriormente de “homogenización” con el fin de que el producto pueda tener cabida en el mercado de altos consumidores. Para ello se requiere de menor inversión que una planta de composteo nueva.

5.11.4 Aplicabilidad de esta tecnología para la CEDA

Esta tecnología es totalmente viable de ser aplicada para los RSO de la CEDA pudiéndose obtener beneficios económicos, sociales y ambientales. En la siguiente sección se describe en forma general el proceso industrial propuesto, independientemente que en el último capítulo de este informe se presente el modelo general propuesto para la gestión de RSU de la CEDA.

En la actualidad, gran parte de los RSO de la CEDA son enviados al CdC de Bordo Poniente sin embargo el proceso empleado no genera un producto final con valor en el mercado y día a día se van sumando cientos de toneladas de “composta” de una calidad muy pobre sin destino final que están generando emisiones de GEI sin ningún tipo de control.

5.11.5 Descripción general del proceso industrial propuesto

Desde el punto de vista de procesamiento de los RSO de la CEDA por composteo y/o vermicomposteo, la inversión más grande corresponde a los terrenos a ser utilizados para este fin,

y para lo cual se puede optar por la renta de ellos²⁵; el segundo componente más costoso es la maquinaria para la preparación de la materia prima, como se describe más abajo en la etapas del proceso; debido a la diversidad de residuos y a las propiedades de cada uno, se usarán ambas técnicas el composteo y el vermicomposteo, su justificación se ha dado en las secciones correspondientes de este documento. La preparación de la materia prima (los RSO) es un paso común entre ambas técnicas y la selección del destino depende sus propiedades químicas y biológicas, ya que solamente se procesarán por vermicomposta aquellos residuos afines a éste proceso. Hay productos que deben ser composteados antes de ser vermicomposteados, de igual forma hay compuestos y otros desechos que deberán ser añadidos al proceso para mejorar el rendimiento como podría ser estiércoles de animales (zoológicos, hipódromos, establos, entre otros) y algunos compuestos inorgánicos como pomucita y calcita por mencionar solo algunos.

En esta descripción de los procesos, no se están considerando los costos de traslado de los RSO al centro de composteo (CdC) sino solamente los costos asociados al proceso mismo.

Las etapas del proceso –asumiendo que éstas se llevarán a cabo en el centro de composteo (CdC)– y que los residuos que se reciben son exclusivamente para ese fin, se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- a) Recepción de los RSO claramente identificados y seleccionados desde el origen.
- b) Clasificación primaria, por su tipo (frutas, verduras, hortalizas, flores, residuos cárnicos) y por su afinidad al tipo de composteo .
- c) Clasificación secundaria, recuperación de semillas de frutos grandes (aguacate, mamey, mango, entre otras). Las semillas de estos frutos, lavados serán vendidos a la industria cosmética y de medicina naturista.
- d) Exprimido, triturado y tamizado – en esta etapa se recuperan los jugos y los bagazos por separado. Esta selección está definida por el tipo de sustrato principalmente y que depende básicamente de su composición química.
- e) Trasvasado por medio de transportadores, de los jugos para su tratamiento mediante digestores anaeróbicos.
- f) Trasvasado de residuos sólidos secos y semisecos a composteo ó vermicomposteo, según aplique.

Estas etapas del proceso se llevan a cabo en un área techada de 2000 m², provista de ventilación, buena iluminación, en esta galera se encuentran las tolvas, trituradoras, mezcladoras y bandas transportadoras. Es una planta mecanizada semiautomática diseñada *ex profeso* para éste fin y cuenta con clima estabilizado a 12°C y humedad relativa por debajo del 70%, para reducir las posibilidades de fermentación de la materia prima.

²⁵ Como parte de este estudio se investigó la disponibilidad de terrenos en la Ciudad de México y se encontró en la delegación de Xochimilco al menos 20 Ha. Los propietarios están dispuestos a rentar sus terrenos para una aplicación como ésta de composteo.

5.11.5.1 Composteo

Las bandas transportadoras llevan la materia prima a ser composteada hasta el área cerrada destinada para este proceso donde se ubican los cilindros de 100 m³ de capacidad; de 4m de diámetro por 10m de largo²⁶, similares a los que se usan para la mezcla de concreto y con capacidad para 45 toneladas²⁷ de producto semiseco y triturado; dentro del cilindro se mezcla con un compuesto prefabricado que servirá de catalizador para el composteo. En el interior del cilindro hay un “tornillo de Arquímedes” que va transportando la mezcla hasta el final del cilindro. El tiempo de estancia de las cargas es en promedio de 45 días logrando temperaturas de 65°C en la fase termofílica, este cilindro cuenta con control de temperatura y humedad. El compost es recogido al final del proceso del cual sale por la parte inferior del cilindro, ya cribado en tamaños promedio de 1cm de diámetro, cae a una tolva que está conectada a la máquina que va llenando los sacos, ella misma los va cerrando y etiquetando o pueden ser enviados a la Lombricomposta según la instrucción que se le haya dado, por el programa de producción, origen de los residuos o requerimientos de substrato para la Lombricomposta.

Tanto en este proceso como en el de Lombricomposta, un laboratorio interno toma muestras de los lotes, los analiza y se emite un reporte del análisis el cual servirá para avalar la calidad y la aplicación más recomendable para el compost.

5.11.5.2 Vermicomposteo

Otra parte de los productos, los cuales por sus propiedades son seleccionados para el vermicomposteo, y posterior al triturado y exprimido, es enviado a las camas de lombricomposta en la cual hay una cama de tierra, una cama de compost del proceso de composteo y es ahí donde se depositan los residuos a ser tratados. Estas camas receptoras cuentan con un número específico de lombrices por m³ de sustrato que se depositan manualmente en los surcos previamente conformados. Una vez que los residuos son colocados, se cubren con tierra o compost y se les deja por un periodo de 45 a 60 días según la evolución del proceso para cada tipo de residuo. El área de camas de lombrices, está cubierta por “malla-sombra” al 60% , la base es de concreto con recubrimiento de membrana y preparación para la colecta de lixiviados, se cuenta también con un sistema de riego por aspersión para mantener la humedad óptima para el proceso y un sistema de drenaje para coleccionar el exceso de agua y los jugos lixiviados del proceso.

Una vez que el periodo de tiempo se ha completado, se recuperan por una parte los lixiviados, las lombrices son transportadas a otras camas y el vermicompost es analizado, clasificado y embolsado para su venta al igual que el té resultante.

²⁶ Los dibujos de los equipos y sistemas así como la distribución de la planta de composteo podrá estar disponible en 6 meses bajo solicitud.

²⁷ Equivalente al 50% de la producción diaria de RSO semisecos de la CEDA

5.11.5.3 Biodigestor

El producto resultante del proceso de exprimido de las frutas y verduras es enviado al biodigestor. Se estima que los volúmenes que se podrían obtener son del orden de los 400 m³ diarios y 320 toneladas. En esta línea de producción existirá un filtrado para que evitar que lleguen partículas mayores de 2mm al biodigestor, el resultado del filtrado será enviado a la composta o vermicomposta según sus propiedades.

Los biodigestores operarán a 60°C, y se contará con dos de ellos. Antes de que la biomasa entre al biodigestor se tomarán muestras y se analizarán para conocer su contenido de los principales compuestos que ayudan a la formación del metano. El alto contenido de azúcares y almidones de algunos de los jugos pueden generar una reacción inmediata de formación de alcoholes por lo que será necesario que el proceso desde el exprimido a su transporte a el biodigestor se haga en el menor tiempo posible. Como productos resultantes de este proceso se tendrá: Metano, CO₂, agua y una mínima parte de lodos residuales. El metano será quemado y por medio de una turbina se generará energía eléctrica y calor, este último será canalizado hasta los biodigestores para mantener la temperatura a 60°C.

5.11.6 Aspectos económicos de la tecnología del composteo y vermicomposteo.

Los montos estimados de inversión para el proceso de composteo y vermicomposteo, específicamente para el caso de la CEDA, incluyendo las maquinas transportadoras, exprimidoras y trituradoras es de \$ 3,950,000.00 dólares. Un análisis integral del proceso y de sus montos totales de inversión se encuentra en el capítulo de “diseño conceptual propuesto y estudio de pre-factibilidad”.

Este tipo de procesos requiere de grandes extensiones de terreno, se podría comparar al requerido por un relleno sanitario, la gran diferencia estriba en que en el relleno sanitario nunca se extraen los sólidos, por lo que es acumulativo y en estos procesos de composteo y vermicomposteo el producto resultante es extraído y vendido, es una fábrica en la cual, si la producción es constante y de una capacidad definida, el área requerida siempre será la misma.

Por lo anterior los montos de inversión son en terrenos, si se decide comprar, la maquinaria y equipo para la planta de producción de compost.

5.11.7 Aspectos económicos de la tecnología del biodigestor.

Los montos estimados para este proceso podrían ser del orden de los \$20 millones de dólares (\$260,000,000 de pesos). Este precio incluye todos los componentes del sistema y el sistema de acondicionamiento eléctrico.

Se podrá observar que la proporción de costos entre el composteo y el biodigestor es de 1:5 y esto es debido principalmente a que éste último requiere de equipo más sofisticado que no se fabrica en México.

5.11.8 Conclusiones sobre esta tecnología

El aprovechamiento inmediato de la “materia prima” que se genera en la CEDA, es la medida o estrategia más sustentable. Se puede decir con toda seguridad que la CEDA es una fábrica de materia prima para producción de compost de alta calidad y con características únicas. A través de esa materia prima se puede “diseñar” la composición del compost para la aplicación deseada, se puede predecir la relación C/N, es posible definir su concentración de otros elementos como el fósforo, potasio, calcio, por mencionar solo algunos. Es comparable a tener una droguería en la cual se puede formular el producto final con toda precisión, puede ser una fábrica de remediación de suelos, de abono orgánico certificado de muy alta calidad.

Working Document; Biological Treatment of Bbiowaste, 2nd. Draft)

Parámetros	Unidades	Método de referencia
Toma de muestra		UNE-EN 12579:2000
Determinación de cantidad	kg.m-3	UNE-EN 12580:2000
Preparación de las muestras		UNE-EN 13040:2001
Humedad	% sobre materia fresca	UNE-EN 13040:2002
Materia Orgánica Total	% (s.m.s.)	UNE-EN 13039:2001
Densidad Aparente	kg/m-3 sobre materia fresca	UNE-EN 12580:2000
pH (H2O) (Ext. 1/5)	unidades de pH	UNE-EN 13037:2000
Conductividad Eléctrica	mS/m	UNE-EN 13038:2001
Elementos solubles en agua	mg/L	UNE-EN 13652:2001
Elementos solubles en Cloruro cálcido/DTPA	mg/kg	UNE-EN 13650:2001
Nitrógeno	mg/kg (s.m.s.)	UNE-EN 13654 (parte 1 y 2)
Relación C/N		
Contenido en impurezas	% (s.m.s)	
Índice de respiración	mg O2/kg VS/h	ASTM D 5975-96
Actividad respirométrica a los 4 días (AT4)		
<i>Salmonella spp</i>	Ausencia en 25g de producto terminado	UNE-EN-ISO 6579
<i>Escherichia coli</i>	NMP por g de producto	ISO 7251
Metales pesados: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn		
Metales pesados: Hg	mg/kg (s.m.s.)	
PAHs	mg/kg (s.m.s.)	ISO 13877
PCBs	mg/kg (s.m.s.)	CD 10382
Frecuencia de análisis:		
a) Dos veces al año para plantas que producen en 500 y 1.000 t/año		
b) Para plantas que producen entre 1.000 y 10.000 t/año, cada tresmeses o cada 1.000 t de compost producido		
Para plantas de más de 10.000 t/año los controles deben ser manuales.		

Tabla 23 Parámetros de calidad, Unidades y referencia del método (CE 2001)

Capítulo VI

Gestión de residuos sólidos inorgánicos

6 Gestión de residuos sólidos inorgánicos

6.1 Introducción

De acuerdo a la información obtenida de la Administración de la CEDA, y del diagnóstico llevado a cabo por el equipo de trabajo, se sabe que el 20% de los residuos son inorgánicos (metales y vidrio principalmente) y de origen orgánico no alimenticios como el PET, artículos de piel, telas o la madera por mencionar solo algunos, todos estos se clasifican como inorgánicos ya que algunos no son degradables o biodegradables de forma inmediata.

Otros residuos identificados en las inmediaciones de la CEDA son los desechos de las demoliciones de construcciones, a los que se les denomina “cascajo” y que evidentemente éstos no corresponden a los RSU que genera la CEDA sino que son o han sido depositados por otros, sin ningún control por parte de la autoridad correspondiente.

#	Residuo solido	#	Residuo solido
1	bolsas de polietileno	26	cajas de plástico
2	vasos de unice	27	cinta de plástico
3	periódico	28	cucharas de plástico
4	botellas de PET	29	aluminio
5	costales de plástico	30	aserrín
6	platos de unice	31	hojas de papel
7	madera	32	servilletas de papel
8	cajas de cartón	33	cubeta de plástico
9	cartón	34	vasos de cartón
10	papeles	35	cables
11	tela	36	alambre
12	tetra pack	37	fierro
13	plásticos	38	termo
14	envases de vidrio	39	cartulina
15	cartón separador de huevo	40	papel higiénico
16	rañas	41	zapatos
17	“Unice” poliestireno	42	bolsas de PET
18	vasos de plástico	43	domos
19	latas	44	escoba de plástico
20	cajas de madera	45	Lonas plásticas
21	popotes de plástico	46	platos de plástico
22	bolsas de frituras	47	soga
23	separador de frutas	48	mezclilla
24	cesto de huano	49	contenedores de unice
25	bolsas de papel	50	ganchos de plástico para ropa

Tabla 24 Relación de RSI identificados en la CEDA

El objetivo del análisis de estos residuos en forma aislada es para proponer una solución por tipo de residuo identificando, como un paso antes de ser enviados a un relleno sanitario ó incinerador; indagar sobre las tecnologías existentes para su tratamiento de reciclado, recuperación o incluso

alternativas de reducción desde su origen, lo que constituye la base fundamental de la gestión de los residuos.

Es evidente que los RSU siempre han representado un reto para las sociedades y el caso de la CEDA es un ejemplo de ello, pero al mismo tiempo es un caso particular que se puede describir como “un laboratorio de pruebas” ya que esta “aislado” y de alguna manera está contenida en un “área de control”, lo que significa que es posible hacer modificaciones y probar cualquier tecnología y estrategia de gestión ya que cuenta con la mayoría de los elementos que encontramos en las ciudades: residuos sólidos que pueden ser separados y clasificados desde el origen, el aspecto social que juega un papel determinante para lograr esta meta, la autoridad local que tiene la capacidad para establecer reglas de operación, el servicio de limpia, entre otros. El otro elemento clave es formular las estrategias para reducir los volúmenes e incluso tratar de eliminar algunos de ellos.

6.2 Resultados del Diagnóstico de los RSI

Durante los meses de mayo y junio del 2012, se llevó a cabo el diagnóstico de los residuos sólidos de la CEDA de los cuales y en números redondos el 20% en volumen son inorgánicos. Este diagnóstico fue inicialmente cualitativo ya que en la primera etapa, lo más importante era conocer de qué residuos se trataba; posteriormente se hizo la evaluación cuantitativa mediante estimaciones para determinar cuáles residuos se presentaban con mayor frecuencia, de igual forma se indagó si había un patrón definido por tipo de residuos inorgánicos en relación al andén o secciones o si existía una variación de tipo de residuo en función al horario, día de la semana o cualquier factor externo que representase un modificador del patrón de generación de residuos.

Otro objetivo de las observaciones era el conocer la fuente de esos RSU, identificar posibilidades de modificación del patrón mediante la entrevista con el aportador y los locatarios próximos (usuarios) a los contenedores de los RSU e incluso con los pepenadores y visitantes de la CEDA.

En este análisis cualitativo, se identificaron un total de 50 tipos de residuos, mismos que se muestran en la tabla 23. Con esta información y la información de las hojas de campo de los técnicos, se construyó la gráfica de la figura 43. Esta gráfica muestra el número de veces o la frecuencia en que un RSI fue “observado” durante los recorridos de los técnicos; dependiendo del número de veces que se presentaban esos residuos en los contenedores o tirados en el suelo, a un costado de los contenedores, se hacía la anotación. Los valores reportados por los técnicos en sus hojas de campo, se corroboraron con las fotografías tomadas y de esa forma se validó el dato de la “frecuencia de presencia” de cada tipo de RSI. Por lo que de esta forma se generó una tabla con los tipos de residuo y la frecuencia con la que se presentó durante el periodo que duró el diagnóstico. Ejemplificando: residuos como “lonas plásticas” solo fue observado y reportado una sola vez por un técnico, no hubo más casos en todo el periodo del trabajo de campo en que se hubiese observado este producto ni en los contenedores ni fuera de ellos; el producto “cartón separador de huevo” fue visto y reportado 13 veces en diferentes horarios y días tanto dentro de los contenedores como fuera de ellos. Esta frecuencia de “avistamientos” generó la gráfica de la figura 43.

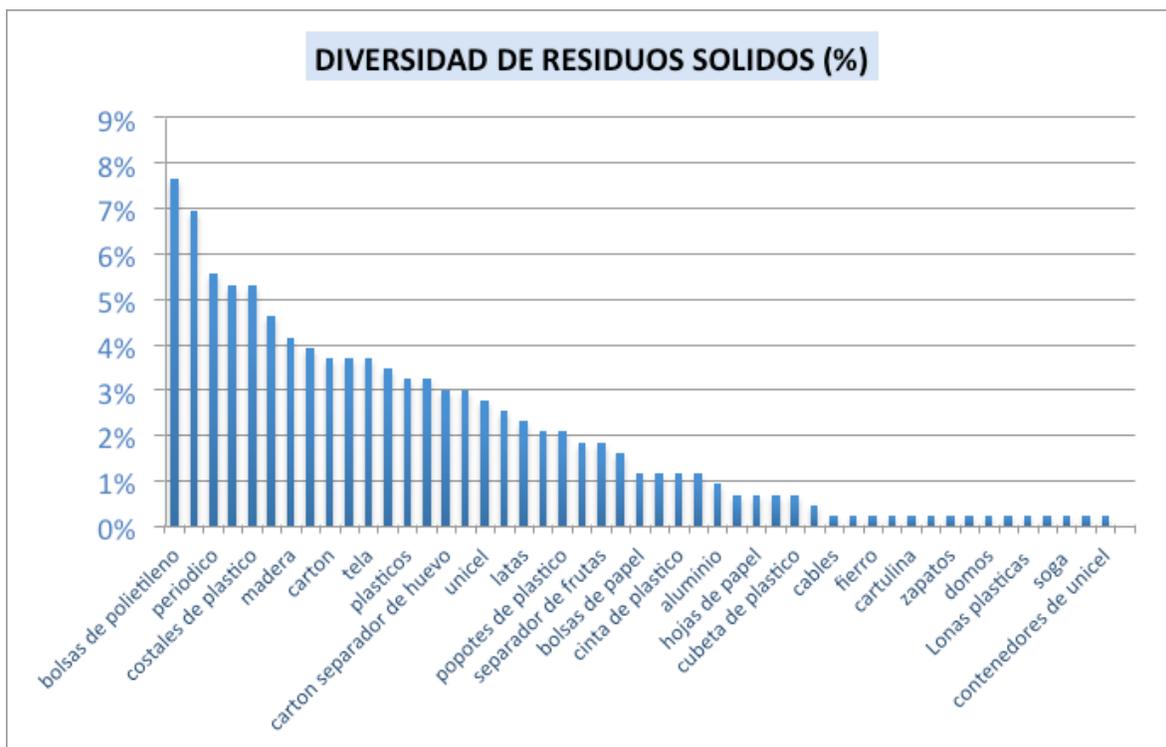


Fig. 37 Diversidad de los residuos sólidos inorgánicos y orgánicos no alimenticios

En la gráfica de la figura 43 se puede observar que dada la diversidad, el de mayor frecuencia representa un poco menos del 8% y los de menor frecuencia representan menos del 0.5%. Al momento que agrupamos estos residuos por sus características primarias (por ejemplo: papel, plástico, metales) encontramos que el mayor aportador de estos residuos es el plástico, seguido del papel, unice y madera. La tabla de la figura 44 se muestra la relación completa de residuos en su clasificación original.

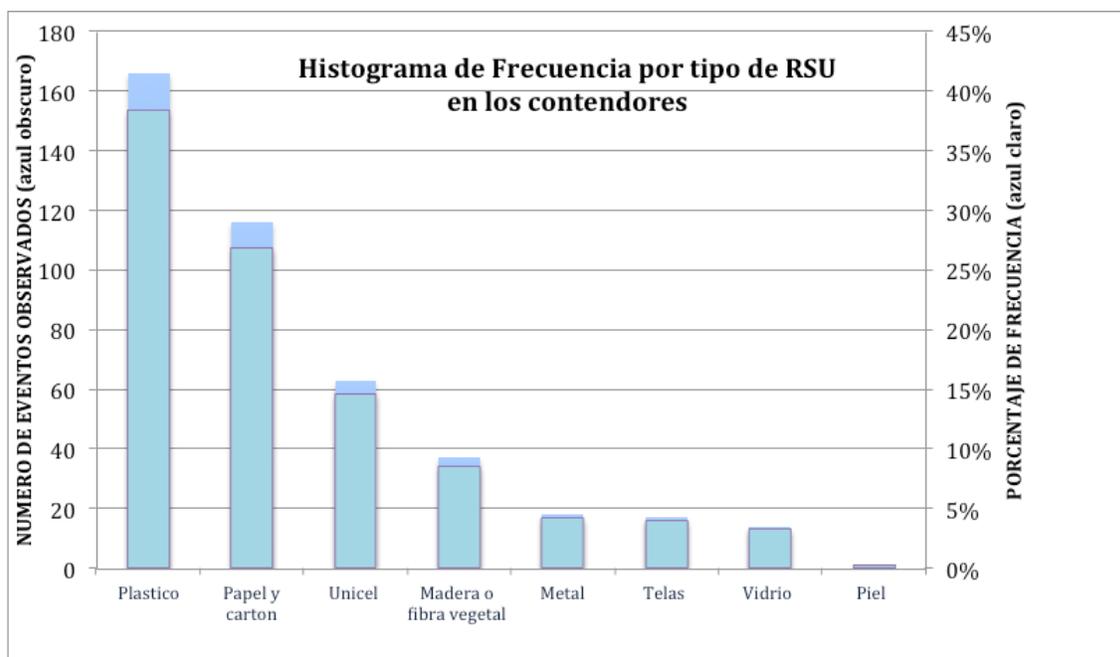


Fig. 38 Histograma de frecuencias por tipo de residuo

De la gráfica de la figura 38 se generó la gráfica de la figura 39, la cual muestra la participación por tipo de residuo genérico. Se observa que existen tres aportadores importantes que son el plástico en alguna de sus formas, el papel y cartón y el unicel. Si esto lo convertimos en peso representaría una mínima parte pero en cuestión de volumen y de impacto visual es muy alto (ver gráfica de la figura 40). El unicel lo conservamos independiente al “plástico” a pesar de ser parte de esa familia, para poder dimensionarlo y tenerlo presente en la búsqueda de soluciones prácticas para este residuo.

Los otros aportadores como son el vidrio, los metales y la madera no deberían de ser un problema, al igual que el papel y cartón, ya que estos productos encuentran un destino favorable en las recicladoras. Es probable que la pepena no prefiera la recolección de algunos de éstos debido a que están contaminados, lo que podría significar que la pepena es selectiva en cuanto a la calidad del producto.

Considerando la importancia tanto del volumen de los RSI como su peso, se consideró el peso específico de cada uno de estos materiales (plástico, papel, metales, vidrio, por mencionar los más comunes) y de esa manera considerar su verdadero impacto en el tonelaje de residuos a manejar. El resultado de ese análisis se muestra en la gráfica 40.

6.2.1 Origen de los residuos inorgánicos

De acuerdo a las observaciones llevadas a cabo por los técnicos, la mayor parte de los RSI de la CEDA son generados por los mismos usuarios, sin contar con números precisos, se estima que entre el 70% y 80% proviene de los usuarios y el restante lo generan los compradores, proveedores, transportistas y visitantes. Gran porcentaje de estos residuos son material de empaque, desecho de las mercancías que llegan y principalmente al área de abarrotes.

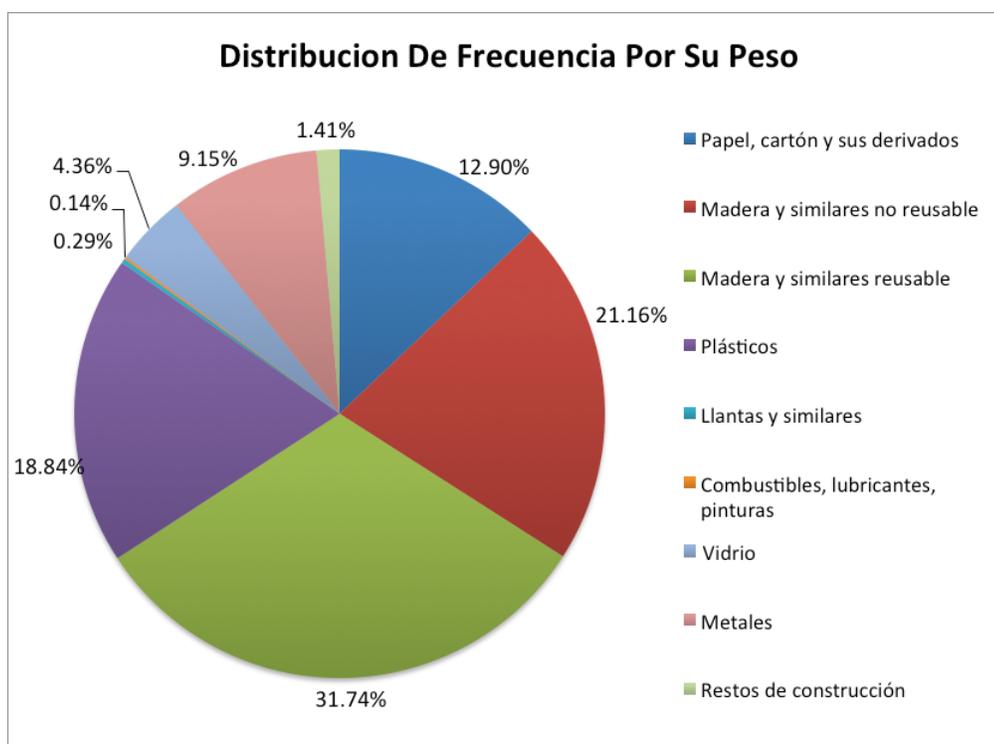


Fig. 39 Grafica de distribución de frecuencias por peso

6.2.1.1 Bolsas de polietileno

Las bolsas de polietileno que tienen un alto impacto visual, provienen en su gran mayoría de los externos que llevan sus residuos a los contenedores, probablemente por una deficiente recolección de residuos en su lugar de origen. Otra fuente de este tipo de residuos son los proveedores de alimentos dentro de la CEDA que entregan las mercancías en este tipo de bolsas. En la mayoría de las veces las bolsas fueron encontradas vacías lo que no hace pensar que llevaban sus residuos y fueron depositados en los contenedores.

6.2.1.2 Botellas de PET, envases similares y otros plásticos

En la CEDA hay venta de alimentos preparados prácticamente todo el día lo que ayuda a la generación de envases de esta naturaleza. De igual forma los transportistas y visitantes son otra fuente de envases de PET o similares. Este componente se encontró en todos los andenes

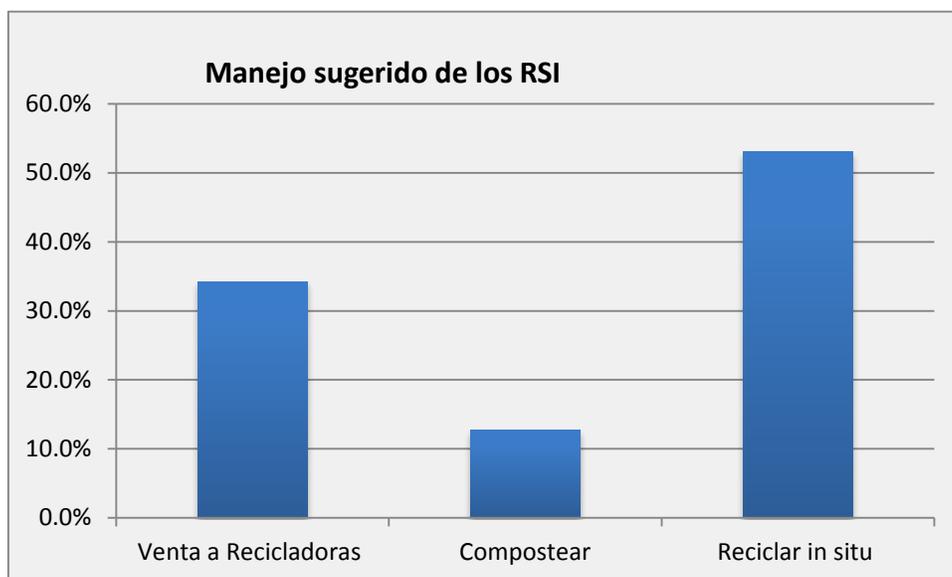


Fig. 40 Manejo sugerido de los RSI de la CEDA

invariablemente y es poco probable que los pepenadores estén comercializándolo o que el volumen sea tan alto que la pepena sea selectiva.

Otro de los componentes de mayor impacto son los otros plásticos como los cubiertos desechables cuya fuente se ubica en los vendedores de alimentos preparados

6.2.1.3 *Cartón y papel*

Este tipo de residuo proviene principalmente de las cajas de embalaje de los productos que se comercializan en la CEDA, tales como cajas, protección y separador de los huevos, papel de envoltura, papel periódico, revistas y folletos publicitarios fue lo más probable de encontrar. Las cajas de cartón son muy apreciadas por lo pepenadores, no así los separadores de las cajas de huevo.

6.2.1.4 *Envases de vidrio*

En el 40% de las observaciones²⁸, se encontró vidrio en los contenedores, pasillos y andenes de la CEDA. Siendo un producto apreciado por las recicladoras, es probable que se trate del residuo de una pepena más selectiva. Su origen está en la venta de alimentos, los locatarios desechan estos envases donde vienen los alimentos que venden. Otra fuente de estos residuos son los visitantes y transportistas.

6.2.1.5 *Unicel – poliestireno*

Hay dos fuentes principales de este tipo de residuo, los proveedores de alimentos preparados que desechan platos y vasos de unicel principalmente y los locatarios que desechan empaque de equipos frágiles que llegan protegidos con este material. Debido a que no hay una recicladora que pague por

²⁸ Tomar en cuenta que la suma total de estos porcentajes no sumará 100% ya que lo que se mide es la frecuencia del total de las observaciones para cada producto identificado, y es equivalente a decir: en 4 de cada 10 observaciones reportadas se encontró ese producto.

este residuo de forma importante, no es sujeto de pepena. Su peso específico es muy bajo lo que hace que su volumen es el que genera el impacto visual de forma importante. En el 38% de las observaciones fue reportado.

6.2.1.6 Madera

La mayor parte de la madera proviene del embalaje de frutas y legumbres, se conocen como “huacales” y estos son reciclados y reutilizados en la CEDA, sin embargo existe una porción no aprovechada que permanece en los contenedores. Otros residuos de éste material son eventuales y fortuitos. A pesar del valor comercial que tiene este tipo de envases, se encontró en el 47% de las observaciones.

6.2.1.7 Metales

Entre los productos que fueron identificados bajo la denominación de metales se encuentran las latas de aluminio de bebidas, alambres y cables eléctricos. La frecuencia de este componente fue muy baja: en el 26% de las observaciones se encontraron latas de aluminio y en el 2% otros elementos como cables y alambres. Este componente tiene un alto valor en el mercado lo que llama la atención que no hayan sido recolectados.

6.2.1.8 Telas y piel

Dadas las características de los residuos encontrados se puede decir que son desechos fortuitos y muy probablemente de los mismos locatarios, visitantes o transportistas que se deshicieron de cosas personales. No se pueden considerar como elementos relevantes pero si deben de ser considerados para su manejo futuro.

6.3 Manejo sugerido de los RSI

De los residuos sólidos inorgánicos identificados consideramos que el 34.3% puede ser enviado a las recicladoras tradicionales lo que incluye, el vidrio, metales, cartón y papel. El 12.7% es susceptible a ser enviado a la composta en caso de que no sea posible su reciclaje como son las cajas de madera principalmente. El restante 53% deberá de ser reciclado in situ y que corresponde a las bolsas de polietileno, costales de PET, cubiertos desechables de plástico y de unicef como los más representativos.

6.3.1 Estrategias sugeridas para la reducción de los RSI de la CEDA.

Existen experiencias valiosas por comentar en esta sección de estrategias para la reducción de RSI. Es común pensar y muy válido, que el cambiar la conducta de la sociedad no es una cuestión sencilla, aquellos que lo han logrado, y específicamente en el tema de RSU, dejan su huella ecológica positiva como es el caso de la eliminación de las bolsas plásticas en las tiendas de hamburguesas norteamericanas promovido por la organización Environmental Defense, y hasta fecha y en todo el mundo no se usan las bolsas plásticas en esas tiendas y no es una ley internacional. Con esto queda claro que se deben de buscar los mecanismos para hacer que las cosas sucedan más que pensar en

que no se pueden lograr o adelantarse a pensar lo que la gente va a rechazar, siempre existe una forma para lograr una meta que está bien fundamentada.

Después del Diagnóstico de los RSI llevado a cabo, se considera que se pueden implementar medidas “de ajuste” desde la generación de los residuos y de esta manera reducir la carga ambiental que éstos representan. Las medidas aquí plantadas en forma general, forman parte de la estrategia o plan de manejo de los RSU de la CEDA que se propone en el capítulo VIII.

Una de las estrategias en la gestión de residuos es la reducción o el evitar que se generen desde el origen. Para ello se presenta a continuación, un análisis de los principales residuos y la estrategia propuesta para cada uno de ellos, poniendo especial atención en aquellos en los que su manejo posterior resulta un problema más complejo.

6.3.1.1 Plásticos provenientes de alimentos preparados

Estos plásticos son principalmente clasificados con los números 1, 3,4 y 5 según la tabla de la figura 64. Su reciclaje es factible siempre que se puedan separar apropiadamente, se puedan lavar o evitar que se contaminen y que se logren volúmenes convenientes para que sea rentable el proceso. Dado que estas condiciones son poco probables o implica un manejo especial y costoso, la estrategia debe ser encaminada a la sustitución lo que implica la eliminación en el uso de todos o algunos de ellos y en la medida de lo posible.

6.3.1.2 Unicel

Entre las estrategias que se proponen para lograr la meta de reducción de plásticos dentro de la CEDA y particularmente el unicel (poliestireno) usado en los envases desechables por los expendedores de alimentos preparados, se proponen las siguientes acciones, con las que se pretende eliminar el unicel de la CEDA. Es claro que se debe de considerar como un proceso de cambio paulatino pero es factible de lograr.

- a) Se debe de sustituir el unicel por envases que sean biodegradables. El costo adicional que esta medida puede implicar se podrá amortizar con los costos asociados al manejo de este residuo y los costos ambientales. Actualmente en el mercado éste tipo de envases son más costosos con factores de entre 1.15 a 1.50 sobre el costo de los otros de Unicel. (15% a 50% más caros que el unicel). Hay quienes piensan que ésta medida es imposible de implementar, sin embargo hay casos exitosos en Venezuela.
- b) Será necesario que se lleve a cabo un concurso con las empresas proveedoras de estos productos con el fin de que la selección sea transparente y que se hagan compras por volumen con lo que podrá lograr un mejor precio.
- c) Esta medida podrá motivar a los fabricante de platos y vasos desechables a que creen una línea de productos biodegradables.

- d) La empresa a quien se le concione²⁹ el manejo de los RSU de la CEDA será quien deba llevar a cabo estas negociaciones y acuerdos comerciales.
- e) Es posible que la misma empresa concesionaria, pague el diferencial, ya que finalmente el beneficio sería para la misma empresa al tener material biodegradable y no material que representa un problema su gestión.
- f) Esta medida puede generar que los volúmenes de compra de material desechable biodegradable aumente y que el precio en el mercado tienda a bajar.
- g) Considerar la alta probabilidad de resistencia al cambio pero al final, será más barato el tratamiento de los biodegradables que los actuales de unicef.

6.3.1.3 PET, HDPE, LDPE

Este tipo de plásticos es 100% reciclable pero puede resultar difícil reducirlo, ya que su uso está muy extendido y sus volúmenes son bajos como para hacer rentable otras opciones como la sustitución. A pesar de lo anterior es factible que se establezcan almacenes temporales de este tipo de residuos para al manejar volúmenes considerables y que resulte más rentable que la venta de bajo volumen.

NUMERO	ABREVIATURA	NOMBRE
1	PET, PETE	Polietileno tereftalato
2	HDPE	Polietileno de alta densidad
3	PVC	Cloruro de polivinilo
4	LDPE	Polietileno de baja densidad
5	PP	Polipropileno
6	PS	Poliestireno
7	otro	

Tabla 25 Clasificación de los plásticos

6.3.1.4 PVC, polipropileno y otros plásticos

El reciclaje de estos plásticos puede resultar problemático en volúmenes muy bajos y más aún si están contaminados con otros productos. Parte de estos productos son la materia prima de platos y vasos desechables que se podrán reducir y hasta eliminar siguiendo la misma estrategia que para el unicef.

²⁹ Dentro de las estrategias planteadas en este estudio se ve como la mejor alternativa que sea una empresa concesionada quien se haga cargo del manejo de los RSU de la CEDA. En el capítulo VIII, se presenta la propuesta mas desarrollada.

6.3.2 Planteamiento para el reciclaje de los RSI de la CEDA.

Entendiendo como reciclaje la acción de recuperar la materia prima y transformarla en un nuevo producto, en esta sección se analizó cada uno de los productos o conjunto de productos por su afinidad y se proponen medidas para lograr el máximo beneficio para la CEDA.

6.3.2.1 Vidrio, metales, Papel, cartón y sus derivados

Estos productos son 100% reciclables y con alto valor en el mercado, su precio de venta depende de la preclasificación y la limpieza (léase calidad) con la que se entregue a las recicladoras. Por lo que se deben de implementar las medidas para que todo este tipo de productos sean separados adecuadamente, consolidados en sitios de almacenaje temporal antes de ser enviado a las recicladoras, más que a los recolectores intermediarios.

6.3.2.2 PET, HDPE, LDPE

Este tipo de plásticos es 100% reciclable por lo que en caso de que no se pueda reducir, la medida de control y aprovechamiento es que se deberá contar con contenedores expresamente dedicados a estos y el mismo equipo que se hace cargo de supervisar³⁰ los contenedores es quien vigile que sean depositados estos residuos en el sitio que le corresponde.

El polietileno, es igualmente reciclable pero se requiere que esté lo más limpio posible, de ahí la importancia del equipo de trabajo de la empresa que verifique que estos residuos no se contaminen. Este polietileno puede llegar a ser utilizado para la fabricación de contenedores para los residuos ya sea mediante la adquisición de la maquinaria o bajo un convenio con las empresas que fabrican contenedores con esta materia prima a través de la técnica de roto-moldeado o incluso los fabricados de forma artesanal como se muestra en la figura 42 la cual también da un claro ejemplo de las posibilidades de la creatividad cuando se tiene la voluntad de la búsqueda de soluciones. Esta empresa familiar ubicada en Michoacán, vende sus productos en “Mercado Libre”, el bote compostero de la figura 42, tiene un costo de \$1,200.00³¹ lo que claramente nos indica que es un precio muy competitivo y favorable para el reciclador quien recibe la materia prima de forma gratuita.

³⁰ Esta medida corresponde a las acciones que debe de implementar la empresa a quien se le concesionen los RSU de la CEDA

³¹ Pesos mexicanos al 17 julio 2013



Fig. 41 Bote para vermicomposta fabricado con polietileno reciclado. (Mercado Libre)

6.4 Conclusiones de este capítulo

La aplicación de medidas de reducción, control, reciclaje de este tipo de residuos es factible y las medidas que se lleguen a implementar son autofinanciables con la venta de los residuos si esto se lleva a cabo de forma coordinada y bien administrada.

Se entiende que la misión de la CEDA no es administrar los residuos sino los productos y es por esa razón que la mejor estrategia es que la CEDA concesione esa actividad a una empresa privada que vea los beneficios que representan esos residuos mal ubicados y mal aprovechados hasta ahora.

Es muy probable encontrar opiniones negativas y escépticas en cuanto “al cómo”, sin embargo hay ejemplos claros que se han mencionado en este documento que demuestran que si es posible cuando hay voluntad y determinación para lograrlo, ya sea como una política pública o como una iniciativa personal o de alguna organización social.

Cada vez es más común encontrar organizaciones sociales locales dispuestas a reciclar los desechos plásticos y en las escuelas técnicas y universitarias es cada vez más común encontrar trabajos realizados en esta dirección.

Capítulo VII

Diseño conceptual propuesto para la implementación del proyecto y estudio de prefactibilidad

7 Diseño conceptual del modelo propuesto y estudio de prefactibilidad

7.1 Introducción

En este capítulo, se resumen las conclusiones de todo el estudio y se presenta la propuesta específica para la gestión integral de residuos sólidos de la CEDA, es una recapitulación de la información que contienen los 7 capítulos anteriores, siendo éstos la justificación de estas conclusiones.

Este diseño conceptual ha sido pensado con una visión sustentable, lo que implica por sí mismo como una solución de largo plazo con beneficios ambientales muy considerables además de cumplir con los demás requisitos de sustentabilidad que se mencionaron en el objetivo general del presente estudio.

Los residuos sólidos urbanos de la Central de abasto del Distrito Federal es *materia prima* que con un manejo adecuado representará no solo una fuente de ingresos económicos para La Empresa Implementadora del Proyecto (LEIP), sino también para la CEDA y el conjunto de pepenadores y trabajadores informales que viven de esos residuos actualmente.

Tecnologías como rellenos sanitarios es la conservación de residuos para un beneficio económico marginal en el largo plazo; la incineración es una tecnología que acepta todo clase de residuos por lo que en el largo plazo desmotiva el reciclaje y la reducción de RSU, elimina toda oportunidad de aprovechar la materia prima para otras aplicaciones que no sea la generación de energía y calor;

Se reconoce que el reto es enorme y principalmente para el tema social, pero es igualmente factible si se tiene la voluntad política para lograrlo. Las barreras ahí están, algunas de las estrategias aquí se proponen y la persona apropiada para su implementación es el elemento clave para demostrar como si es posible hacer cambios sustanciales en el manejo de los residuos de una ciudad.

Este estudio de prefactibilidad, demuestra con números reales que si es viable la implementación de acciones sustentables, pero se sugiere un estudio más detallado y concienzudo para que el proyecto pueda ser “vendido” a inversionistas que deseen invertir en un negocio nuevo en México y que en los años próximos sea el común denominador en las ciudades, mercados, delegaciones y municipios, por una razón: es sustentable en todos los ámbitos.

7.2 LA CEDA en Contexto

La Central de Abasto de la Ciudad de México es el centro mayorista de alimentos más grande del mundo, se manejan cifras superiores, incluso, que la Bolsa Mexicana de Valores; en el mes de noviembre del 2012, cumplió 30 años de dar servicios a una gran parte del territorio mexicano.

El 22 de noviembre de 1982, la Central de Abasto (CEDA), es inaugurada por el entonces presidente de la República, el Lic. José López Portillo, con el objetivo de ofrecer un servicio mejor y más operativo para la comercialización de los productos alimentarios, brindar el abasto suficiente a la población y sobre todo, generar una unión entre comerciantes, mayoristas y detallistas.

La Central de Abasto no nació solo con ese fin, antes ya existía un mercado, el cual tenía esa labor, pero con el tiempo y la creciente urbanidad, fue insuficiente: El mercado de “La Merced”, el cual aún en estos días sigue existiendo. La Merced, toma su nombre gracias al barrio en donde se localizaba y comienza con la aparición de la Congregación de Religiosos Calzados de la Merced, el 8 de septiembre de 1602, en el entonces recién construido convento de La Merced. Pero antes de llamarse así, el barrio recibía frecuentemente el nombre de “lecherías”, porque ahí se concentraba el comercio y distribución de este producto.

Diariamente a la Central de Abasto llegan aproximadamente 480 mil visitantes; se comercializan más de 30 mil toneladas de alimentos y otros productos, lo que representa el 80% de lo que se consume en la Ciudad de México, zona conurbada y estados circunvecinos, aproximadamente más de 25 millones de mexicanos se surten en éste mercado; atiende a más de mil 500 puntos de venta, entre mercados públicos, itinerantes y tianguis, 380 establecimientos de 15 cadenas de autoservicio, así como algunos otros locales y “tienditas de la esquina”; convirtiéndose por todos estas cantidades de distribución y venta, en la Central de Abasto más grande del mundo, pero sobre todo, competitiva, ya que los precios que en ella se manejan, son muy bajos, gracias a que existen razones muy sencillas, algunos comerciantes son productores y mayoristas al mismo tiempo, de esta manera es muy difícil igualar los precios tan bajos entre cadenas comerciales.

Sin embargo, muchos de ellos son sólo distribuidores mayoristas. Estos compran cantidades exorbitantes de mercancía a los productores y/o fabricantes. Por ello consiguen precios realmente bajos que ningún otro canal de ventas pudiese conseguir.

La Central de Abasto, es un centro enorme para la generación de empleos, 70 mil fuentes directas quienes atienden al gran número de visitantes diarios a las 304 hectáreas con las que cuenta la CEDA, en ellas se localizan más de 3 mil bodegas de frutas, legumbres y abarrotes, además de mil 500 locales con más de 60 giros diferentes, así como áreas de servicios complementarios como frigoríficos, bodegas de transferencia, zona de pernocta y estructuras helicoidales. Los mercados de flores y hortalizas tienen una extensión de 16 hectáreas, y el de Productores con una superficie de 10 hectáreas con ocho andenes techados y 600 cajones para camiones de carga. El área de pernocta se localiza en un área de 5 hectáreas, con una capacidad para albergar 650 vehículos de carga con todos los servicios. Un mercado tan grande es de pensar en la cantidad de desechos sólidos que genera a diario, una cantidad promedio aproximada son 700 toneladas, las cuales son recolectadas y enviadas a una planta de transferencia del Gobierno de la Ciudad, ubicada,

también, dentro de la Central de Abasto.

Por todo esto, la Central de Abasto es uno de los centros más importantes del mundo para el comercio de productos alimenticios, y por sus 30 años de vida, es merecido su reconocimiento, gracias a la participación de sus comerciantes y visitantes, los cuales en conjunto han logrado que la Central de Abasto siga manteniéndose en un lugar excepcional.

7.3 La situación actual de los RSU de la CEDA

En resumen y como punto de partida para la implementación del plan propuesto se enumeran las siguientes condiciones en forma descriptiva mas no limitativa.

1. Los residuos sólidos inorgánicos son parcialmente recuperados por los pepenadores y vendidos a los centros de acopio cercanos a la CEDA
2. Otra parte de los residuos inorgánicos, que se encuentran contaminados, en mal estado (como los huacales) o que no tienen un valor comercial elevado, son depositados en el piso, en contenedores de los RSO o en las inmediaciones de la CEDA
3. Vecinos y visitantes depositan su basura en forma furtiva en las inmediaciones de la CEDA y en contenedores ubicados en los andenes.
4. Residuos no clasificados o no bien separados, no son aceptados en la central de transferencia lo que ha generado un problema de importancia para la CEDA (esta condición ha sido parcialmente superada con la nueva Administración)
5. Los residuos orgánicos pueden ser parcialmente aprovechados antes de que lleguen a el sitio de disposición final.
6. Parte de la solución prevista está en el control desde el origen
7. Falta de personal para asegurar que se separen apropiadamente los RSU
8. Falta de contenedores y falta de agilidad para su descarga
9. Contenedores muy grandes en algunos casos

7.4 La selección de las tecnologías para la CEDA

Del estudio realizado de las tecnologías, se seleccionaron aquellas factibles de utilizar, que han tenido mayor éxito en el mundo y/o que están dentro de rangos razonables de inversión, consideramos rangos razonables de inversión aquellos que desde un punto de vista de costo-beneficio resultan ser los mejores.

Se ha preparado el siguiente análisis concluyente, que se base en la tabla 26. Las soluciones tecnológicas recomendables por ser las más sustentable y que tienen costos de implementación razonablemente factibles son:

1. Reciclaje de los RSI – tanto como sea posible, la selección desde el origen e implementación de estrategias para aumentar su calidad, se deberá de implementar. Los RSI no factibles de aprovechar serán enviados al RS.

2. Los residuos sólidos orgánicos deberán ser seleccionados según su aprovechamiento futuro, los que apliquen, serán exprimidos y triturados para optimización de procesos y de ahí:
- Los jugos se enviarán a un biodigestor para la obtención de biogás y posteriormente su conversión a calor y energía eléctrica.
 - Los semisólidos aptos para vermicomposta se envían a esta sección de la planta de procesamiento.
 - Los RSO restantes serán a la línea de máquinas compostadoras.

#	Tecnología	Ventajas	Desventajas
1	Rellenos Sanitarios (RS)	El relleno sanitario acepta toda la clase de RSU con variaciones diarias de volúmenes .	<ul style="list-style-type: none"> • Una vez que se llena el RS se deberá de habilitar otro más. • La producción de biogás es incierta en producción diaria, anual y total. • Se requieren grandes extensiones de terreno.
2	Incineración-Gasificación (Combustión)	Generación de energía eléctrica y calor. Acepta toda clase de RSU, sin limitaciones. Requiere de poco espacio comparado con los RS.	<ul style="list-style-type: none"> • La mezcla y cantidad diaria a procesar de RSU debe conservarse para el cual se diseñó el sistema. • Su costo inicial es muy elevado. • Humedad máxima permisible en el sistema 20% a 25% (dependiendo del sistema)
3	Plasma	Ídem anterior + como sub productos se pueden generar hidrocarburos. Requiere de poco espacio comparado con los RS.	<ul style="list-style-type: none"> • Ídem caso anterior. + • Pocos casos reportados.

#	Tecnología	Ventajas	• Desventajas
4	Biodigestión	Producción de metano y generación de calor y energía eléctrica. Requiere de poco espacio comparado con los RS.	<ul style="list-style-type: none"> • Solo aplica para RSO. • Pocas experiencias reportadas con RSO, mayormente utilizados para excretas de animales y otros residuos de la agricultura.
5	Composteo y vermi-composteo	Aprovechamiento de las propiedades de los RSO reincorporables a suelos, alto valor de venta. Muchas experiencias internacionales reportadas. Espacio requerido es constante para la producción de diseño, nunca hay que cambiar de sitio ya que la materia procesada sale de la planta de producción. Se pueden incorporar otros residuos como las excretas de animales de zoológicos y biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.	<ul style="list-style-type: none"> • Solo aplica para RSO. • Espacio requerido similar a los RS

Tabla 26 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas por tecnología

#	Tecnología	Conclusiones
1	Rellenos Sanitarios	Aplica solo para algunos de los RSI aunque su capacidad para generar metano en el largo plazo sea mínima o nula
2	Incineración-Gasificación (Combustión)	Por el % de humedad que contienen y por su bajo volumen no se justifica una planta incineradora para los RSU de la CEDA.
3	Plasma	Si se reúnen los RSU de otras delegaciones y se decidiera la incineración de todo el conjunto la planta incineradora tendría justificación, su inconveniente es que desmotiva el reciclaje, la reducción y la reutilización de los recursos naturales no renovables.
4	Biodigestión	Esta tecnología aplica para los líquidos, producto del exprimido de las frutas y verduras. Estos líquidos será estabilizados antes de entrar al biodigestor. (volumen aproximado: 300 m ³ /día, aproximadamente 270 t/día)
5	Composteo y vermi-composteo	Ambas tecnologías fueron seleccionadas para ser aplicadas según el tipo de residuos. El composteo se llevaría a cabo en contenedores cerrados pero aireados y con movimiento lento pero continuo. Vermicomposteo se llevaría a cabo en patios protegidos, con recuperación de lixiviados. (aproximadamente 100 t/día)

Tabla 27 Resumen de conclusiones de cada tecnología

7.5 Los beneficios esperados por la implementación del proyecto

Además de los beneficios ambientales, de salud pública, de imagen y de aprovechamiento de los RSU de una forma sustentable consideramos los siguientes beneficios colaterales:

- a) Modelo a seguir para otras centrales de abasto. Este modelo, una vez demostrada su viabilidad y se haya implementado, podrá ser reproducido en otras centrales de abasto del país.
- b) En escalas similares pero con otras estrategias adicionales, el modelo puede ser reproducible a través de asociaciones civiles, delegaciones del DF, municipios y comunidades rurales.
- c) Es un proyecto que puede dar beneficios secundarios como las alianzas con usuarios de RSU que tienen la capacidad del reciclaje o de reutilización.
- d) En otra escala, el modelo puede ser “exportable” a otros países latinos.

7.6 Descripción general del proceso propuesto

7.6.1 Clasificación de los RSU por clase para su máximo aprovechamiento

Los residuos son separados y clasificados desde el origen (bodegas) y son transportados a contenedores de no más de 500 kg de capacidad los cuales son transportados frecuentemente a un centro de selección y clasificación obteniendo así diferentes categorías o clases de residuos, a saber:

1. **Clase A:** aún son aptos para consumo humano. Se transportan, conservan en refrigeración y se redistribuyen a través de las asociaciones civiles, grupos humanitarios y directamente a los centros y albergues de personas en situación de desventaja, entre otros.
2. **Clase B:** son aptos para consumo humano pero requiere de un proceso. Se transportan, se procesan y se venden o se conservan en refrigeración y se redistribuyen, bajo el mismo criterio de la Clase A.
3. **Clase C:** son aptos para consumo animal. Se transportan, conservan en refrigeración y se redistribuyen a las fábricas de alimento para animales, zoológicos, albergues de animales en situación de desventaja, entre otros.
4. **Clase D:** son aptos para consumo animal pero requiere de un proceso. Se transportan, se procesan, se conservan en refrigeración y se redistribuyen, bajo el mismo criterio de la Clase C.
5. **Clase E:** Se deben triturar y separar los líquidos de los sólidos. Los sólidos se envían a la composta o lombricomposta y los líquidos al biodigestor.
6. **Clase F:** son residuos inorgánicos que deben reclasificarse. Se separan trituran, embalan y transportan a los centros de reciclaje, de acuerdo a la estrategia para cada uno.

Todos los RSU son transportados al centro de composteo y biodigestión, a los centros de reciclaje de la Ciudad de México, y al RS, según aplique, todos los días en un programa logístico eficiente que favorece la calidad del residuo, evita su contaminación y asegura que la CEDA se conserve limpia.

Una representación esquemática de esta estrategia se muestra en la figura 28. Nótese que el contenido de agua de los RSO es variable, pero puede llegar a representar hasta un 55% del total de los residuos. Esta cantidad de agua es la “extraíble” por medio del proceso de “exprimido” o extracción mecánica. Este paso en el proceso ayudará a un mejor aprovechamiento de las propiedades de cada tipo de residuo.

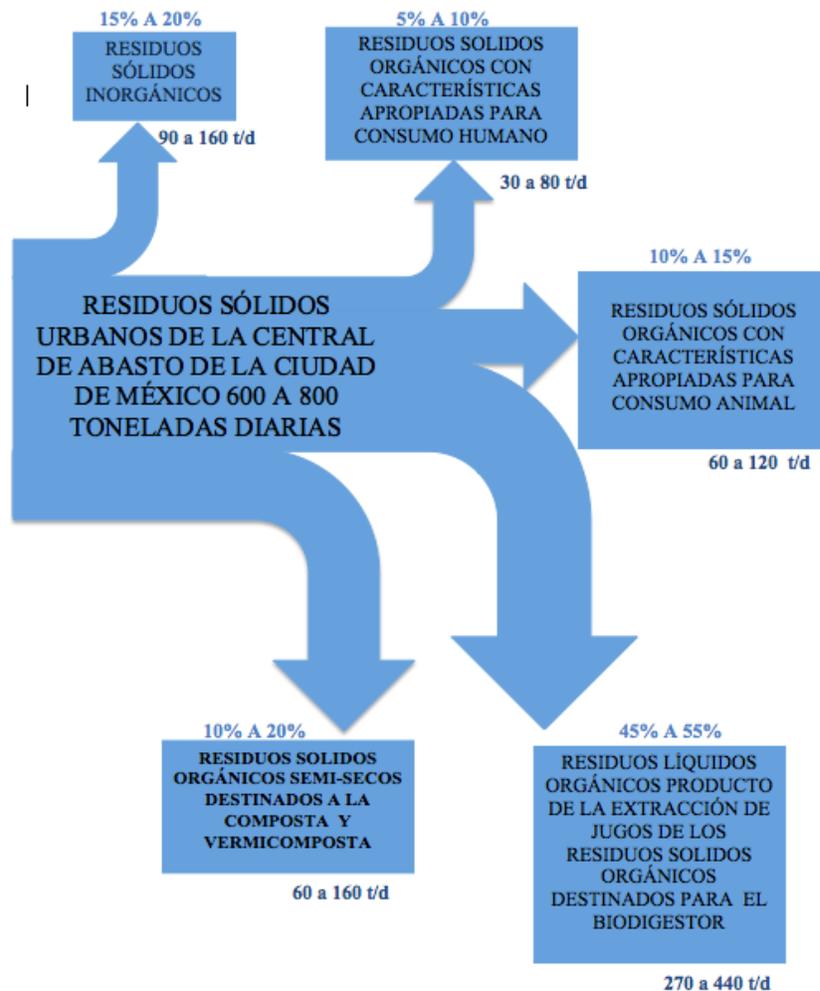


Fig. 42 Distribución propuesta de los RSU de la CEDA

7.7 Plan de manejo propuesto para los RSU de la CEDA

7.7.1 Introducción

Para lograr lo que se muestra en la figura 28, se requiere de un plan de acción. Este plan de acción debe ser elaborado con una visión de negocio para que tienda a ser sostenible en el corto plazo. Para esto se requiere que la empresa vea a esos recursos como la materia prima y a la CEDA como el proveedor de los recursos a aprovechar; esta es una fuente de recursos naturales renovables y por lo mismo, permanente, y muy probablemente creciente en cuanto a volúmenes. Por lo anterior, se requiere la elaboración de un plan de negocios.

7.7.2 Elementos funcionales del sistema de manejo de RSU

- A. **Generación de residuos** – Esta etapa comprende las actividades en las cuales los materiales se identifican como productos sin valor y son colocados en los depósitos de residuos, etapa de identificación y clasificación.
- B. **Manejo, separación, almacenaje y procesamiento** Desde la fuente de generación – Esta etapa incluye las actividades asociadas con el manejo de residuos hasta que estos son colocados en contenedores para su recolección. La separación de los residuos es un paso importante en esta etapa, ya que eso reducirá costos de manejo futuros.
- C. **Colecta de los residuos** – La colecta incluye dos pasos importantes por si mismo, el reunir los residuos y siendo previamente clasificados una parte podrá ser enviada a los centros de reciclaje (RSI clasificados, composteo, vermicomposteo y biodigestión) y otra parte al RS. .
- D. **Transferencia y transporte** – la actividad de transferencia y transporte incluye dos etapas:
 - a. La transferencia de residuos desde los contenedores pequeños a los sitios de transferencia y
 - b. El subsecuente transporte en vehículos de gran tonelaje generalmente recorriendo grandes distancias.
- E. **Separación, procesamiento y transformación de los RSU** – en esta etapa se lleva a cabo la recuperación de aquellos residuos que puedan ser enviados a las recicladoras por lo que implica una etapa de separación, clasificación y transporte. La transformación se refiere a la compactación, triturado, composteo, vermicomposteo, biodigestión.
- F. **Disposición final.** Esta etapa varía en función de la etapa por la que hayan pasado los residuos anteriormente pero en términos generales implica su ubicación en los rellenos sanitarios para los que ya no tienen ninguna forma de ser aprovechados y en caso de los RSO serán enviados a las plantas de composteo, vermicomposteo, biodigestión; los RSI reciclables se irán a las plantas recicladoras por especialidad.



Fig. 43 algunos modelos contenedores a ser usados en la etapa de separación desde el origen

7.7.3 Visión a largo plazo

La visión a futuro de la operación de la empresa a cargo de los residuos de la CEDA a la cual la denominaremos *La Empresa Implementadora del Proyecto* (LEIP), deberá de tomar control de todas las acciones para asegurar el éxito de ésta, debe considerar que la materia prima debe ser de la más alta calidad para que los productos resultantes sean de igual calidad y los beneficios económicos sean máximos. Partiendo del enunciado anterior se requiere que el proceso sea controlado desde la colección misma de los residuos hasta su empaque final como producto terminado.

Para lo anterior es necesario que se diseñe el sistema logístico partiendo de la base del conocimiento mismo del tipo de residuos, sus características, origen y de su más probable destino, el cual se definirá mediante el estudio de mercado, que dirá que calidad de producto demanda el mercado mexicano y cual el extranjero, sus propiedades en cuanto a relación C/N, su contenido de fosforo, calcio, hierro, entre otros.

Las fuentes de origen de los RSU de la CEDA son dos básicamente: a) de los usuarios y b) de los visitantes. De ambas fuentes, el tipo y características son muy particulares. Algunas variables podrán ser controladas desde el principio mientras que otras tomaran más tiempo llegar a su control eficaz. Cuando se habla de control se incluyen factores como: tipo de residuo, cantidad, condición física, pureza, estado de conservación o deterioro, frecuencia, entre los más importantes.

7.7.3.1 Materia prima de LEIP

El objetivo es lograr que los residuos no se “deterioreen más” por contaminación y que pierdan su oportunidad de ser aprovechados eficientemente, ya sea como alimento directo para personas o animales o que sean procesados en la PdC, el biodigestor o la planta de vermicomposteo (PdVC).

7.7.3.2 Logística

Partiendo de lo anterior cada local contará con dos recipientes (uno para residuos orgánicos y otro para los inorgánicos). Por cada pasillo o área, dependiendo de la cantidad de RSU que se generen, habrá una persona de LEIP que se hará cargo de retirarlos conforme se vayan llenando y en su lugar dejara otro limpio. Esos recipientes serán llevados al área de contenedores para que sean vaciados según corresponda por tipo de residuo, se lavan los contenedores y se utilizan para reemplazar a

otros. En el área de contenedores habrá personal de la empresa para auxiliar en estas acciones y para vigilar que los residuos no sean contaminados.

Una vez que uno o varios contenedores de los andenes se llene, como el que se muestra en la figura 44, se llamará por radio a la camioneta la cual enganchará el contenedor lleno dejando uno limpio en su lugar. El contenedor lleno será llevado (junto con otros que vaya enganchando) a la zona de transferencia o de pre-procesamiento, en donde estarán los camiones que transportarán los RSU a su destino final en función de su contenido. La programación, agilidad de respuesta y control de cada etapa del proceso se verá reflejada en la calidad de la “materia prima”.

7.7.4 Contenedores y recipientes

Los recipientes que se usaran en los locales serán de 60 litros de capacidad, con identificación clara de su aplicación y contarán con ruedas y se usarán al menos dos colores cuando menos, se estima que el número de recipientes es de al menos 10,000 unidades (ver figura 43). Si el espacio lo permite y si es logísticamente posible podría haber más de dos en cada local en función a los RSO que se desechen. Los contenedores de los andenes podrán ser de 500 kg, 700 kg ó 1000 kg de capacidad (ver figura 44 que muestra el modelo), en función de los residuos que se generan por tipo, un estudio más detallado lo determinará, sin embargo el primer número es de 500 contenedores en total. En cuanto los recipientes sean desocupados, serán lavados y desinfectados, en caso necesario.



Fig. 44 Modelo de contenedor previsto para los andenes. (Capacidades desde 500 kg hasta 1000 kg)

7.7.5 Personal

Para lograr lo anteriormente expuesto, se estima una primera etapa con 1000 empleados en los pasillos y andenes, en las plantas de procesos (compost, vermicompost, biodigestores, recuperación de RSI) incluyendo los choferes recolectores y 20 trasportistas que llevaran los residuos de la CEDA a su destino final. Los pepenadores actuales podrían pasar a formar parte de la empresa (si así lo deciden ellos) y se les deberá ofrecer un salario fijo, prestaciones de ley, bonos de productividad y posibilidad de aprovechar parte de los RSU que actualmente recuperan. Cada uno de estos

empleados contara con su uniforme, identificación y medio de comunicación interna con el equipo de trabajo.

7.7.6 Equipo de transporte

Se contara con una camioneta por cada 3 andenes para que enganche y retire los contenedores de los andenes periódicamente y transporte los residuos al área de transferencia (como el mostrado en la figura 44). Del área de transferencia saldrán los camiones propiedad de LEIP manejando las 600-800 toneladas diarias hacia los destinos finales en función del tipo de residuo que se trate.

Se ha estimado que se requieren de 10 vehículos remolcadores de contenedores y 10 camiones de carga de capacidades que van de las 20 a las 30 toneladas. Estos camiones estarán provistos de plataformas en los que reposaran los ISO contenedores preclasificados, limpios e identificados para que sean tratados en forma apropiada en función de la “materia prima” que transporten.

7.7.7 Zona de transferencia y pre-procesamiento de residuos (ZTPR)

En esta zona se llevaran a cabo 4 acciones importantes:

1. Selección fina de residuos y reubicación según su clasificación
2. Conservación en cámaras frías de residuos orgánicos en condiciones de aprovechamiento
3. Trituración de residuos para reducir los volúmenes y aumentar la eficiencia de transporte
4. Colección de líquidos de los RSO con alto contenido de agua que serán destinados a biodigestores.

Una vez que los residuos llegan a la ZTPR, un grupo de personas de LEIP, se encargan de triturar con el equipo apropiado los RSI que no tienen posibilidad de reutilización o reciclamiento sin ser transformados y de inmediato se llenan los camiones que llevaran dichos residuos a los destinos finales.

Los residuos que pueden ser aprovechados por los diferentes sectores, empresas y grupos sociales, se clasifican, se empaican y se envían a su destino en lotes de 3 toneladas mínimo, que es la capacidad de los camiones más pequeños de transferencia.

7.7.8 Beneficios esperados en cuanto a imagen y limpieza de la CEDA.

Con estas acciones se mejorará “la calidad y manejo de los RSU” ya que:

1. Los locatarios no tendrán que llevar los RSU desde su local hasta los contenedores y dada la frecuencia de reemplazo se evitara que se contaminen o se degraden desde el origen.
2. Los contenedores al estar supervisados y manejados por LEIP se asegurará que no se contaminaran y habrá una selección preliminar en función a su estado físico. De igual forma se evitará que personas ajenas depositen los residuos sin una previa revisión y debida clasificación.
3. Podrían haber contenedores especiales para RSU de los visitantes que actualmente acostumbran llevarlos a la CEDA por no contar con el servicio adecuado en su barrio o colonia.

4. Se cubrirán 23 de las 24 horas diarias con personal de LEIP manteniendo la CEDA libre de RSU ya que se contarán con tres turnos de trabajo (21:00 a 5:00, de 4:30 a 12:30 y de 12:00 a 20:00, los 7 días de la semana y los 365 días del año)
5. Los residuos se retiran en periodos de una hora y en lotes de 30 toneladas, por lo que en la CEDA no conserva RSU después de las 20:00 en que sale el turno de trabajo y el último camión.

7.8 Lombricomposteo de los RSO.

7.8.1 Descripción del proceso

Este proceso requiere de una adecuada clasificación de los residuos para las lombrices degraden los compuestos de manera eficiente y para que se tenga identificada la formulación resultante del compost en función a los residuos que se depositen por cana “cama de Lombricomposta”. Para lograr un vermi-composteo más eficiente se podrán combinar los RSU de la CEDA con otros residuos como son los biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en proporción de 5:2 (RSO : biosólidos) y/o excretas de animales del zoológico, granjas ó similares.

La molienda de los residuos se lleva a cabo en dos etapas:

- a) Primera etapa en la CEDA para hacer una primera selección y separación de líquidos
- b) Una segunda etapa en la planta de composteo para una segunda trituración, homogenización y mezclado con otros productos para que el producto a compostear tenga 1 cm de diámetro como máximo.

Por su parte, los líquidos son conservados en refrigeración (de 5°C a 8°C) para evitar la descomposición por fermentación no controlada antes de que ingresen al biodigestor).

Los residuos sólidos ya mezclados se colocan en las tolvas y un tractor las lleva a los canales de vermi-composteo (ver figura 46) en los cuales se colocaran las lombrices y se conservarán con el grado de humedad que requiere el proceso el cual será controlado en forma automática.

El tiempo de estancia de los RSO en los canales de lombricomposteo será de 12 a 16 semanas y se determinara por el grado de descomposición y calidad del producto, este proceso será vigilado y monitoreado por técnicos capacitados. Cada lote de RSO “exprimidos” y con humedad relativa de 30% a 50%, pesará del orden de las 120 toneladas diarias por lo que el volumen máximo esperado en 16 semanas seria de 1920 toneladas de residuos, que se convertirán en cerca de 650 toneladas de compost y que en el campo ocuparan un espacio de 5,500 m³. Cada pila medirá 50m de longitud, 0.8m de ancho, y 0.6 m de alto. Por lo que se requieren de 230 pilas ocupando un área total de 1.5 hectáreas cuando menos para esta parte del proceso.



Fig. 45 Construcción de canales para lombricomposta



Fig. 46 Vista de tractor alimentador de residuos para la lombricomposta



Fig. 47 Vista de las lombrices californianas y el compost resultante



Fig. 48 Imagen del lixiviado resultante de la lombricomposta

Como resultado del proceso se obtendrá el vermicompost a razón de 40 t/día y el lixiviado a razón de 1m³/día a partir del 3^{er}mes. Un laboratorio dentro de la misma planta de composteo se hará cargo de la verificación de la calidad del producto terminado, de la clasificación por tipo de compost por su formulación y también se encargará del control de los procesos.

7.9 Composteo de RSO

7.9.1 Descripción del proceso

A diferencia del vermicomposteo, este proceso se lleva a cabo sin las lombrices y está destinado para residuos que tengan alto contenido de fibra vegetal como serían hojas de elote, olote, cilantro, perejil, apio, nopal, por mencionar algunos.

El equipamiento previsto para este proceso es relativamente diferente ya que unas bandas transportadoras llevan la materia prima a ser composteada hasta el área cerrada destinada para este proceso donde se ubican los cilindros de 100 m³ de capacidad; de 4m de diámetro por 10m de largo³², similares a los que se usan para la mezcla de concreto y con capacidad para 45 toneladas³³ de producto semiseco y triturado; dentro del cilindro se mezcla con un compuesto prefabricado³⁴ que servirá de catalizador para el composteo. En el interior del cilindro hay un “tornillo de Arquímedes” que va transportando la mezcla hasta el final del cilindro y éste a su vez cuenta con un

³² Los dibujos de los equipos y sistemas así como la distribución de la planta de composteo podrá estar disponible en 6 meses bajo solicitud.

³³ Equivalente al 50% de la producción diaria de RSO semisecos de la CEDA

³⁴ Este producto se obtiene parcialmente de la lombricomposta, de estiércoles de caballo y de humus, como los elementos mas importantes.

sistema de aireación para favorecer el proceso. El tiempo de estancia de las cargas es en promedio de 45 días logrando temperaturas de 65°C en la fase termofílica, este cilindro cuenta con control de temperatura y humedad. El compost es recogido al final del proceso del cual sale por la parte inferior del cilindro, ya cribado en tamaños promedio de 1cm máximo de diámetro, cae a una tolva que está conectada a la máquina que va llenando los sacos, ella misma los va cerrando y etiquetando o pueden ser enviados a la lombricomposta según la instrucción que se le haya dado, por el programa de producción, origen de los residuos o requerimientos de substrato para la lombricomposta.

Se estima que 40 toneladas diarias llegarán a este proceso y dará como resultado 12 toneladas diarias de compost a partir del 4º mes. La densidad del compost es de aproximadamente 1430 g/l, por lo que estas 12 toneladas ocuparan 8.4 m³.

7.9.2 Área requerida

El área prevista para este proceso es de 5,000 m² a 8,000 m², y contara con área de carga, una de descarga, ductos colectores de lixiviados, alimentación de agua y aire. La figura 49 es una representación gráfica de la planta de composteo, vermicomposteo y biodigestión, la cual ocupa una extensión de 35,000 m² ó 3.5 hectáreas.

7.9.3 Equipamiento

El equipamiento para este proceso estaría formado por:

- Trituradoras
- Bandas transportadoras
- Tolvas de alimentación
- Tanques o cilindros Compostadores
- Tanques colectores de lixiviados
- Sistema de aireación automático
- Equipo de humidificación automático
- Tolvas de recolección del producto terminado
- Cribadoras y cernidoras
- Equipo de empaqueo del producto terminado y etiquetado

7.10 Biodigestión de RSO

Para el caso del biodigestor se utilizarán los jugos resultantes del exprimido de los RSO con lo que se logrará por una parte su aprovechamiento en forma sustentable, al producir energía eléctrica y calor que sería utilizado en la misma planta de reciclaje de RSO, y por otra, al ser mayormente líquidos, se reduciría la producción de lodos con lo que el proceso de recuperación de lodos sería esporádicamente y éstos serían enviados a la planta de composteo y vermicomposteo.

Dada las características de los residuos a tratar, el biodigestor deberá dimensionarse tomando en consideración los siguientes parámetros:

Volumen de residuos líquidos : 300 m³/día

Peso estimado: 250 t/día

Periodo de retención de los residuos: 30 días

Capacidad nominal total del reactor: 4,500 m³

Dimensiones aproximadas: diámetro 20 m, altura 5m

Tomando en consideración casos reportados por SAGARPA de biodigestores hechos en México para generación de metano a partir de excretas de animales o de bagazo de nopal, se asume que será factible su construcción en México sin mayor problema.

La energía factible de obtener de este sistema estará en función de los compuestos que forman la mezcla, la tabla #18 que se presenta en esta sección nuevamente, permite llevar a cabo el cálculo de la energía a obtener del reactor:

PARAMETROS	CARBOHIDRATOS	PROTEINAS	GRASA	CENIZA	AGUA
% promedio de la mezcla	11.66	1.49	0.38	0.71	84.68
kg equivalentes 500t/día	58,307.69	7,461.54	1,884.62	3,538.46	423,423.08
Producción de biogás (m3)	43,730.77	7,312.31	2,713.85	0.00	0.00
Producción de metano(m3)	21,573.85	3,656.15	1,356.92	0.00	0.00

Las 250 toneladas diarias representan el 50% de la masa que se consideró en la tabla #18, por lo que se estima que la producción de metano de esta mezcla podría ser del orden de 26,587 m³ al día. De los cálculos realizados en la sección 6.4.7 de este documento y tomando este valor de 250 t/día se estima una producción de energía de 54,777.78 kWh/día como máximo y 25,000 kWh/día como mínimo considerando que son los “jugos” de las frutas y verduras más que el producto integro.



Fig. 49 Representación gráfica de la planta de composteo, vermicomposteo y biodigestor. (Ref. 64)

7.11 Productos obtenidos, su valor y los mercados.

La tabla 28 es un resumen de los productos que se obtienen de los tres procesos propuestos y que serán los que se venderían en los mercados a excepción de la energía que sería para consumos propios de la planta, pero que tendría un valor económico de cualquier forma. En la tabla 29 se presenta el valor económico de los productos de la planta de composteo.

Tecnología	Área requerida	Producto final
Vermicomposteo	1.5 hectáreas	40 toneladas/día de compost
		1 m ³ de lixiviados/ día
Composteo	0.8 hectáreas	12 toneladas/día de compost
		0.3 m ³ de lixiviados/ día
Biodigestor	0.1 hectáreas	25,000 kWh/día

Tabla 28 Tabla de requerimientos de espacios y productos que se obtendrán de los procesos.

7.11.1 Valor de los productos

En el mercado nacional hay una variedad considerable de productos para la agricultura urbana y para la floricultura doméstica. El precio de la “tierra preparada” se ubica entre \$5.30 /kg hasta \$12.80/ kg, siendo un valor promedio de \$9.05/kg; y para el caso de Mulch a \$15.90/l, éste tiene su valor por litro ya que por kg se vería como un producto muy costoso. Para el caso de lixiviado los precios son muy variables y van desde \$20.00/kg hasta \$99.00/kg según Mercado libre, para efectos de este cálculo tomaremos un precio intermedio de \$30.00/kg. La densidad de este lixiviado es del orden de 1.250 kg/l. Para el caso de los RSI se ha estimado un precio mínimo de \$0.50/kg .



Fig. 50 Imágenes de precio de anaquel de "tierra preparada" y mulch

Tecnología	Producto final Dato en producción diaria a partir del 4º mes.	Valor comercial del producto Mensual (Anual) en miles de pesos
Vermicomposteo	40 toneladas/día de compost	\$362.00 (\$132,130.00)
	1 m ³ de lixiviados/ día	\$37.50 (\$13,687.50)

Composteo	12 toneladas/día de compost	\$108.60	(\$39,639.00)
	0.3 m ³ de lixiviados/ día	\$11.25	(\$4,106.25)
Biodigestor	25,000 kWh/día	\$37.50	(\$13,687.50)
Venta de RSI a Recicladoras	160 toneladas/día	\$80.00	(\$ 29,200.00)
SUMA DE VALOR COMERCIAL DE LOS PRODUCTOS		\$636.85	(\$232,450.25)

Tabla 29 Tabla de valor económico de los productos a precio de mercado

7.11.2 Mercado Objetivo

El mercado objetivo se divide en los siguientes sectores:

- A. Mercado Nacional
 - a. Distribuidores mayoristas para venta a detalle específicamente
 - b. Usuarios finales de grandes volúmenes sector privado (hoteles, club de golf, clubes deportivos, entre otros)
 - c. Mercado gubernamental para programas de remediación de suelos y atención de desastres
 - d. Recicladoras nacionales de productos como papel, cartón, vidrio, PET, entre otros
- B. Mercado Internacional
 - a. Distribuidores mayoristas para ventas al detalle
 - b. Usuarios finales de grandes volúmenes sector privado

Considerando que los precios al distribuidor y a compradores de grandes volúmenes deberá ser a precios competitivos para que puedan tener buena penetración en los mercados establecidos y con márgenes razonables, la tabla 29 se transformaría con valores reducidos dando los valores que se muestra en la tabla 30; en este caso mantendremos el rubro de energía con el mismo valor ya que es la energía para servicios propios de la planta.

De esta tabla 30 resulta el monto de los ingresos de la empresa y que da como resultado un ingreso probable de un poco más de \$150 millones de pesos al año para 292,000 toneladas anuales, dando como ingreso unitario: \$516.00 por tonelada.

Tecnología	Producto final Dato en producción diaria a partir del 4º mes.	Precio de venta del producto Anual en miles de pesos
Vermicomposteo	40 toneladas/día de compost	\$79,278.00
	1 m ³ de lixiviados/ día	\$8,212.50
Composteo	12 toneladas/día de compost	\$23,783.40

	0.3 m ³ de lixiviados/ día	\$2,463.75
Biodigestor	25,000 kWh/día	\$13,687.50
Residuos sólidos inorgánicos	160 toneladas/ día	23,360.00
SUMA DE VENTA DE LOS PRODUCTOS A MAYORISTAS		\$150,785.15

Tabla 30 Total de ingresos por la venta de los productos

7.12 Costos de producción

Los costos de producción están formados por los siguientes rubros:

- a) Salarios, honorarios (Mano de obra) y prestaciones de ley
 - a. Gerencia, subgerencias, secretarias, laboratoristas y supervisores (personal no sindicalizado)
 - b. Operarios de recolección, separación, clasificación dentro de la CEDA
 - c. Técnicos de operación en la planta de lombricomposta
 - d. Técnicos de operación en la planta de composta
 - e. Técnicos de operación en el biodigestor
 - f. Choferes transportistas de camiones de 10 toneladas o más
 - g. Choferes de camiones de menos de 10 toneladas
- b) Arrendamiento de tierra para la planta
- c) Servicios
 - a. Energía eléctrica
 - b. Telecomunicaciones
 - c. Servicios de agua potable y alcantarillado
 - d. Gas Natural o LP
 - e. Servicios de seguridad
- d) Transporte de residuos
 - a. Pago de combustibles
 - b. Pago de mantenimiento de vehículos
 - c. Pago se seguros
- e) Recolección
 - a. Mantenimiento y reemplazo de contenedores
 - b. Productos para la limpieza de contenedores
- f) Procesos
 - a. Mantenimiento de equipo e infraestructura
 - b. Productos para la limpieza
 - c. Envases, sacos y bolsas para los productos terminados
- g) Costos de mercadeo
 - a. Publicidad y mercadotecnia

- h) Control de calidad
 - a. Reactivos químicos para los laboratorios de pruebas
 - b. Materiales para los campos experimentales

El monto total estimado de la operación de la planta de procesamiento de RSU de la CEDA, por los rubros anteriormente indicados es de \$110 millones de pesos al año para un total de 292,000 toneladas lo que resulta en \$376.00 por tonelada (\$28.97 USD/t), que esta dentro de los rangos de costos internacionales.

7.13 Monto de inversión y su periodo de recuperación

Del monto total de las ventas anuales de la planta que suman \$150,785,150.00 se descuenta el costo anual de operación que suman \$110,000,000.00 con lo que queda una utilidad antes de impuestos de \$40,785,150.00. De la tabla 31 se observa que el monto de inversión es de \$139,500,000.00; por lo que la inversión se amortizaría en un periodo de 3.42 años o su equivalente a una TIR del 29.23%.

Este monto de inversión representa \$10,730,770.00 USD/t como monto de inversión tomando el tipo de cambio a \$13.00 pesos por dólar.

Tecnología	Monto estimado de Inversión en miles de pesos
Vermicomposteo	\$30,000.00
Composteo	\$17,000.00
Biodigestor	\$60,000.00
Equipamiento para selección de Residuos sólidos inorgánicos	\$1,500.00
Equipo de transporte	\$14,000.00
Contenedores	\$12,000.00
Mobiliario y equipo de oficina y laboratorio	\$5,000.00
MONTO TOTAL DE INVERSIÓN	\$139,500.00

Tabla 31 Montos de inversión

7.14 Reducción de emisiones de GEI

A manera de referencia , se muestra en la figura 51, que los RSU contribuyen con el 11% de las emisiones en el DF por lo que cualquier medida que se tome para lograr su reducción debe ser considerada como favorable.

Las emisiones que se evitarían por la implementación de este proyecto son iguales a las toneladas de metano que se generarían en un reactor al introducir el 100% de los residuos sólidos orgánicos. De este análisis llevado a cabo en el capítulo 7, se deduce que se evitarían 150,000 t/año de CO2 equivalente y cerca de las 3 millones de toneladas de CO2 equivalentes, en los 20 años del proyecto propuesto

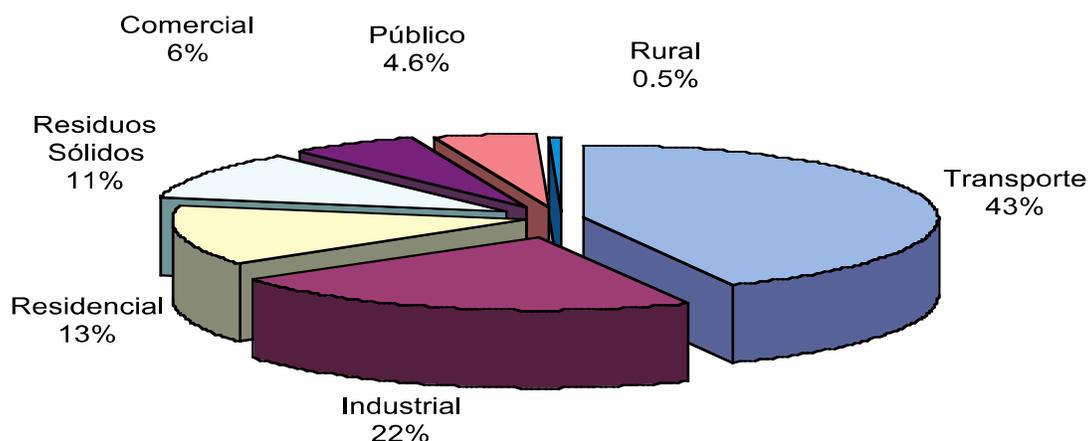


Fig. 51 Aportación de emisiones por sector en el DF en el año 2000 (inventario de emisiones 2012)

7.15 Conclusiones

Este capítulo reúne las conclusiones de todo el estudio en el cual se ha explicado las ventajas y desventajas de cada tecnología. Desde el punto de vista ambiental y teniendo como objetivo primordial la reducción de emisiones o evitar las emisiones se concluye que las tecnologías seleccionadas y analizadas en este capítulo cumplen además con su viabilidad económica.

Este estudio de prefactibilidad demuestra además de que las tecnologías están disponibles en México y que hay experiencias nacionales e internacionales que avalan la factibilidad técnica de implementación.

Entre las limitantes que se han identificado pero que al mismo tiempo se presentan opciones son:

- a) La disponibilidad de los terrenos para llevar a cabo el proyecto y

b) El mercado para la venta del producto terminado

En cuanto a la primera, se presenta en el anexo 6 la carta de interés de un propietario de terrenos que supera por mucho los requerimientos del proyecto en cuanto a extensiones; por otra parte los terrenos serian en renta por un periodo mínimo de 30 años con la opción de que los dueños de los terrenos sean socios de la empresa. Su limitante es la falta de accesibilidad pero que puede ser negociada para buscar alternativas de solución. Otra probable barrera es el permiso de uso de suelo.

La segunda barrera identificada queda resuelta si y solo si el producto es de calidad y está certificado. Para lograr lo anterior se harían los análisis y se pediría la intervención de un laboratorio certificado para que avale la corrida de análisis que se lleve a cabo en los laboratorios de la misma planta. Sera necesario contar con la asesoría de un experto en marketing para esta actividad.

Capítulo VIII

Bibliografía y referencias

8 Bibliografía y Referencias

Ref.	DESCRIPCIÓN
1	AAI. Asociación Argentina de Ingeniería. Bariloche.2000. Planta de Compostaje de Biosólidos: INVE.
2	Abad, M., De la Rosa, J., Pendón, J. G., Ruiz, F., González -Regalado, M. L. y Tosquella, J. (2004). Geogaceta, 35, 35-38.
3	Abarra, T. 2012. Ed. Abarra Taldea. N.p., n.d. http://www.abarrataldea.org/manual.htm
4	Ackerman, F. 1997. Why do we recycle? Markets, values and policy. Washington, D.C: Island Press. USA.
5	Agromat. 2006. Política ambiental para el desarrollo sustentable del sector agropecuario del Ecuador. Revista informativa del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Edición Nº 1, Año 1, Editorial AXXIS Publicidad. Quito – Ecuador. Pág. 41
6	Alexander, Ron. 2012. "Compost Use Guideline Subcommittee." Field Guide to Compost Use. USA: Edaphos International, n.d. N. pag. Web. 19 July 2012. www.compostingcouncil.org
7	Álvarez de la Fuente, J. 2012. Estudio de Mercado de los Compost en Europa. España: n.p., Oct, 2007.
8	Bailey, J.1998. Waste Management Agrees to Acquire Eastern Environmental for \$1.27 billion. Wall Street Journal, 18 August.
9	Barrena,R.Sanchez,A. (2006). The use of respiration Indices in the composting process: a Review. Waste management & Research 23:1-1; ISSN 0734-242X
10	Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A., Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. Bioresour. Tecnol., 63: 91-99.
11	Biocycle World. Science, Land and Utilization. Vol. 48, No. 3, p. 55 Biocycle Energy Impact of Composting Solids. Supporting the trend to increased biogas production. http://www.biocycle.net/page/3/?s=Compost+Science+Land+Utilization
12	Bogdanov,P. 1996 Commercial Vermiculture: how to build a Thriving Business in Redworms. Merlin, OR:Vermico 83pp, Petros publishing Co. ISBN 0-9657039-0-8
13	Brewer, L.J. & Sullivan, D.M. (2001) A quick look at quick compost stability tests . Biocycle, 42, 53-55 .

- 14 Burford, C. 1994. The microbiology of composting. In: A. Lamont (ed.). Down to Earth Composting. Institute of Waste Management, Northampton, United Kingdom. p. 10–19.
- 15 CEMPRE . Compromiso Empresarial para el Reciclaje. <http://www.cempre.org.uy>
- Chamy R. y E. Vivanco. Octubre 2007. Potencial de Biogás: Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás. Disponible en:
- 16 <http://www.gtz.de/de/dokumente/sp-chile-potencial-biogas.pdf> .pag: 38-44. región Metropolitana, Chile. ISBN: 978-956-7700-08-0 ed. Santiago De Chile: Proyecto Energías Renovables.
- 17 Chanyasak, V., Kubota, H. (1981). Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of compost degradation. J. Ferment. Technol., 59: 215-219.
- Clive, E., N. Q. Arancon y R. Sherman. 2011. Vermiculture Thechnology: earthworms, organic
- 18 wastes and environmental management. CRC Press, Taylor & Frensis Group. Boca Ratón, Fl. USA. Pp: 601
- 19 Colin, B. 2001 “Química Ambiental”. Editorial Reverte. Barcelona, España. Pp:595
- Comisión Europea. Ejemplos de buenas prácticas de compostaje y recogida selectiva de
- 20 residuos. Comisión Europea, n.d. Web. 20 Mar. 2012.
http://ec.europa.eu/environment/waste/publications/pdf/compost_es.pdf
- Compost Heaven. Kitchen Waste Composting: Why Many People find it Hard to Compost their
- 21 Kitchen Garbage. Web. May 2012 <http://www.compostheaven.com/kitchen-waste-composting.html>
- 22 Composting Council. Compost Use Mitigates Climate Change. Web. Abr 2012.
<http://compostingcouncil.org/factsheets-and-free-reports>
- 23 Confederation of European Waste-to-Energy Plants. 2008. Número de Instalaciones de Incineración (WTE) en la Unión Europea.
- Conservación de los Ecosistemas Costeros Críticos. "Que es la composta y cuales son sus
- 24 beneficios". Programa de Manejo Integrado de Recursos Costeros. 2001. Web. 18 Abr 2012.
http://www.crc.uri.edu/download/UQROO_compostPamphlet.pdf
- 25 Cosechando Natural. Tienda de Abono Orgánico. Aplicación de Ejemplos reales sobre precios de venta al público. Web. May 2012. <http://www.cosechandonatural.com.mx>
- 26 De Silguy, C. 1996. La agricultura biológica: técnicas eficaces y no contaminantes. Editorial Acrbia, S.A. ISBN: 9788420008707

- 27 De Silguy, C. 1996. *Historie des hommes et de leurs ordures. Du moyen Age à nos jours.* Le Cherche midi editeur. Paris. 226pp
- 28 Diaz, L., M. De Bertoldi y W. Bidlingmaier. 2007. *Compost Science and Technology*, Volumen 8 de *Waste Management Series.*, *Compost Science and Technology*, Edición ilustrada., Editor Elsevier, 2007. ISBN
- 29 Dinel, H., Schnitzer, M., Dumontet, S. (1996). *Compost maturity: extractable lipids as indicators of organic matter stability.* *Compost Sci. Util.*, 4: 6-12. Iglesias Jiménez, E., Pérez García, V. (1992b). *Composting of domestic refuse and sewage sludge. II. Evolution of carbon and some "humification" indexes.* *Resour. Conserv. Recycl.*, 6: 243-257.
- 30 Durán de la Fuente, H. 2012. *Políticas Ambientales y Desarrollo Sustentable.* Estudios del Coordinador del Proyecto CEPAL/GTZ. Latinoamérica: CEPAL, n.d. N. pag. <http://www.eclac.cl/publicaciones/> 20 Apr. 2012.
- 31 ECN. 2012. *The European Compost Network.* ECN, n.d. Web. 20 May 2012. <http://www.compostnetwork.info>
- 32 EcoPedia. N.p., n.d. 20 May 2012. <http://fr.ekopedia.org>
- 33 EPA. *United States Environmental Protection Agency Regulation of Municipal Sewage Sludge Under the Clean Water Act.* USA: US Environmental Protection Agency, n.d. N. pag. Section 503.19 Apr. 2012. www.epa.gov, <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/pubs/index.htm>
- 34 EPA. *United States Environmental Protection Agency. Biosolids Generation, Use, and Disposal in The United States.* Washington DC: Office of Solid Waste, 1999. N. Pg.14 June 2012. <http://www.epa.gov>
- 35 EPA. *United States Environmental Protection Agency. Regiones de actuación municipal de la composta en USA.* 12 Abr 2012. <http://www.epa.gov/osw/conservation/rrr/composting/live.htm>
- 36 European Commission. 2001. *Working Document Biological Treatment of Biowaste.* 2nd Draft. Brussels, 12 February 2001. PG 123 http://europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm
- 37 Ezzet, L. 1997. *Solid waste services in the 100 largest U.S. cities.* *MSW Management*: December (3,4,11).
- 38 Fabricio Capistrán, Eduardo Aranda, Juan Carlos Romero. 2004. *Manual de reciclaje, compostaje y lombricompostaje.* 151 pp 1era ed., 2da reimp. Instituto de Ecología a.c. Xalapa Veracruz,. ISBN 970-709-041-3 segunda reimpresión.

- Fayer Wayer. Ed. Beta Zet. Amazon, 2009. Web. 20 May 2012.
- 39 <http://www.fayerwayer.com/2008/09/gobierno-de-chile-destinara-usd400-millones-a-energias-limpias>. Path: <http://www.fayerwayer.com>.
- 40 FCQAO (Federal Compost Quality Assurance Organization) (1994). Methods Book for the analysis of compost. Abfall Now e.V. Publishing House, Stuttgart, Germany.
- 41 Foro Económico Mundial .2009. Reporte: “Green Investing Towards a Clean Energy Infrastructure”. Davos, Suiza.
- 42 Gaceta Oficial del Distrito Federal. Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa de Gestion Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal. 2010. Jefatura de Gobierno, Administración Publica del Distrito Federal;
- 43 Gallagher, K.G. 1994. Exploring the economic advantages of regional landfills. Solid Waste Technologies, September-October:4.
- 44 García, C., Hernández, T., Costa, F., Ayuso, M. (1992). Evaluation of the maturity of municipal waste compost using simple chemical parameters. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 23: 1501-1512.
- 45 Gobierno del Estado de México. 2012. Directorio de Leyes, Códigos y Reglamentos: Marco Jurídico Estatal. Gobierno del Estado.
<http://transparencia.edomex.gob.mx/sma/informacion/juridico/marco%20judirico%20estatal.htm>
- 46 Gobierno del Estado de México. 2012. Directorio de Normatividad en Materia de Residuos Sólidos, Secretaria de Medio Ambiente.
http://qacontent.edomex.gob.mx/sma/empresas_instituciones/normativida_materia_ambiental/residuos_solidos/index.htm
- 47 Gomez-Sobrino, E., A. Correa-Guimaraes, S. Hernandez-Navarro, L.M. Navas-Garcia, J. Martin-Gil, M. Sanchez-Bascones, J.L. Hurtado, M.C. Ramos-Sanchez. 2006. Biodegradación de Asfáltenos del Prestie Mediante la Aplicación de las Técnicas de compostaje-vermicompostaje.
- 48 Gotaas, Harold B. (1956). Composting - Sanitary. Disposal and Reclamation of Organic Wastes (p.44). World. Health Organization, Monograph Series. | ISBN-10: 9241400315 | ISBN-13: 9789241400312
- 49 Granastein, D. 2000. Washington State University.N.P., Oct. 2000, Web 20 May 2012.
- 50 Gudynas, E. 2003. Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible. 5th. Ed. Montevideo: Coscorba, 2003. Web. 19 May, 2012. www.ambiental.net/claes

- 51 Handreck, K. A. 1983. Particle size and the physical properties of growing media for containers. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 14:209-222.
- 52 Hawken, P. 1993. The ecology of sustainability. Ed. HarperCollins. Pp 250.
- 53 Hernán J. Andrade; Muhammad Ibrahim (2003) FAO. Agroforestería en las Américas Vol. 10 No 39-40 2003
- 54 Howard.A. 2010. An Agricultural Testament, Ed. Benediction Classics, 2010. ISB 1849027730, 9781849027731, 266pp
- 55 <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/science/nature/4622484.stm>
- 56 <http://www.aat-biogas.at>
- 57 http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110808105418&type_id=5 Department of Soil and Water Science.
- 58 http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671991737_Materia%20organica%20y%20lombricultura.pdf
- 59 <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.31.06r.html>
- 60 <http://www.ambientum.com/enciclopedia/residuo/1.26.31.06r.html>
- 61 <http://www.biocycle.net> Biocycle. 13 May 2012.
- 62 <http://www.bioenergeticos.gob.mx/index.php/beneficios-el-caso-de-monterrey.html>
- 63 <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>
- 64 <http://www.chiarezza.it>
- 65 <http://www.ddbariloche.com.ar/nota>. Gacetilla: La UNRN "Curso de Posgrado Tratamiento de Residuos Orgánicos en Bariloche. Diario Digital Bariloche 20.1026 (2000):1-2. Web. 20 junio 2012.
- 66 <http://www.diputadosprd.org.mx>
- 67 <http://www.elhogarnatural.com/reportajes/compostaje.htm> El Hogar Natural. Web. 13 Abr 2012.
- 68 http://www.en.wikipedia.org/wiki/Farmers_of_Forty_Centuries
- 69 http://www.en.wikipedia.org/wiki/Franklin_Hiram_King

- 70 <http://www.estrucplan.com.ar/producciones/entrega.asp?identrega=1402> Estructplan. Guías Completas para la Gestión de Residuos. Web.
- 71 <http://www.ficeda.com.mx/indicadoresbasicos.php>;
http://www.ficeda.com.mx/automovilistas_1.php
- 72 <http://www.ilustrados.com/tema/1968/Tecnicas-cultivo-Lombriz-Roja-Californiana-Eisenia.html>
<http://www.ilustrados.com/tema/1968/Tecnicas-cultivo-Lombriz-Roja-Californiana-Eisenia.html> 100
- 73 http://www.inapiproyecta.cl/605/articles-1660_recurso_1.pdf
- 74 <http://www.inecc.gob.mx/cpcc-lineas/597-cpcc-inventario>
- 75 <http://www.inversanet.wordpress.com/2012/01/20/materiales-iniciales-y-parametros-a-controlar/>
- 76 <http://www.mediasoluciones.com.mx>
- 77 http://www.mediterranea.org/cae/catalogo_europeo_de_residuos.htm Catálogo Europeo de Residuos.
- 78 <http://www.milestonesbd.com>
- 79 <http://www.news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/science/nature/4622484.stm>
- 80 <http://www.permacultura.org.mx/es/reporte/mulch-acolchado-mantillo/>
- 81 <http://www.razon.com.mx> del sábado 13 de julio 2013
- 82 http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/european_ladder.pdf. The sustainable Waste Management Ladder”. Editor The Earth Engineering Center.
- 83 http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Documents/pdf/cap_7_residuos.pdf
SEMARNAT. Información Ambiental, Residuos., SEMARNAT. Web. 12 Abr 2012
- 84 <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nomsxmateria.aspx>
- 85 <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nomsxmateria.aspx> Normas Oficiales En Materia De Residuos
- 86 <http://www.sicde.gob.mx/portal/bin/nota.php?accion=buscar¬aId=10622797434b2270206d4cf>
- 87 <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos>

- 88 <http://www.takepart.com>
- 89 <http://www.woodsend.org/consulting/compost-quality/>
- Huerta, O., M. López, M. Soliva, and M. Zaloña. 2012. *COMPOSTAJE DE RESIDUOS MUNICIPALES: Control del proceso, rendimiento y calidad del producto*. Barcelona: ISBN: 978-84-693-3036-4, 2008. N. pag. Web. 20 Mar. 2012.
<http://www.resol.com.br/cartilhas/compostaje.pdf>
- 90
- 91 Humes, E. 2012. *Garbology: our dirty love affair with trash*. Penguin Group, Inc. London, England. Pp. 277
- 92 Iglesias Jiménez, E., Pérez García, V. (1992c). Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agric. Ecosystems Environ.*, 38: 331-343.
- Keeler, A. G. and M. Renkow. 1994. Haul trash or haul Ash: energy recovery as a component of local solid waste management. *Journal of Environmental Economics and Management*. November. (5,10).
- 93
- 94 Kokusai, J. 1998. Estudio sobre el manejo de residuos sólidos para la Ciudad de México de los Estados Unidos Mexicanos. México.
- 95 Kravetz, S. 1998. Allied waste is set to acquire American disposal. *Wall Street Journal*, 11 August (4).
- 96 Lasaridi, K.E., Stentiford, E.I. (1998). A simple respirometric technique for assessing compost stability. *Water Res.*, 32: 3717–3723.
- 97 Ley Ambiental del Distrito Federal. Ordenamiento vigente: publicado en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* el 13 de enero del 2000. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, I Legislatura.
- 98 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Publicada en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* el 22 de abril de 2003. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, III Legislatura.
- 99 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada el 7 de junio de 2013. Cámara de Diputados, H. Congreso de la Unión. LXII Legislatura.
- 100 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Nueva Ley Publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 8 de octubre de 2003. Texto Vigente Última Reforma Publicada DOF21-05-2013.
- 101 Manual de Lombricultura. Información profunda sobre las vermicompostas. Web. Mar 2012.
<http://www.manualdelombricultura.com>

- 102 Manual de Residuos Sólidos en América Latina. Ed. Francisco Zepeda. N.p., Nov. 1995. Web. 20 Mar. 2012. <http://www.crid.or.cr/digitalizacion/pdf/spa/doc10204/doc10204-a.pdf>
- Maocho, F. 2009. Para quien le interese lo que a nosotros nos interesa. Web. 28 May 2012.
- 103 <http://felixmaocho.wordpress.com/2009/02/24/huerto-familiar-lombricultura-la-cria-de-lombrices/>
- Martínez, A.J.,R. Martínez y A. Calvo. 1997. La Enciclopedia del Medio Ambiente Urbano: recogida de residuos. Volumen 7. Fuentes Editor Cerro Alto. 1997ISBN8488799039, 9788488799036. Pp. 488 .
- 104
- 105 Mc. Bean, E., F.A. Rovers y G. J. Farqua. 1995. Solid Waste Landfill Engineering and Design. Prentice Hall. NJ, USA.
- 106 Milesone., Estructuras gigantes temporales o Permanentes. Web. May 2012. <http://www.milestonesbd.com/index.htm>
- 107 Miranda, M.L., B. Hale. 1997. The private and social costs of waste to energy production.
- 108 Misra RV, Roy RN (2003) On-farm composting methods. FAO, Rome, 26 pp
- Moreno R., A. 2012. Origen, importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. Web. 25 May 2012.
- 109 <http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/vermicomposta.pdf>
- 110 Moreno, C. J. y R. Moral. 2007. Compostaje. Editoriales Científicos. Madrid Ediciones. Mundi Prensa. Pp: 530.
- 111 Nancarrow,L., Hoga J. 1998. The worm book, the complete guide to worm in your garden. 150 pp. 1ª ed. Ten speed press. ISBN-13: 978-0-89815-994-3
- 112 NOM. Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-001-SEGEM-AE-2003. Poder Ejecutivo Del Estado: Gaceta del Gobierno, 2003. N. Pg. Web. 19 Apr. 2012.
- Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004. 12 de julio de 2006. Que establece la clasificación y Especificaciones de Manejo para Residuos de la Construcción en el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- 113
- 114 Norma Oficial Mexicana NOM-083. México: SEMARNAT, 2003. N. pag. www.respyn.uanl.mx. Diario Oficial d. Web. 14 June 2012. NOM-083-SEMAR-03-20-OCT-04.pdf
- 115 Noyes,N. 1995. Easy composters you can build. Storey publishing, LLC, 31pp. ISBN 978-0-88266-350-0

- 116 NTEA. Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-006-SMA-RS_2006. México: Gaceta del Gobierno,
2006. N. pag. www.uaem.mx/transparencia/pdf/normas_oficiales_regulatorias.pdf. Web. 5
Apr. 2012.
- Ochoa, I.S. 2012. Tipos de Compost." UAM. Asociación Ferrer, n.d. Web. 20 July.
117 [http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMP
OST.pdf](http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/eeymar/default_archivos/7.TIPOS%20DE%20COMP%20OST.pdf) PG 110
- Paulin, B. and P. O'Malley. Compost production and use in horticulture. Bulletin 4746 ed.
118 Australia: Western Australian Agriculture Authority, July 2008. N. pag. Web. 19 July 2012.
<http://www.epa.gov/>
- 119 Paull, J. (2011) "The making of an agricultural classic: Farmers of Forty Centuries or Permanent
Agriculture in China, Korea and Japan, 1911-2011"
- 120 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012. <http://www.presidencia.gob.mx>
- Plana, R. 2008. El compostaje de residuos orgánicos: Investigación del proceso a escala
121 industrial y desarrollo de equipos experimentales para la determinación del sistema de
tratamiento y protocolo de trabajo precisos para un desarrollo específico del proceso.
- 122 Plana, R. 2009. Introducción al compostaje. En: El Compostaje. Edit. Sociedad Española de
Agricultura Ecológica. ISBN: 978-84-692-6 833-9. Octubre 2009. Pp 7-27
- 123 Pleasant. B. & D. L. Martin. 2008. The Complete Compost Gardening Guide. 319 pp. America's
Garden Publisher. ISBN 978-1-58017-702-3
- 124 PNE-prEN 12580. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de cantidad.
- 125 Polprasert,C. 19889. Organic Waste Recycling. 371 pp. ISBN: 0608040002, 9780608040004
- 126 PORTER, C.R. 2002. The Economics of Waste. RFF Press. USA. Pp. 300
- 127 PREN 13725:1999 Air Quality - Determination of Odour Concentration By Dynamic Olfactometry
- 128 Prisca. Tehuacán México, May 2008. Web. 20 May 2012. [http://prisca-
comorealizarunacomposta.blogspot.mx/](http://prisca-comorealizarunacomposta.blogspot.mx/)
- Raviv M., Chen Y. y Inbar Y. (1986). Peat and peat sub- stitutes as growth media for container
129 grown plants. En: The role of organic matter in modern agriculture (Y. Chen y Y. Avnimelech,
Eds.) Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, pp. 257-287.
- 130 RD 824/2005. REAL DECRETO 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. PG 119

- 131 Redman, Ch. L. 2012. Los orígenes de la civilización: desde los primeros agricultores hasta la sociedad urbana en el próximo Oriente. Barcelona: Crítica, 1990. N. pag. Web. 20 May 2012. <http://www.oocities.org/es/dchacobo/CIVILIZACION.PDF>
- 132 Regenerate. Abono Orgánico y Biogás en los Estados Unidos. Web. Abr 2012. <http://www.regenerate-usa.com/>
- 133 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal. Ordenamiento Vigente, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 3 de diciembre de 1997 y en el Diario Oficial de la Federación el mismo día. Asamblea Legislativa del Distrito Federal, I Legislatura.
- 134 Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 7 de octubre de 2008, México.
- 135 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Nuevo Reglamento DOF 30-11-2006 Secretaría General Secretaría de Servicios Parlamentarios, México.
- 136 Reglamento sobre el manejo de residuos sólidos ordinarios. México: Ley para la Gestión Integral de Residuos, 2008. N. Pg. Web. 19 Apr. 2012.
- 137 Repa, E. W. 2000. Solid waste disposal Trends. Waste Age, April (4,5) PG 61
- 138 Rodney W. T. 1996. "The economic angle of the compost business. ASHS Press, In: "Winning the Organics Game-The Compost Marketers Handbook"
- 139 Rodríguez Salinas, Marcos A. y Ana Córdova y Vásquez. Manual de compostaje municipal tratamiento de residuos sólidos urbanos. Programa Gestión Ambiental y Manejo Sustentable de Ed. México: SEMARNAT, 2011. N. P.Web. 19 Mar. 2012
- 140 Rogoff, M.J. y F. Screve. 2011. Waste to energy: technologies and Project implementation. Elsevier, 2nd Edition. USA.Pp. 166.
- 141 Roig, A., Lax, A., Cegarra, J., Costa, F., Hernández, M.T. 1988. Cation-exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. Soil Sci., 146: 311-316.
- 142 Rojas, L. 2012. "Reparación y Utilización de Compost en Hortalizas." INIA INTIHUASI. Ed. Gobierno de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, n.d. Web. 20 July 2012. <http://www.inia.cl/medios/intihuasi/documentos/informativos/Informativo->
- 143 Ryan, M. 2012. Compost Tea Production, Application, and Benefits. U.S. Department Of Agriculture: The Rodale Institute, n.d. N. P. Web. 14 June 2012. www.newfarm.org

- 144 Salazar S.E., M. Fortis, A. Vázquez y C. Vázquez. 2003. Agricultura orgánica. Sociedad Mexicana
de la Ciencia del Suelo A.C. y Facultad de Agricultura y Zootecnia de la UJED. ISBN: 968-6404-62-
7. Gómez Palacio, Durango, México. Pp. 245.
- 145 SCM. Sociedad Científica Mexicana de Ecología. "Resumen del Congreso Mexicano de Ecología
2011." Los Retos de la Investigación Ecológica ante la Problemática Ambiental. Boca Del Rio,
Veracruz: Sociedad Científica Mexicana de Ecología, A. C., 2011. 13-16.
- 146 SEDESOL. 2012. Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos
municipales. Secretaría de Desarrollo Social, n.d. Web. 20 Apr. 2012.
- 147 SEMARNAT. Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, 2009-
2012. SEMARNAT. Web. 20 May 2012
<http://www.semarnat.gob.mx/programas/Documents/PNPGIR.pdf>
- 148 Soliva, M. 2001. Compostatge i gestió de residus orgànics. Estudis i Monografies 21. Diputació
de Barcelona, Àrea de Medi Ambient, Barcelona.
- 149 Sonoma Compost. Recycling Organics Since 1985, Compost Local. Web.
<http://www.sonomacompost.com/>
- 150 Stoffella, P.J. Utilization of Composted Organic Wastes in Vegetable Production Systems.,
Yuncong LiUniversity of Florida, IFAS,
- 151 Sugahara, K., Harada, Y., Inoko, A.1979. Color change of city refuse during composting process.
Soil Sci. Plant Nutr., 25: 197-208.
- 152 Sullivan, D.M. and R.O. Miller, 2001. Compost Quality Attributes, Measurements and Variability.
In: Compost Utilization in Horticultural Cropping Systems, Stofella, P.J. and B.A. Kahn (Eds.). CRC
Press, Boca Raton, Florida, ISBN-10: 156670460X, pp: 95-120.
- 153 Sullivan, D.M., Miller, R.O.2005. Propiedades cualitativas, medición y variabilidad de los
compost. En: Stofella, P.J., Kahn, B.A. (Eds.). Utilización de compost en los sistemas de cultivo
hortícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp: 95-119.
- 154 Sztern, D. and M. A. Pravia. 2012. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y
procedimientos. PAHO.org. Organización Panamericana de la Salud, n.d. Web. 20 July 2012.
<http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compost.pdf>
- 155 Tchobanoglous, G., 2002. Handbook of Solid Waste Management. McGraw-Hill Handbook, 2nd
Edition.
- 156 Tejada, M., Dobao, M.M., Benitez, C., Gonzalez, J.L., 2001. Study of composting of cotton
residues. Biores. Technol. 79, 199–202.

- 157 Tiquia, S.M. 2005. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. J. Appl. Microbiol., 99: 816-828.
- 158 UACH. Te de Composta Como Fertilizante Orgánico en la Producción de Tomate., Revista Chapingo. Serie horticultura, ISSN (Versión impresa): 0186-3231., Universidad Autónoma Chapingo. México. <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/609/60912186004.pdf>
- 159 UCC. 2007. US Composting Council. Caltrans Specifications Required Sta Program Approved Compost.Usa: Caltrans, 2007. N. pag. Web. 14 June 2012. www.compostingcouncil.org
- 160 Ujihara, A. M. Y M. Gough. 1989. Managing ash from municipal waste incinerators: a report. Center for Risk Management. Washington, D.C. Resources for the Future. (5,14).
- 161 UNE-EN 13037:2000 Soil improvers and growing media. Determinación del PH
- 162 UNE-EN 13039:2001. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación del contenido en materia orgánica y de las cenizas.
- 163 UNE-EN 13040:2008. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Preparación de la muestra para ensayos físicos y químicos. Determinación del contenido de materia seca, del contenido de humedad y de la densidad aparente compactada en laboratorio.
- 164 UNE-EN 13041:2012. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Determinación de las propiedades físicas. Densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total. PG 117 (en lugar de la UNE-EN 13041:2001)
- 165 UNE-EN 13650:2002. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de elementos solubles en agua regia.
- 166 UNE-EN 13651:2002. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de nutrientes solubles en cloruro cálcico/DTPA (CAT).
- 167 UNE-EN 13652:2002. Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Extracción de nutrientes y elementos solubles en agua.
- 168 Varnero, M.M.T., 2011. Manual de Biogás. MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF. Santiago de Chile ISBN 978-95-306892-0
- 169 Vásquez M. J. 2012. Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos sólidos municipales. SEDESOL. Web. 25 May 2012. <http://www.sedesol2009.sedesol.gob.mx/archivos/802402/file/ManualTecnicosobreGen>
- 170 Walkley A., Black I. (1934). An examination of the Degjtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

- 171 Walsh, J. 1990. Sanitary landfill costs. *Waste Age*. March (4).
- Wamsler, Ch. 2000. El sector informal en el reciclaje de los residuos sólidos en el Estado de
- 172 México. Naucalpan, Ed. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH /
Secretaría de Ecología del Gobierno del Estado de México (no publicado).
- 173 Wolkowski, R.P. 2003. Nitrogen management considerations for land spreading municipal solid
waste compost. *Journal of Environmental Quality* 32:1844-1850.
- 174 Zucconi, F., Pera, A., Forte, M., De Bertoldi, M. (1981b). Evaluating toxicity of immature
compost. *Biocycle*, 22: 54-57.

Anexo 1

Formatos de la SEDEMA

Anexo 1 Formatos de la SEDEMA.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL ÚNICA PARA EL DISTRITO FEDERAL (DEBE SER LLENADO POR EL PROMOVENTE)

Para ser llenado por la autoridad	<p>Información al interesado sobre el tratamiento de sus datos personales</p> <p>Los datos personales recabados serán protegidos, incorporados y tratados en el Sistema de Datos Personales "Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal (LAUDF) el cual tiene su fundamento en Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal Artículos 5, 7, 12, 14, 15 fracción IV y 26; Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal Artículos 23, 32, 35 y 39 fracción III; Ley Ambiental del Distrito Federal Artículos 1°, 2°, 9° fracciones XXVIII y XXXVIII, 19 fracción VI, 61 Bis, 61 Bis 1, 61 Bis 2, 61 Bis 3, 61 Bis 4, 61 Bis 5, 123, 135, 157, 172 y 213; Reglamento Interior de la Administración Pública Artículo 55, Fracciones II, III, V, VII, VIII, X, XII, XIII, XX, XXI, XXII; Aviso por el que se da a conocer el listado de establecimientos que por su capacidad y actividad no requieren tramitar la Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 61 Bis 5 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, y conforme a las clases del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) del año 2007, publicado en la G.O.D.F. - Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, Artículos 12, 20 al 24 y 32y cuya finalidad es recopilar y almacenar datos generales, administrativos y técnicos en materia ambiental y podrán ser transmitidos a su titular y/o su representante legal¹, además de otras transmisiones previstas en la Ley de Protección de Datos Personales para el Distrito Federal.</p> <p>Con excepción del teléfono y correo electrónico particulares, los demás datos son obligatorios y sin ellos no podrá acceder al servicio o completar el trámite de "Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal" y/o Actualización de Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal.</p> <p>Asimismo, se le informa que sus datos no podrán ser difundidos sin su consentimiento expreso salvo excepciones previstas en la ley.</p> <p>El responsable del Sistema de Datos Personales es el Ing. Rubén Lagos Valencia y la dirección donde podrá ejercer los derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, así como la revocación del consentimiento es Calle Pedro Antonio de los Santos esq. Av. Constituyentes, 1ª Sección del Bosque Chapultepec (Puerta de acceso A-4 "Las Flores", Col. San Miguel Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11850, tel: 5271-1939</p> <p>El titular de los datos podrá dirigirse al Instituto de Acceso a la Información Pública y Protección de Datos Personales del Distrito Federal, donde recibirá asesoría sobre los derechos que tutela la Ley de Protección de Datos Personales para el Distrito Federal al teléfono 56 36 46 36; correo electrónico: datospersonales@infodf.org.mx o en la página www.infodf.org.mx</p>
	<p style="text-align: center;">PARA SER LLENADO POR LA AUTORIDAD AMBIENTAL</p> <p>1) NUMERO DE REGISTRO AMBIENTAL (NRA): 2)</p> <p>LOCAL <input type="checkbox"/> FEDERAL <input type="checkbox"/></p> <p>NRA:¹</p> <p style="text-align: right;"><small>(Sella con fecha de recibido, For parte de Oficina de Partes)</small></p> <p>Para dar cumplimiento a los artículos 61 bis y 61 bis 1 de la Ley Ambiental del Distrito Federal, la empresa que represento proporciona a esta dependencia la siguiente información para solicitar se expida la Licencia Ambiental Única para el Distrito Federal en calidad de:</p> <p>Licencia nueva <input type="checkbox"/> Actualización² <input type="checkbox"/></p>

PARA SER LLENADO POR EL PROMOVENTE	
3) NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:	4) DOMICILIO: ³
5) RFC: ⁴	Calle y No.:
	Colonia:
	Delegación:
	C.P.:
	Teléfono:
	Correo electrónico:

- ¹ En caso de ser de competencia Federal, colocar el NRA Federal e ingresar copia de la Licencia Ambiental Única.
- ² Anexar copia del oficio de Actualización del año calendario anterior.
- ³ Anexar copia de comprobante de domicilio.
- Anexar copia de la Cédula del Registro Federal de Contribuyentes.

La información para llenar este formato debe ser la misma que se registra en el padrón de contribuyentes; 2. y para actualizar se debe, en su caso, registrar el pago de la CEDA.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



6) FECHA DE INICIO DE OPERACIONES:		
7) DOMICILIO PARA RECIBIR NOTIFICACIONES E INFORMACIÓN RELEVANTE: (sólo si es diferente al Numeral 4)		
Calle y No.:	Delegación:	
Colonia:	Teléfono:	
C.P.:	Correo electrónico:	
Nombre y firma del responsable técnico que elaboró Fecha del trámite: Día <input type="text"/> <input type="text"/> Mes <input type="text"/> <input type="text"/> Año <input type="text"/> <input type="text"/>		8) Declaro bajo protesta de decir verdad que la información contenida en esta solicitud es fidedigna y que puede ser verificada por la Secretaría del Medio Ambiente. En caso de omisión o falsedad, se podrá invalidar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes. Nombre y firma del propietario o responsable legal*
9) El establecimiento se encuentra en suelo de conservación: SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
10) SE ADJUNTA AL PRESENTE FORMATO LOS ANEXOS SIGUIENTES:		
ANEXO A <input type="checkbox"/>	ANEXO B <input type="checkbox"/>	ANEXO C <input type="checkbox"/>
ANEXO D <input type="checkbox"/>	ANEXO E <input type="checkbox"/>	

I. TRÁMITES REALIZADOS POR EL ESTABLECIMIENTO

1.1 Llenar en la siguiente tabla los dictámenes o registros con que cuenta el establecimiento, anexar una copia de los mismos.

No.	Documentos	SI	NO	No. de oficio/ registro	Fecha de emisión	Dependencia otorgante
L1.1	Dictamen de Impacto Ambiental					
L1.2	Dictamen de Riesgo Ambiental					
L1.3	Registro de Fuente Fija					
L1.4	Registro/Permiso de Descarga de Agua Residual					

II. DATOS PARA EL REGISTRO DEL ESTABLECIMIENTO

DATOS GENERALES	
II.1	Actividad principal del establecimiento:
II.2	Actividad secundaria del establecimiento:

* Anexar copia de la identificación oficial del representante legal o propietario.

La información presentada en este formato es responsabilidad del solicitante. La información es confidencial, excepto el registro establecido por la SEMAR.

Página 2 de 5

SMA-LAUDF-08



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



II.3	Producto principal:				
II.4	Productos secundarios:				
II.5	Datos del predio:	Propio:	Superficie total del predio:		m ²
		Rentado:	Superficie ocupada:		m ²
		Si comparte el predio, indicar con quien lo comparte (razón social y actividad principal):			
		Uso de suelo:			
II.6	Indicar las actividades que se realizaban en el predio antes de las actuales:				
II.7	¿Pertenece a una corporación?	Si	No	Especificar:	
II.8	¿Pertenece a alguna asociación?	Si	No	Especificar:	
II.9	¿Pertenece a alguna cámara?	Si	No	Especificar:	No. Registre:
II.10	¿El formato es llenado por una empresa gestora? Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Nombre:			
		Teléfono:			
		Correo electrónico:			

II.11 CROQUIS DE LOCALIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO

Anexar en la última hoja de esta solicitud el croquis de ubicación del establecimiento con un radio de 500 metros la información siguiente (ver apartado II.1 del Instructivo General):

- Las actividades que se realizan en sus colindancias (Norte, Sur, Este, Oeste).
- El tipo de uso de suelo en el que éste se ubica (industrial, habitacional, comercio, etc.).
- La dirección geográfica y distancia, a la que se encuentran unidades habitacionales, establecimientos de atención médica, centros educacionales, recreativos o de reunión, parques nacionales y áreas naturales protegidas.
- La ubicación de líneas de alta tensión, gasoductos, pozos de abastecimiento, cuerpos de agua y/o líneas de conducción de agua potable existentes en la zona.
- Coordenadas geográficas, coordenadas UTM (en caso de contar con ellas) y clave catastral del establecimiento.

Coordenadas geográficas		Coordenadas UTM	
Latitud Norte	Longitud Oeste	X	Y

II.12 DIAGRAMA DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

Anexar en la última hoja de esta solicitud el diagrama de operación y funcionamiento del proceso que se lleva a cabo en las instalaciones (incluyendo áreas de servicio y administración), indicando los puntos donde se generan emisiones a la atmósfera, descarga de aguas residuales y residuos sólidos y peligrosos. Se deberá anotar el número de identificación del proceso donde se utilizan materia prima y combustible, de la forma que se señala en el ejemplo del punto III.1 del Instructivo General. Para los establecimientos de servicio, se deberá describir cada uno de los pasos del servicio prestado, desde el ingreso del cliente hasta su salida.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



III. INFORMACIÓN TÉCNICA GENERAL (DESCRIPCIÓN DE PROCESOS Y SERVICIOS EN HOJA ANEXA)

III.1 NÚMERO DE TRABAJADORES

Administrativos	
Operativos	
Total	

III.2 HORARIO DE OPERACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO Y PERIODO DE MAYOR ACTIVIDAD

Horario de actividades			Meses de mayor actividad
Lunes a Viernes	De	a horas	
Sábado	De	a horas	Meses de menor actividad
Domingo	De	a horas	
Semanas laboradas al año			

III.3 INSUMOS DIRECTOS E INDIRECTOS

Se debe incluir las materias primas utilizadas para desarrollar las actividades primarias y secundarias. Incluir la información de establecimientos de servicios que utilicen insumos como solventes, tintas, pinturas, barnices, lacas (ver apartado III.1 del Instructivo General).

Nombre ^a		NIP ^b	Estado físico ^c	Forma de almacenamiento ^d	Consumo anual	
Comercial	Químico				Cantidad ^e	Unidad ^f

- ^a Anotar el nombre comercial y químico del producto o insumo.
- ^b Se deberá anotar el Número de Identificación del Proceso donde se utilizan materia prima y combustible, de la forma que se señala en el ejemplo del punto III.1 del Instructivo General, de acuerdo con el diagrama de operación y funcionamiento.
- ^c De acuerdo con la tabla 1 del catálogo de claves, apartado IV del Instructivo General.
- ^d De acuerdo con la tabla 2 del catálogo de claves, apartado IV del Instructivo General.
- ^e Indicar la cantidad total producida, de servicios, ó consumida durante el año de reporte. Respecto a la misma deberá proporcionarse toda la información que se pide en las distintas secciones de este formato.
- ^f Deberán emplearse unidades del Sistema Internacional, pueden reportarse unidades de masa: toneladas métricas (ton), kilogramos (kg), ó unidades de volumen: litros (L), metros cúbicos (m³). Cuando no se conozcan estas unidades podrá utilizarse piezas como unidad. Así también podrá colocarse los tipos de servicios.

Se debe incluir para el caso de los insumos que se consumen en el proceso de la producción, en la parte de gestión de residuos sólidos de la CEDA.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



III.4 PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

La tabla debe ser llenada de acuerdo a la producción anual realizada, considerando la clasificación únicamente por estado físico.

No aplica

NIP*	Nombre del producto*	Estado físico*	Forma de Almacenamiento*	Producción anual	
				Cantidad**	Unidad**
	Subproductos**			Cantidad**	Unidad**

III.5 SERVICIOS

Los datos deben ser llenados de forma anual de acuerdo al giro, ya sea ropa lavada, comensales, hospedajes, autos reparados, etc.

No aplica

NIP*	Nombre del servicio**	Servicios anuales
		Cantidad**

III.6 EL ESTABLECIMIENTO QUEDA SUJETO A INGRESAR ANUALMENTE EL PRESENTE FORMATO CON LA INFORMACIÓN ACTUALIZADA.

* No incluye residuos de ningún tipo.

** Para el giro de comercio o servicio se pondrá el servicio ofrecido (autos reparados, ropa lavada, mesas, servicios ofrecidos, etc.) o producto vendido (autos, abarrotes, ropa, pan, etc.) en el periodo de un año.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



NRA: _____

LICENCIA AMBIENTAL ÚNICA PARA EL DISTRITO FEDERAL
ANEXO C
GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

Según el Artículo 33 de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, todo generador de residuos sólidos en el Distrito Federal deberá separar sus residuos en orgánicos e inorgánicos para entregarlos al servicio de limpia, prestador privado de servicio de recolección, reciclado o acopio. ¿En el establecimiento se realiza la separación de residuos?

Si No

C.1 CATEGORIA SEGÚN GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Los apartados de este anexo deberán ser llenados considerando la siguiente tabla y marcando con una **X** el recuadro según el tipo de generación. La presentación del Plan de Manejo de acuerdo a la categoría que le corresponda, deberá realizarse a través del llenado correcto de los apartados que se señalan a continuación, para A, B, C, D, RE y ERR.

Marque con una X	Categoría	Volumen y tipo de generación	Obligación	Apartados a responder
<input type="checkbox"/>	A	Más de 1000 kg al día de residuos	Plan de Manejo	C.2, C.3, C.4, C.5
	B	Entre 500 y 1000 kg al día de residuos		
	C	Entre 250 y menos de 500 kg al día de residuos		
	D	Entre 50 y menos de 250 kg al día de residuos		
<input type="checkbox"/>	E	Menos de 50 kg al día de residuos	Sin obligación	C.2, C.3
<input type="checkbox"/>	RE	Residuos de manejo especial ¹	Plan de Manejo	C.2, C.3, C.4, C.5, C.6
<input type="checkbox"/>	ERR	Empresa que se dedica a reutilizar o reciclar residuos sólidos	Plan de Manejo	C.2, C.3, C.4, C.7, C.8

C.2 DATOS GENERALES DE RESIDUOS GENERADOS

Anotar en la tabla los residuos generados dentro del establecimiento, clasificándolos de acuerdo a las claves que se encuentran en ella. En caso de generar residuos de manejo especial, en el punto III.3 del Instructivo General aparece un catálogo de ejemplos que puede facilitar la identificación de los mismos.

Código	Tipo de residuo	Cantidad generada (kg/d)	Destino ²	Cantidad aprovechada (kg/d)
Residuos orgánicos				
RNAAlim	Residuos de alimentos			
RSJardi	Residuos de jardinería y podas			
Residuos inorgánicos				
RNAAlgod	Algodón y trapo			
RSCarto	Cartón			
RNFibra	Fibras sintéticas			
RNFule	Hule			

¹ Los residuos de manejo especial son los que se encuentran dentro del apartado C.2 de este formato.

² De acuerdo a la tabla 7 del Catálogo de Claves, apartado IV del Instructivo General.

Declaramos que la información contenida en este anexo es fidedigna y que puede ser verificada. En caso de omisión o falsedad, se podrá invalidar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



NRA:

Código	Tipo de residuo	Cantidad generada (kg/d)	Destino ²	Cantidad aprovechada (kg/d)
RNLata	Lata			
RNLaza	Laza y cerámicas			
RSMadera	Madera			
RSMetalFe	Metal ferroso			
RSMetNoFe	Metal no ferroso			
RSPapel	Papel			
RSPlast	Plástico			
RNVidro	Vidrio			
RNDtro	Otros (Especificar)			
Residuos de manejo especial¹				
REMedic	Generados por establecimientos que realicen actividades médico asistenciales a las poblaciones humanas.			
REVeter	Generados por establecimientos que realicen actividades médico asistenciales a animales (veterinarias y otros establecimientos similares que no fueron inoculados con agentes enteropatógenos.)			
RECosme	Cosméticos no aptos para el consumo, generados por establecimientos comerciales, de servicios o industriales.			
REALime	Alimentos no aptos para el consumo generados por establecimientos comerciales, de servicios o industriales.			
REAgric	Generados por las actividades agrícolas, forestales y pecuarias, incluyendo los residuos de insumos utilizados en esas actividades.			
RECout	Residuos de la demolición, mantenimiento y construcción de obra civil en general.			
RETecno	Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de informática			
REAutom	Fabricantes de productos electrónicos de vehículos automotores			
RELodos	Lodos provenientes de tratamiento de agua			
RENeum	Neumáticos usados, incluye a distribuidores, productores, terminales y todas aquellas que los generen.			
REMuebl	Muebles usados generados en gran volumen			
REInser	Enseres domésticos usados generados en gran volumen			
REPlast	Plásticos como pterefalato de polietileno (PET), polietileno de alta y baja densidad (PELD y PEHD), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), policarbonato (PC) y poliestireno (PS)			
RELabor	De laboratorios industriales, salud, farmacología, químicos, biológicos, de producción o de investigación.			
TOTAL				

Si tiene más de un residuo o destino con la clave "otros" (RSOtro o DOE) deberá poner la clave seguida del número consecutivo (ejemplo RSOtro1, RSOtro2, ..., DOE1, DOE2, ..., etc.) y describir en el siguiente apartado.

¹ En el Instructivo General se presentan algunos ejemplos de estos residuos de manejo especial.

Declaramos que la información contenida en este anexo es fidedigna y que puede ser verificada. En caso de omisión o falsedad, se podrá invalidar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



NRA:

C.3 ESPECIFICAR OTROS

No aplica

Si alguna clave pertenece a la categoría "otros" (residuos o destino) especificar en la siguiente tabla.

Clave	Especifique

C.4 EMPRESA O DELEGACIÓN A LA QUE ENTREGA SUS RESIDUOS

No aplica

Señalar las empresas o Delegación a las que entrega sus residuos sólidos.

Destino ¹	Nombre de la empresa o Delegación	Dirección de la empresa

C.5 ESTRATEGIA Y CALENDARIO DE MINIMIZACIÓN

(Sólo aplica a las categorías A, B, C y RE)

No aplica

Descripción de estrategia de minimización de generación de residuos sólidos:

Si el espacio es insuficiente para esta información, puede ser anexada al final.

C.6 PARTICIPANTES DEL PROGRAMA DE MANEJO

(Sólo aplica a la categoría RE)

No aplica

Señale los datos de las empresas o establecimientos que participan en su Programa de Manejo de los residuos.

Nombre de la empresa	Dirección

Indicar brevemente el tipo de participación de las empresas que forman parte del Programa:

De acuerdo a lo reportado en la columna Destino del apartado C.2

Declaramos que la información contenida en este anexo es fidedigna y que puede ser verificada. En caso de omisión o falsedad, se podrá invaluar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes.



Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Regulación
Ambiental
Dirección de Regulación Ambiental



NRA:

C.7 RESIDUOS QUE REUTILIZA O RECICLA (SOLO PARA ESTABLECIMIENTOS DEDICADAS A RECICLAJE O REUSO Y CATEGORIA ERR)

No aplica

Anote las claves de los residuos que reutiliza o recicla como insumo en la siguiente tabla:

Residuo (Insumo) ^a	Cantidad manejada (kg/d)	Almacenamiento de residuo ^b	Producto generado

Si tiene más de una forma de almacenamiento con la clave "otras formas" (OF) deberá poner la clave seguida del número consecutivo (ejemplo: OF1, OF2, etc.) y llenar el apartado siguiente.

C.8 ESPECIFICAR OTROS

No aplica

Si alguna clave pertenece a la categoría "otras formas" (almacenamiento) especificar en la siguiente tabla:

Clave	Especifique

C.9 GENERACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

(La información de este apartado se presenta de manera voluntaria)

Presentar copia del último reporte de la Cédula de Operación Anual o reportes semestrales según sea el caso.

^a Colocar clave de acuerdo con la tabla del apartado C.2.

^b Colocar clave de acuerdo a la tabla 2 del Catálogo de Claves, apartado IV del Instructivo General.

Declaramos que la información contenida en este anexo es fidedigna y que puede ser verificada. En caso de omisión o falsedad, se podrá invalidar el trámite y/o aplicar las sanciones correspondientes.

Anexo 2

Relatoría y minutas de las reuniones

Anexo 2 **Relatoría de eventos para el proyecto de GIRS³⁵ de la CEDA en la Ciudad de México.**

Las primeras pláticas relativas a este proyecto se llevaron a cabo el jueves **8 de marzo del 2012** con el Ing. Oscar Vázquez de la SMA a la cual participaron: Mark Oven, Jorge Landa, José Antonio Urteaga y Arturo Romero Paredes Rubio. El tema central de esta reunión fue el explorar en que proyectos eran coincidentes los objetivos del programa MLED y los programas de gobierno en el tema de reducción de emisiones. Se concluyó que había coincidencias en dos temas: La norma solar en el tema de nuevas construcciones en el DF, evaluar los impactos que ha tenido la norma solar que fue desarrollada en el 2006 y el promover los cambios necesarios en el reglamento de construcción del DF y el segundo tema el aprovechamiento de los residuos orgánicos de la central de abastos del DF.

Para el miércoles **28 de Marzo**, se llevó a cabo otra reunión, esta vez en las oficinas de la Secretaría de medio ambiente del DF con la Secretaria, la Lic. Marta Delgado y el Dr. Adolfo Mejía Ponce de León, Director General de Planeación y Coordinación de Políticas de la Secretaría del Medio Ambiente. A esta reunión asistieron por parte de TT: Jorge Landa, Mark Oven, Ana Arrocha, José Antonio Urteaga y Arturo Romero P.

El **17 de abril** se lleva a cabo otra reunión entre los representantes de la SMA, Dr. Mejía y Oscar Vázquez con Mark Oven, Ana Arrocha y Jorge Landa para discutir los siguientes pasos para cada uno de los proyectos, hasta estas fechas se hablaba del aprovechamiento de los RSO de los mercados pero preferentemente de la CEDA, pero previo a esta decisión la Secretaria de Medioambiente debería tener una reunión con el director de la CEDA para plantearle el proyecto.

Este proyecto se presentó originalmente como una propuesta para el aprovechamiento de los RSO. La propuesta fue bien recibida y se turnó a la dirección de residuos, con el Ing. Jesús Hernández, durante una reunión con el Dr. Adolfo Mejía y José Antonio Urteaga, **el 23 de abril**.

El **7 de mayo** se llevó a cabo una reunión en las oficinas del Dr. Mejía en la que participo Mark Oven, Ana Arrocha, Jorge Landa y José Antonio Urteaga y se revisaron los TDR preliminares así como se definieron los canales de comunicación.

El Ingeniero Hernández, solicitó, el **8 de mayo**, durante una reunión en sus oficinas, que este estudio fuese orientado no solo al manejo de los RSO sino que fuera integral por lo que se modificaron los términos de referencia (TDR) del proyecto. A esta reunión participaron

³⁵ GIRS: Gestión integral de Residuos sólidos

representantes de la CEDA y de la SMA y por parte de Tt, Marina Bergua y Arturo Romero Paredes. Los TDR finalmente fueron autorizados el **24 de mayo**, por el mismo Ing. Hernández, durante una reunión en la que participó el Ing. Oscar Vázquez por parte de la SMA, Marina Bergua y Arturo Romero Paredes por parte de Tt.

Inicialmente se había pensado en llevar a cabo el proyecto en los mercados del DF por lo que se hizo una evaluación de lo que podría implicar esa actividad, el personal a contratar por tiempo y obra determinado así como las comunicaciones y arreglos que debían de llevarse a cabo para que tuviésemos acceso a cada mercado delegacional.

Una vez que los TDR fueron aprobados por la dirección de residuos, se llevaron a cabo reuniones con la SMA y la CEDA en las oficinas de la dirección de residuos en la calle de agricultura 21 en el DF, se presentaron estos TDR, se explicó la metodología y el personal de la CEDA, comento que habían recibido ya varias ofertas para la GIRS por diversas empresas de diferentes nacionalidades y que finalmente ninguna concretaba o en ocasiones ya no regresaban. Posteriormente se les solicito que nos proporcionaran copias de esas propuestas pero nuestra solicitud fue denegada por considerarla “información confidencial” por lo que en realidad nunca supimos quienes ni que les han ofrecido.

Posteriormente se decidió que si era factible hacer los estudios en la CEDA por lo que se organizó a un equipo de técnicos para hacer los levantamientos de datos para tener la línea base del estudio. Para finales del mes de **Mayo**, se iniciaron los trabajos con los técnicos y se concluyeron el **30 de junio**.

Concluido el levantamiento de datos de campo y a partir del **1 de julio**, se procedió a organizar y procesar la información recabada en campo y en compilar información sobre las tecnologías, experiencias mundiales, aspectos legales y evaluar que se estaba haciendo en México en otras partes como la planta de composteo en el Bordo poniente, en Atizapán de Zaragoza y en Mérida Yucatan. **El 25 de julio**, se visitaron a dos empresas en el estado de Yucatan que se dedican a la vermicomposta y durante la expo verde en Playa del Carmen, Quintana Roo el **27 y 28 de julio**, nos entrevistamos con empresas que se dedican al composteo como una forma de negocio.

El **17 de agosto** se visitaron dos empresas dedicadas a la lombricultura y vermi-composteo en el estado de Jalisco, con la finalidad de investigar con los expertos prácticos la viabilidad de esta iniciativa, nos entrevistamos también con el Dr. José Arnulfo del Toro Morales, quien fungía como el Director General de Productividad y Desarrollo Tecnológico de la SAGARPA quien considero que esa iniciativa la propondría en el mercado de Guadalajara ya que la consideraba totalmente factible.

Entre los meses de agosto a septiembre se prepararon los primeros informes preliminares para revisión interna y se subió al *Dropbox* el **10 de Septiembre de 2012**. Durante los meses de Octubre a Marzo del 2012 se fueron complementado los informes con los estudios sobre experiencias mundiales en composteo y en una edición revisada del primer informe.

El día **5 de diciembre** se lleva a cabo el cambio de gobierno iniciando la administración del Dr. Mancera, para el día **14 de diciembre** se nombra a Julio Serna Chávez como nuevo director de la CEDA quien inicia un programa de limpieza dentro y en la inmediaciones de la CEDA.

A partir del **20 de enero del 2013** se comenzaron las gestiones para tener la entrevista con la nueva Secretaria de Medioambiente la M.C. Tanya Müller García, finalmente se logró esa entrevista el **26 de Marzo**; durante esta reunión se comentó de las actividades que se venían desarrollando con la administración anterior, la Secretaria ratifico el interés por continuar con esas tareas y específicamente indico que daría las facilidades para que se presenten los resultados del estudio de la CEDA al Director de ese organismo. La secretaria solicita se le envíen las notas informativas de los proyectos, mismas que se hicieron llegar el **19 de abril**.

Posteriormente se solicitó una audiencia con el director de la CEDA el Dr. Julio Serna Chávez para presentar los resultados, sin embargo, se nos concedió la cita con el Dr. Pablo J. Lara Ontiveros quien es el coordinador de planeación y desarrollo. Esta reunión se llevó a cabo el día **26 de abril** y se hizo una presentación de los antecedentes y resultados del estudio que incluye la propuesta acompañamiento para la implementación del proyecto posterior al estudio de factibilidad. La respuesta de la CEDA fue que se presentaría el comité el cual se reuniría para finales de Mayo; el Dr. Lara sugirió que se llevara a cabo un proyecto piloto con un mercado como el de Jamaica; sin embargo se le comento que por la escala de negocio podría no será atractivo para inversionistas. Durante el mes de mayo, se trató por diferentes medios de hacer contacto nuevamente con el Dr. Lara y con el Dr. Serna para que pudiésemos ser invitados a la reunión del comité para hacer la presentación del proyecto. En Reunión del MLED del **23 de Mayo** con la Secretaria Müller, sin embargo no se logró ninguna respuesta en ese sentido y se nos indicó que el comité finalmente no se reuniría.

A partir de esa fecha, **23 de Mayo** y hasta la fecha de este informe no se ha logrado tener una segunda reunión con el Dr. Lara, ni una primera reunión con el Dr. Serna.

El informe final será entregado a la SMA en el mes de octubre con lo que quedara concluido este proyecto.

Anexo 3

Imágenes de la visita a la Planta de Composta del Bordo Poniente

Anexo 3 **Imágenes de la visita a la Planta de Composta del Bordo Poniente.**



MAQUINARIA DE LA PLANTA DE COMPOSTA



FAUNA SILVESTRE EN LA PLANTA DE COMPOSTA



DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DE COMPOSTEO



IMÁGENES DE LIXIVIADOS EN LA PLANTA DE COMPOSTA

Anexo 4

Diagnóstico de RSU en la CEDA

FAVOR DE SOLICITAR ESTE ANEXO POR SEPARADO

Anexo 5

Experiencias mundiales en el composteo de residuos sólidos orgánicos

FAVOR DE SOLICITAR ESTE ANEXO POR SEPARADO

Anexo 6

Cartas de interés de propietario de terreno y cotizaciones de empresas dedicadas al composteo

FAVOR DE SOLICITAR ESTE ANEXO POR SEPARADO

www.mledprogram.org

