



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN
ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS
INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, EDO. DE
MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

SHAMIRA RODRÍGUEZ SAN JUAN

MÉXICO, D.F.

2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PRESIDENTE: Q. A. Miguel Ángel Hidalgo Torres
VOCAL: Dr. Alfonso Durán Moreno
SECRETARIO: Dr. José Agustín García Reynoso
1er. SUPLENTE: Ing. Gema Luz Andraca Ayala
2° SUPLENTE: M. Oscar Hernández Meléndez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

TORRE DE INGENIERÍA, 3ER PISO ALA SUR

ASESOR DEL TEMA:

DR. ALFONSO DURÁN MORENO

SUSTENTANTE (S):

SHAMIRA RODRÍGUEZ SAN JUAN



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico Tecnológico y de Innovación (FODECyT) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haber financiado el proyecto 174710 GENERACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS MUNICIPALES (RSOM), proyecto en el que se desarrolló la presente tesis.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problemática	2
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivo General	3
1.4 Alcances.....	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Clasificación de los residuos sólidos	5
2.1.1 Residuos sólidos urbanos	6
2.1.2 Residuos de manejo especial.....	7
2.1.3 Residuos peligrosos.....	8
2.1.4 Residuos de la actividad minera	8
2.2 Recolección de residuos	9
2.3 Marco legal en México en materia de Residuos Sólidos	13
2.4 Alternativas para la valorización de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU)	17
2.4.1 Rellenos sanitarios.....	18
2.4.2 Compostaje	19
2.4.3 Vermicultura	21
2.5 Digestión anaerobia.....	22
2.5.1 Etapas de la digestión anaerobia	23
2.5.2 Codigestión anaerobia.....	29
2.5.3 Ventajas de la Digestión Anaerobia	30
3. DESPERDICIO DE ALIMENTOS	32
3.1 Desperdicio de alimentos en el mundo.....	33
3.2 Desperdicio de alimentos en México	34
3.3 Origen de las pérdidas y desperdicio de alimentos.....	34
3.4 Impacto ambiental de las pérdidas y desperdicio de alimentos	39
3.5 Prevención de las pérdidas y del desperdicio de alimentos	43
4. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES	47
4.1 Concepto de sostenibilidad y desarrollo sostenible	47



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

4.2	Industria procesadora de alimentos	48
4.3	Empresas procesadoras de alimentos líderes en el mundo	49
4.4	La industria procesadora de alimentos en México	50
4.4.1	Producción	50
4.4.2	Consumo	51
4.4.3	Principales industrias procesadoras de alimentos en México	51
4.5	Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de producción de la industria procesadora de alimentos	52
4.6	Los residuos como materia prima y origen de compuestos de valor añadido.....	54
4.6.1	Características técnicas de los residuos agroindustriales	55
4.6.2	Características de los sistemas de codigestión anaerobia de residuos agroindustriales	59
4.7	Plantas de producción de biogás agroindustrial en Europa.....	60
4.8	Industria restaurantera	62
5.	METODOLOGÍA.....	63
6.	CASO DE ESTUDIO.....	64
6.1	Municipio de Lerma, Estado de México.....	65
6.2	Zona Industrial Lerma.....	68
6.3	Recorrido en sitio	71
6.3.1	Grupo BIMBO.....	71
6.3.2	Proceso de producción planta BIMBO	72
6.3.3	Proceso de producción planta Barcel	75
6.3.4	Unilever	78
6.4	Resultados	79
6.5	Capulhuac.....	79
6.5.1	Planta de composta	81
6.5.2	Planta de digestión anaerobia	85
7.	CONCLUSIONES.....	88
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	89



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Índice de Figuras

Figura 1: Composición de los RSU en México, 2011.	7
Figura 16: Vehículo compactador.....	11
Figura 2: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.	20
Figura 3: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.	26
Figura 4: Desperdicio de alimentos a lo largo de la cadena de suministro de alimentos.	35
Figura 5: Ciclo de vida de los alimentos.....	39
Figura 6. Huella hídrica azul total por consumo de productos agrícolas.	41
Figura 7: Residuos separados por colores	46
Figura 8: Producción por nicho en México	50
Figura 9: Industrias de alimentos procesados por estado.....	52
Figura 10: Localización de Lerma en región VII.	66
Figura 11: Regionalización del Municipio de Lerma.	67
Figura 12: Industrias procesadoras de alimentos y restaurantes en la zona industrial Lerma.....	70
Figura 13: Diagrama de flujo de residuos sólidos en planta BIMBO Lerma	73
Figura 14: Diagrama de flujo de residuos sólidos en planta BIMBO Lerma	74
Figura 15: Diagrama de flujo de residuos sólidos BARCEL Lerma.	77
Figura 17: Zona industrial de Lerma y Capulhuac.....	80
Figura 18: Flujo de operaciones en el sistema de composteo en Capulhuac.	82
Figura 19: Ruta de recolección de residuos sólidos agroindustriales en Lerma ...	84



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Índice de Tablas

Tabla 1: Tiempo de incubación y crecimiento de la mosca.....	13
Tabla 2: Condiciones ambientales	22
Tabla 3: Principales industrias mundiales de alimentos.....	49
Tabla 4: Biodegradabilidad anaerobia de los principales componentes de los residuos agroindustriales.	56
Tabla 5: Características y producción de biogás de algunos residuos orgánicos agroindustriales.....	58
Tabla 6: Ejemplos de plantas de biogás provenientes de residuos agroindustriales de la Unión Europea.	61
Tabla 7: Industrias procesadoras de alimentos en Lerma.....	69
Tabla 8: Residuos generados por industrias de alimentos y restaurantes.	79
Tabla 9. Generación de RSU del municipio de Capulhuac en el horizonte de tiempo	83
Tabla 10. Productos generados.....	86



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Siglas acrónimos y fórmulas químicas

AGV	Ácidos Grasos Volátiles
CO ₂	Dióxido de carbono
DA	Digestión anaerobia
DOF	Diario Oficial de la Federación
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIAB	Federación Española de Industrias de la Alimentación
FORSU	Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos
GEI	Gases Efecto Invernadero
H ₂ O ₂	Peróxido de Hidrógeno
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
NMX	Normas Mexicanas Técnicas
NOM	Normas Oficiales Mexicanas
PIB	Producto Interno Bruto
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuos Peligrosos
RSO	Residuos Sólidos Orgánicos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEMARNAT	Secretaría de Marina y Recursos Naturales
SMAEM	Secretaría de Medio Ambiente de Estado de México
ST	Sólidos Totales
SV	Sólidos Volátiles
TMCA	Tasa Media de Crecimiento Anual



1. INTRODUCCIÓN

Cuando a finales del siglo XVIII el físico italiano Alessandro Volta identificó por primera vez el metano (CH_4) como el gas inflamable en las burbujas que emergían de los pantanos, no se pudo imaginar la importancia que este gas podría llegar a tener en la sociedad humana en los siglos venideros.

El metano alcanzó una especial importancia durante la segunda guerra mundial debido a la escasez de combustibles. Con el fin de la guerra y la fácil disponibilidad de combustibles fósiles, la mayoría de las instalaciones fueron cesando en su funcionamiento. Sin embargo, en India, a comienzos de la década de los 60, se impulsó notablemente la tecnología de producción de biogás a partir del estiércol bovino con el doble propósito del aprovechamiento energético y la obtención de un biofertilizante. En los países industrializados la historia de la tecnología de biodigestión ha sido diferente y el desarrollo ha respondido más bien a motivaciones medioambientales que puramente energéticas¹.

La actividad agropecuaria, agroindustrial y el manejo adecuado de residuos rurales pueden contribuir significativamente a la producción y conversión de residuos animales y vegetales (biomasa) en distintas formas de energía. Durante la digestión anaerobia de la biomasa, mediante una serie de reacciones bioquímicas, se genera el biogás, el cual, está constituido principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Este biogás puede ser capturado y usado como combustible y/o utilizarse para generar electricidad. De esta forma, la digestión anaerobia, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de materia orgánica contaminante, estabilizándola (digestato) y al mismo tiempo, producir energía gaseosa (biogás).

¹ FAO (2011). Manual de biogás.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Desde una perspectiva de los países desarrollados y en desarrollo, la digestión anaerobia contribuye a cumplir tres necesidades básicas: mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación; generación de energías renovables y suministrar materiales estabilizados (digestato) como fertilizantes para los cultivos. Por lo tanto, la digestión anaerobia representa una opción importante en el control de la contaminación y para la obtención de valiosos recursos: energía y productos con valor agregado.

1.1 Problemática

El poniente del Estado de México cuenta con 13 zonas industriales, entre ellas Lerma la cual se seleccionó en este estudio por ser una región de desarrollo industrial con gran impacto económico, su industria procesadora de alimentos genera grandes cantidades de residuos que representa cerca del 85% del peso de la materia prima recibida.

Lerma genera un total de 1,367 toneladas por día de residuos, pero el ayuntamiento sólo se encarga de recoger 55 toneladas por día correspondientes a los residuos domiciliarios. Esto quiere decir que las industrias, comercios y hospitales se encargan de la recolección de sus propios residuos.

El municipio no dispone de un sitio cercano para depositar los residuos, por lo que son llevados a Tlalnepantla, además de que solo cuentan con 22 unidades de transporte que cubren las 41 localidades de Lerma, con una frecuencia de recolección de dos veces por semana.

1.2 Justificación

La generación de residuos sólidos orgánicos derivados de los procesos productivos en la industria procesadora de alimentos conlleva problemas medioambientales derivados de una mala gestión de los residuos.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Este trabajo de investigación surge en el marco del proyecto FORDECYT 174710 “Generación de un sistema piloto de tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales” en el que participan las dos entidades de mayor generación de residuos en el país, Estado de México y Distrito Federal, y trata de dar una solución a esa problemática al transformar materiales de desecho en recursos aprovechables. Al utilizar los residuos en procesos de valorización se tiene una reducción de la contaminación, generación de energía, así como generación de fuentes de trabajo.

Este trabajo está enfocado en los residuos de alimentos generados en la industria procesadora de alimentos y restauración del municipio de Lerma, Estado de México

1.3 Objetivo General

Realizar un diagnóstico de los residuos sólidos orgánicos generados en las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes de Lerma, Estado de México, a través del análisis de información estadística oficial y obtenida en campo para establecer la fundamentación de un proyecto de digestión anaerobia de escala industrial, sustentable, en la que sean utilizados estos residuos.

1.4 Alcances

1. Seleccionar industrias procesadoras de alimentos y restaurantes comercialmente conocidos ubicados en Lerma para identificar el tipo y cantidad de residuos que producen.
2. Determinar cuáles serían los residuos más adecuados para ser tratados en un proceso de digestión anaerobia.
3. Detectar las áreas de oportunidad para implementar la digestión anaerobia de los residuos de estas industrias procesadoras de alimentos y restaurantes.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

4. Elaborar un conjunto de recomendaciones a las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes sobre cómo disminuir, manejar y disponer sus residuos mediante procesos como digestión anaerobia y compostaje con el fin de evitar daños al medio ambiente y obtener una rentabilidad económica.



2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se presenta información sobre los residuos y su clasificación de acuerdo a la normatividad ambiental vigente; asimismo se incluye información sobre las técnicas de valorización de la fracción orgánica.

2.1 Clasificación de los residuos sólidos

La industrialización que se presentó en México durante la segunda mitad del siglo pasado, produjo una mayor demanda de materias primas para satisfacer el creciente consumo de bienes y servicios de una población en aumento y con patrones de consumo cambiantes y cada vez más demandante. A la par crecieron la generación de residuos y los problemas asociados a su disposición, así como las afectaciones a la salud humana y al ambiente².

Los residuos se definen en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) como aquellos materiales o productos cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentran en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso y que se contienen en recipientes o depósitos; pueden ser valorizados o requieren sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la misma Ley. En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

² Durán et al. Fundamentos de digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos urbana, 2014.



2.1.1 Residuos sólidos urbanos

Los RSU³ son los que se generan en las casas habitación como resultado de la eliminación de los materiales que se utilizan en las actividades domésticas o los que provienen también de cualquier otra actividad que se desarrolla dentro de los establecimientos o en la vía pública, con características domiciliarias.

La generación de RSU se ha incrementado notablemente en los últimos años; tan solo entre 2003 y 2011 creció 25%, como resultado del crecimiento urbano, el desarrollo industrial, las modificaciones tecnológicas, el gasto de la población y el cambio en los patrones de consumo. La generación total de RSU en el país difiere de manera importante a nivel geográfico. Si se considera la regionalización de la SEDESOL para el análisis de la generación de residuos en 2011 la región Centro contribuyó con el 51% de la generación total del país, seguida por la región Frontera Norte (16%) y el Distrito Federal (12%)⁴.

En cuanto a su composición, los RSU también han cambiado de manera importante en las últimas décadas en el país. En general, la composición depende, entre otros factores, de los patrones de consumos de la población: menores ingresos producen menos residuos, dentro de los cuales dominan los de composición orgánica, mientras que con mayores ingresos, los residuos son mayormente inorgánicos a partir de productos manufacturados y con un porcentaje mayor de productos y desechos (Figura 1).

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y

³ Con la publicación de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2003), los residuos sólidos municipales (RSM) cambiaron su denominación a la de residuos sólidos urbanos (RSU).

⁴ Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, SEDESOL, México. 2012.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Sin embargo, la situación del manejo de estos residuos se aleja mucho de ser la adecuada a los largo del país. Aún a la fecha es relativamente común que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación o en depresiones naturales del terreno como cañadas, barrancas y arroyos. En el ciclo de vida de los residuos, después de su generación existen diversas etapas importantes para su manejo, entre las que destacan su recolección, reciclaje y disposición final.



Figura 1: Composición de los RSU en México, 2011.

Fuente: Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, SEDESOL. México. 2012

2.1.2 Residuos de manejo especial

Los RME están definidos en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) como aquellos generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados residuos sólidos urbanos o peligrosos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos (DOF, 2003). La LGPGIR clasifica a los RME en ocho categorías según su origen:



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

1. Los residuos de las rocas o los productos de su descomposición.
2. Los de servicios de salud, con excepción de los biológico-infecciosos.
3. Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades.
4. Residuos de los servicios de transporte, así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias y portuarias y en las aduanas.
5. Lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales.
6. Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales generados en grandes volúmenes.
7. Residuos de la construcción.
8. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores.

2.1.3 Residuos peligrosos

Definidos como aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalaje y suelos que hayan sido contaminados, según lo establece la LGPGIR.

2.1.4 Residuos de la actividad minera

Los residuos producidos por la actividad minera, y de acuerdo con lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2003) y con las actividades definidas en la Ley Minera (2005), los residuos de este tipo de industria son aquellos provenientes del minado y tratamiento de minerales tales como jales, residuos de los patios de lixiviación abandonados, así como los



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

metalúrgicos provenientes de los procesos de fundición, refinación y transformación de metales.

En este sentido, el sector minero se caracteriza por la generación de altos volúmenes de residuos sólidos, los cuales pueden contener elementos potencialmente peligrosos, susceptibles de transferirse al ambiente (drenaje ácido, erosión eólica e hídrica entre otros). La composición de los residuos puede variar de acuerdo con las características mineralógicas de cada yacimiento y por los procesos empleados durante el tratamiento de los minerales. La gestión en el manejo determina el grado en que éstos pueden representar un riesgo al medio ambiente o a la población (LGPGIR, 2003).

2.2 Recolección de residuos

El manejo adecuado de los residuos sólidos es una prioridad para la calidad de vida en la población, por lo que es imprescindible tomar acciones para lograr prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales y sanitarios por el mal manejo de los residuos, que sin control sanitario provocan diversos problemas a la salud y contaminación al ambiente, generando emisiones de gases efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, por lo que se hace necesaria su adecuada gestión, a fin de eliminar sus efectos negativos y aprovechar los positivos.

La recolección de los residuos, es la parte medular del sistema de manejo integral de residuos urbanos y tiene como objeto primordial preservar la salud pública mediante la recolección de los residuos en todos los lugares de generación y transportarlos al sitio de tratamiento y/o disposición final, de la manera más sanitaria posible, eficientemente y con el mínimo costo.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Una de las primeras decisiones que debe tomarse es el cambio del método y la frecuencia en el sistema de recolección. Entre los más comunes se tiene “de parada fija”, “de acera”, “interdomiciliario” y “de contenedores”; esta es una decisión importante porque incide en las otras variables de recolección, incluyendo el tipo de recipiente para el almacenamiento, tamaño de la cuadrilla y en la selección de los vehículos recolectores. Otro punto de decisiones la frecuencia de recolección. Ambos factores; el método y la frecuencia deben considerarse en cuanto a su impacto en los costos de recolección. Dado que el costo de la recolección constituye entre el 70 y el 85% del costo total del manejo de los residuos urbanos y, a su vez, el costo de mano de obra representa del 60 al 75 por ciento del costo de la recolección, el incremento en la productividad del personal de recolección puede reducir significativamente los costos globales.

➤ Equipos de recolección

Con respecto a los equipos de recolección y transporte primario, es importante indicar la conveniencia de emplear siempre que sea factible, vehículos con carrocerías de capacidad adecuada, provistos de compactadores para abatir los costos de recolección.

El municipio de Lerma cuenta con vehículos compactadores con mecanismo de carga trasera. Estos vehículos tienen una capacidad de 15.3 m³ de capacidad volumétrica, con mecanismos de carga y descarga de contenedores, lo que equivale a 9.9 toneladas de residuos sólidos orgánicos considerando una densidad de 650 kg/m³. Su eficiencia de recolección es muy alta cuando se usa adecuadamente, por lo que no debe ser utilizado en la recolección domiciliaria con los métodos tradicionales de “esquina”, “acera” o de “llevar o traer”. En la Figura 15 se muestra un vehículo compactador que es el tipo de vehículos empleados



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO



Figura 2: Vehículo compactador

➤ Selección de rutas

Una fase importante del sistema de recolección de residuos sólidos urbanos, es la que comúnmente se conoce como ruta, la cual no es otra cosa que los recorridos específicos que deben realizar diariamente los vehículos recolectores en las zonas de la localidad, donde han sido asignadas con el fin de recolectar en la mejor forma posible los residuos generados por los habitantes de dicho sector.

En el medio mexicano el sistema más usado, tradicionalmente, el diseño de rutas de recolección de los residuos urbanos ha sido al juicio y experiencia del jefe de limpia, o bien de los choferes de los vehículos recolectores. Obviamente que el criterio y experiencia tanto del jefe de limpia como de los choferes, no es siempre el mejor, por lo cual la mayoría de las rutas de recolección diseñadas por ellos dejan mucho que desear en cuanto a aspectos de operación y funcionamiento. Un mal diseño de rutas de recolección, trae como consecuencia:

- Deficiente operación y funcionamiento del equipo.
- Desperdicio de personal.
- Reducción de las coberturas del servicio de limpia.
- Pérdida de tiempo.
- Proliferación de tiraderos a cielo abierto en diferentes puntos de la ciudad.



Reglas Básicas para el diseño de rutas

- El diseño de rutas trata de aumentar la distancia productiva en relación a la distancia total.
- Los recorridos no deben fragmentarse ni traslaparse. Cada uno debe consistir en tramos que queden dentro de la misma área de la ciudad o localidad en estudio.
- En lugares con pendientes fuertes o desniveles altos, debe procurarse hacer el recorrido de la parte alta a la parte baja.
- Evitar los giros a la izquierda y las vueltas en U.
- Las calles con mucho tránsito deben recorrerse en las horas en que éste disminuye.
- Cuando hay estacionamientos de vehículos, hay que procurar efectuar la recolección en los momentos que la calle está más despejada.
- En las calles muy cortas o sin salida, es preferible que los vehículos recolectores no entren en ellas, sino que esperen en la esquina y que el personal vaya a buscar los receptáculos con los residuos, o en su caso el público lo deposite en la esquina más cercana a la ruta de recolección. Otra opción es la colocación de un contenedor de gran tamaño. Esto economiza mucho tiempo.

➤ Frecuencia de recolección

La prestación de servicio de recolección es una de las etapas más caras del sistema del manejo de residuos y una de las que presenta mayores oportunidades para la minimización de costos. Uno de los factores que más influye sobre el sistema, es la frecuencia de recolección, la cual deberá prever que el volumen acumulado de basura no sea excesivo y que el tiempo transcurrido desde la generación de basura hasta la recolección para su disposición final no exceda el



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

ciclo de reproducción de la mosca, para pasar de huevo a larva que varía, según el clima, de 7 a 10 días; tal y como se aprecia en la Tabla 8. Dada la peligrosidad de este insecto caracterizándose como diseminador de gérmenes, es necesario establecer la frecuencia de recolección teniendo en cuenta este aspecto.

Tabla 1: Tiempo de incubación y crecimiento de la mosca.

TEMPERATURA (°C)	HUEVO A PUPA (días)	HUEVO A ADULTA (días)
Promedio de 20°C	10.1	20.5
Promedio de 28°C	5.6	10.8
Promedio de 35°C	5.6	8.9

Fuente: SEDESOL 2008

2.3 Marco legal en México en materia de Residuos Sólidos

En materia de regulación para los residuos municipales y de manejo especial, se tienen en el país diferentes lineamientos, tales como la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2007), en materia de manejo de residuos sólidos establece lo siguiente:

Artículo 7° Corresponde a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

Fracción VI La regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Artículo 8° Corresponden a los municipios, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

Fracción IV La aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos, de conformidad con lo dispuesto por el artículo 137 de la presente Ley.

Artículo 137 Queda sujeto a la autorización de los municipios o del Distrito Federal,, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales. La Secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos sólidos municipales.

Artículo 138 La SEMARNAT promoverá la celebración de acuerdos de coordinación y asesoría con los gobiernos estatales y municipales para:

Fracción I La implantación y mejoramiento de sistemas de recolección, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales y que

Fracción II La identificación de alternativas de reutilización y disposición final de residuos sólidos municipales, incluyendo la elaboración de inventarios de los mismos y sus fuentes generadoras.

Por su parte la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) señala:



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

- Artículo 10 Los municipios tienen a su cargo las funciones de manejo integral de residuos sólidos municipales
- Artículo 96 Las acciones que deben realizar las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias, con el propósito de promover la reducción de la generación, valorización y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, a fin de proteger la salud y prevenir y controlar la contaminación ambiental producida por su manejo.
- Artículo 97 Las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos y de manejo especial, en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son de carácter obligatorio, existen varias relativas al manejo y gestión integral de los residuos sólidos urbanos.

- NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.
- NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección ambiental-incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.
- NOM.083-SEMARNAT-2003. Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

Adicionalmente en México existen las Normas Mexicanas Técnicas (NMX) que son de referencia (es decir no son de carácter obligatorio), existiendo algunas



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

relacionadas a la caracterización de RSM y a la construcción de rellenos sanitarios, siendo descritas a continuación:

- NMX-AA-015-1984. “Método de cuarteo”. Establece el método de cuarteo para homogenizar residuos sólidos municipales y la obtención de muestras para análisis de laboratorio.
- NMX-AA-019-1985. “Determinación de Peso Volumétrico *in situ*” Establece un método para determinar el Peso Volumétrico *in situ* de los residuos sólidos municipales.
- NM-AA-022-1985. “Preparación de Muestra en el Laboratorio para su Análisis” Establece el método de preparación de muestras en el laboratorio para su análisis físico químico y biológico.

Por otra parte, con respecto a la legislación en el Estado de México se puede destacar:

- El Código para la Biodiversidad del Estado de México publicado en el periódico oficial Gaceta de Gobierno del Estado de México el 3 de mayo 2006.
- El Reglamento del Libro Cuarto del Código para la Biodiversidad del Estado de México publicado en el periódico oficial Gaceta de Gobierno del Estado de México el 22 de mayo de 2007.
- La norma técnica estatal ambiental NTEA-010-SMA-RS-2008 publicada en la Gaceta Oficial del Estado de México el 21 de mayo de 2009.

Responsabilidades de los municipios respecto a los RSU y RME

El Artículo 115° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos otorga la facultad a los municipios del servicio público de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos. Esta atribución se observa en



las leyes federales y estatales en la materia, como es la LGPGIR⁵ y las leyes ambientales de los estados que versan sobre residuos, así como leyes específicas en la materia de residuos y servicios públicos. Conforme a esto, los municipios deberán llevar a cabo las acciones relacionadas con los siguientes rubros:

- a) Manejo Integrado de Residuos Sólidos Urbanos: que incluye la recolección, barrido, transferencia, transporte, tratamiento y disposición final.
- b) Marco Institucional: como es la elaboración de reglamentos, políticas, planes de manejo y del programa municipal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos. También incluye las acciones de inspección y vigilancia de la normatividad federal, estatal y municipal en el ámbito de su jurisdicción.
- c) Gestión de RP y RME: aplicando los planes, programas y políticas elaborada para tal y coadyuvando con la federación y el estado. La responsabilidad del municipio en materia de residuos peligrosos se circunscribe a aquellos procedentes de los microgeneradores⁶. En materia de RME su consideración depende de cada uno de los estados y los convenios signados.
- d) Protección al ambiente por residuos. Elaborando diagnósticos, inventarios, promoviendo la reducción de la generación el resudo y valorización de los residuos, así como elaborando campañas de educación ambiental.

2.4 Alternativas para la valorización de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU)

Uno de los problemas ambientales es la disposición de los residuos orgánicos que se generan en las diferentes actividades realizadas por el hombre. Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de

⁵ Estas funciones se encuentran más detalladas en el Título Segundo de la LGPGIR.

⁶Microgenerador: Establecimiento industrial, comercial o de servicios que genere una cantidad de hasta cuatrocientos kilogramos de residuos peligrosos al año o su equivalente en otra unidad de medida (LGPGIR).



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición. El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implica un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos.

La población microbiana lleva a cabo una función muy importante en la transformación de los residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos. Dentro de los diferentes métodos de tratamiento de los residuos se tienen los rellenos sanitarios, el compostaje, la vermicultura y la digestión anaerobia, dichos métodos se tratan a continuación.

2.4.1 Rellenos sanitarios

El relleno sanitario es el método de disposición final de basura más conocido y popular por ser eficiente, barato y de menores costos en inversiones que hay (Vázquez, 1994). Aunque se tiene que contar con propiedades de terrenos grandes y lejos de la ciudad debido a los fuertes olores y problemas de gases que se generan por el entierro de la basura. Por supuesto, para la construcción y operación de un relleno sanitario se debe tener la documentación necesaria y seguir una serie de normas que regulan las disposiciones generales, personal del lugar, pepenadores, entre otros factores que operan en el relleno sanitario.

Cuando se quiere construir un relleno sanitario es necesario seleccionar el terreno para que cumpla con las condiciones técnicas adecuadas como son: topografía,



nivel de las aguas subterráneas y la disposición de los materiales para cubrir los residuos. El sistema de drenaje en un relleno sanitario es de suma importancia por la lixiviación que se realizan en estos lugares, ya que si no se cuenta con un drenado de los líquidos provoca daños de contaminación al suelo. Otro punto de igual importancia es el uso de chimeneas en las celdas de los rellenos sanitarios; esto corresponde a que el gas metano generado por el encierro en la basura debe ser liberado para evitar que con el paso del tiempo se acumule debajo de la tierra y explote. El problema con los rellenos es la dificultad para encontrar lugares o terrenos que sean adecuados debido a la oposición de los vecinos, el rápido proceso de urbanización que limita y encarece el costo de los terrenos y el alto riesgo de transformarlo en un tiradero a cielo abierto.

2.4.2 Compostaje

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno) que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Portal Terminológico de la FAO, FAOTERM3)

Sin embargo, no todos los materiales que han sido transformados aeróbicamente, son considerados composta. El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener composta de calidad. La utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como:

- Fitotoxicidad
- Bloqueo biológico del nitrógeno
- Reducción de oxígeno radicular
- Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Figura 2). Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, llamado compost. Las reacciones de descomposición de la materia orgánica inicial, desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según el calor generado durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura.

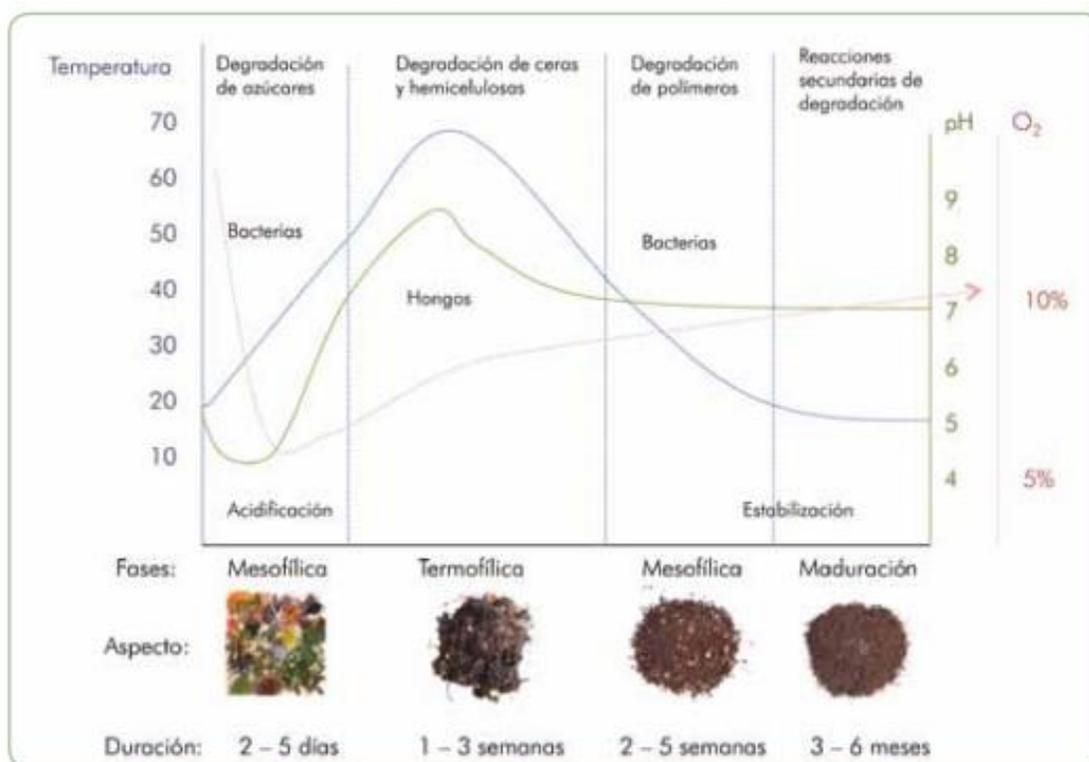


Figura 3: Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.

Fuente: P. Roman, FAO.



2.4.3 Vermicultura

La vermicultura es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso aeróbico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos. El aprovechamiento de una población de lombrices en el tratamiento de la materia orgánica contenida en los residuos parte de las funciones metabólica, mecánica y biótica que ejerce la citada población sobre el suelo en el proceso de descomposición natural de la materia orgánica. Durante este proceso, minerales insolubles son solubilizados, como N, P, K, Cu, Ca, Mg, etc. quedando disponibles para las plantas cuando el vermicompost es aplicado al suelo. Igualmente, otros compuesto orgánicos complejos, como la celulosa, son parcialmente degradados a compuestos más simples por las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz, aumentando la disponibilidad de N.

La función mecánica que realizan las lombrices sobre el suelo es comparable a la operación de volteo de materia orgánica en una instalación de fermentación. En un suelo natural, la lombriz aporta oxígeno a las primeras capas del suelo, 20 a 30 centímetros de profundidad aproximadamente, a través de todos los túneles excavados en el terreno, además de incorporar abono, mezclando sus excrementos con la tierra movida durante esas excavaciones. Para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz más empleada comercialmente es la *Eiseniafoetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana.

El residuo capaz de ser tratado es muy variado, pero debe cumplir dos requisitos principales; poseer la cantidad mínima de materia orgánica para que la población de lombrices se desarrolle y multiplique y, presentar una maduración estable, ya que no soportan las altas temperaturas alcanzadas en los procesos de fermentación. La explotación industrial de este sistema debe partir del concepto de



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

que se trabaja con seres vivos que requieren determinadas exigencias en su hábitat, lo cual determinará la eficacia y rendimiento económico del sistema. En la Tabla 1 se presentan las condiciones ambientales para llevar a cabo este proceso adecuadamente.

Tabla 2: Condiciones ambientales

Parámetro	Intervalo ideal
Humedad	70%-80%, esta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad más alta impediría su respiración.
Temperatura	20.30°C
pH	5-8.5. Se debiera verificar con una cinta indicadora de pH antes de alimentar la lombriz.
Luz	La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros.

Fuente: Manual del compostaje del agricultor, FAO 2013.

Se pueden añadir los siguientes materiales:

Estiércol, papel, cartón sin pintura, frutas, vegetales, cáscara de huevo, poda de pasto, paja, residuo de cosecha, pulpa de café, granos de cereales. También se pueden aplicar los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (Lotzof, 2012).

2.5 Digestión anaerobia⁷

La digestión anaerobia es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con pequeñas cantidades de otros gases, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (ej. H₂O₂). Utilizando el

⁷ Manual del Biogás, FAO 2011



proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio.

2.5.1 Etapas de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso en cuatro fases o etapas:

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

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



acético, H_2 y CO_2 . En la Figura 3 se muestra esquemáticamente las distintas fases del proceso de digestión anaeróbica, los microorganismos que intervienen en cada una de ellas y los productos intermedios generados.

1. 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. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. La hidrólisis de estas moléculas complejas se lleva a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La etapa de hidrólisis puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulica, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de 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 muy 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 valor nutricional elevado. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos se utilizan directamente en la síntesis de nuevo material celular



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso.

La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La rapidez de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaerobios afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura, depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general, produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

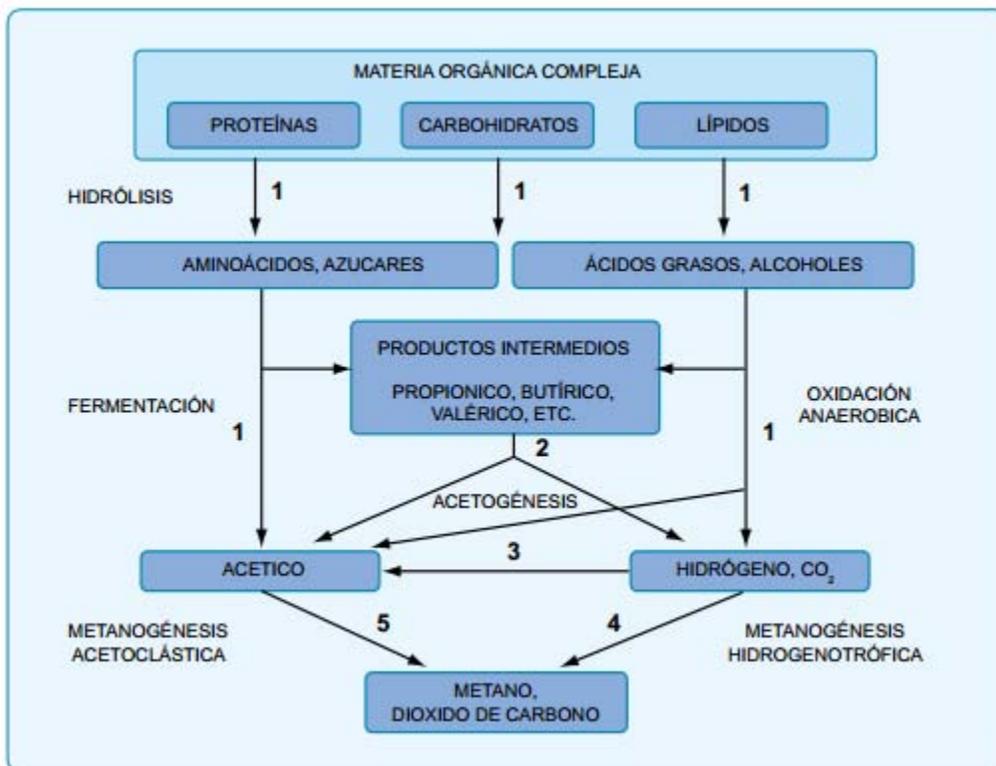


Figura 4: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos.

Fuente: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991

Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1. Bacterias fermentativas; 2. Bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3. Bacterias homoacetogénicas; 4. Arqueas metanogénicas hidrogenotróficas; 5. Arqueas metanogénicas acetoclásticas

2. Etapa fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las arqueas metanogénicas (acético, fórmico, H₂) 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 la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, si-no que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema. Este grupo de microorganismos, se compone de bacterias facultativas y anaeróbicas obligadas, colectivamente denominadas bacterias formadoras de ácidos.

3. Etapa acetogénica

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados (como mezcla H_2 / CO_2) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato. Según se ha estudiado, el resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceteticum*.

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 productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos,



son los que van a utilizar como sustrato las arqueas metanogénicas en la etapa siguiente.

4. Etapa metanogénica

En esta etapa, un amplio grupo de bacterias estrictamente anaeróbicas, actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de 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. Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariontes. Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen H_2/CO_2 y fórmico y acetoclásticos, que consumen acetato, metanol y algunas aminas.

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H_2 como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son Methanosarcina y Methanothrix. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior.



2.5.2 Codigestión anaerobia

El tratamiento de dos o más residuos mediante digestión anaerobia se denomina codigestión anaerobia. Frente a procesos de digestión que emplean un solo sustrato este planteamiento cuenta con importantes ventajas técnicas, medioambientales y económicas. La codigestión anaerobia permite aprovechar la complementariedad de la composición de los residuos. El mejor ejemplo es la codigestión de deyecciones ganaderas y residuos alimentarios. Los residuos ganaderos tienen una reducida concentración de materia orgánica y una baja relación C/N, pero cuentan con una concentración elevada de micro y macronutrientes (básicos para el crecimiento de microorganismos anaerobio) así como capacidad reguladora (tampón) fundamental para evitar proceso de acidificación. Los residuos alimentarios ricos en carbohidratos, proteínas y grasas suelen tener una alta proporción de materia orgánica biodegradable y una alta relación C/N, pero su digestión anaerobia se ve afectada negativamente por la ausencia de micronutrientes y también por problemas de acidificación. Así pues, la mezcla de ambos tipos de residuos da lugar a procesos más estables y con un incremento considerable de la producción de biogás⁸.

La codigestión permite integrar la valorización de los residuos orgánicos de una zona geográfica determinada. De este modo conseguimos obtener por un lado una fuente de energía de carácter renovable en forma de biogás y por otro un subproducto resultante de la fermentación denominado digestato con características de fertilizante orgánico y aplicable en agricultura bajo condiciones controladas. Se trata por tanto de un reciclaje integral que reduce el impacto ambiental de estos residuos (contaminación suelo, agua, olores, etc.). No obstante, la digestión anaerobia no reduce significativamente la concentración de nitrógeno o de fósforo por lo que es fundamental realizar en todos los casos un

⁸ Energía renovable a partir de residuos de la industria alimentaria, FIAB 2013.



balance de nutrientes antes de la aplicación del digestato al campo. En caso de haber zonas vulnerables es imprescindible acudir a técnicas de reducción o recuperación de estos nutrientes.

2.5.3 Ventajas de la Digestión Anaerobia

El futuro de la DA, como practica de disposición y generación de energía a partir de RSU depende de varios factores, que van desde conceptos ambientales hasta consideraciones económicas. Entre los que están:

- a) Eficacia de procesos creciente
- b) Costos reducidos de construcción
- c) Bajos costos de operación
- d) Ampliación de mercados para los productos
- e) Disminución de la posibilidad de sitios de disposición final

➤ Ventajas ambientales de la digestión anaerobia

El biogás emitido en un sitio de disposición final sin regulaciones contiene entre 50 a 60% de CH₄, 30 a 40% de CO₂ y trazas de numerosos compuestos químicos como clorados y sulfurados (Khalil, 1999). Dichos sitios son la principal fuente de emisión de metano, considerado como uno de los principales gases invernadero.

Dentro de las ventajas ambientales de la DA se encuentra la disminución de 60% de peso y volumen en vertederos y de la emisión de gases invernadero, además de reducir los malos olores y problemas sanitarios. La concentración de metano depende principalmente de la composición y calidad de los residuos a tratar (Hoeks, 1983) y significaría una forma de controlar las emisiones a la atmósfera (Mor et al. 2006). Por otro lado los residuos usados contienen nutrientes que se conservan en el lodo final, llamado digestato, y que podría ser utilizado como



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

fertilizante para plantas y mejorador de suelos. Otro factor a considerar y que es muy importante es la regulación ambiental local y otras políticas de disposición de residuos, ya que muchas naciones han implementado o están considerando métodos de reducción de impactos ambientales en la disposición de residuos (Ostrem, 2004). Una legislación ambiental más rigurosa, que incluya leyes de energía renovable, restricciones de sitios de disposición y otros incentivos fiscales (Nichols, 2004) favorece el desarrollo de la DA. Algunos beneficios ambientales se reflejarán en la reducción de costos de logística en sitios de disposición, carga económica y salud pública (Mata-Alvarez, 2003).

La necesidad de mitigar el cambio climático también representa una oportunidad para acelerar la transición hacia el desarrollo sustentable. La mayor parte de las acciones de mitigación contribuyen, en forma directa o indirecta a través de sus co-beneficios, al desarrollo sustentable. Mitigar el cambio climático implica también incrementar la eficiencia en el uso de la energía, acelerar la introducción de fuentes renovables de energía, prolongar la disponibilidad de reservas de hidrocarburos, disminuir procesos de contaminación y conservar la cobertura vegetal y la biodiversidad asociada (SEMARNAT, 2006).

➤ Ventajas económicas de la digestión anaerobia

Algunas ventajas económicas del proceso anaerobio sobre los sistemas aerobios son que requieren bajo costo de energía para operar, bajo costo de inversión y baja producción de lodos. Además el biogás puede ser usado como una fuente limpia de energía renovable. Su uso se ha establecido firmemente en Europa (IEA, 2002) siendo utilizada para la generación de energía térmica, eléctrica o combustible de transporte.



3. DESPERDICIO DE ALIMENTOS

Una fuente importante de residuos sólidos orgánicos, son los alimentos en buen estado que todos los días se pierden⁹ y desperdician¹⁰, a pesar de ser perfectamente comestibles. Los cuales representan, desde una perspectiva global, una oportunidad desaprovechada de alimentar a una población mundial en aumento, sino que, en el actual contexto de crisis económica, en el que la sociedad atraviesa momentos difíciles y debido al cual se ha incrementado el número de personas en situación de vulnerabilidad social, la reducción de este desperdicio alimentario sería un paso preliminar importante para combatir el hambre y mejorar el nivel de nutrición de las poblaciones más desfavorecidas.

Además del problema ético y nutricional que supone que una cantidad considerable de alimentos en buen estado se desaproveche cada día, se plantea el impacto ambiental, desde la utilización de energía y recursos naturales (agua, tierra) hasta las emisiones de gases a la atmósfera; se calcula que los cerca de 89 millones de toneladas de alimentos que se tiran en Europa producen 170 millones de toneladas equivalentes de CO₂ cada año¹¹. Aparte del daño ambiental que se causa produciendo comida que después no se utiliza, hay que tener en cuenta los costos de tratamiento y disposición cuando se convierten en residuos. No se puede por tanto limitar las acciones relacionadas con la sostenibilidad a la eficiencia en la producción y la distribución de alimentos, sino que también se deben examinar las pautas de consumo de alimentos con el objetivo de reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos.

⁹ Pérdida de alimentos: disminución de la masa alimentaria comestible durante las etapas de producción, postcosecha, elaboración y distribución. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo, FAO. Alemania 2011, pág. 2.

¹⁰ Desperdicio alimentario: conjunto de productos alimenticios descartados por razones económicas, estéticas o por la fecha de caducidad, pero que siguen siendo perfectamente comestibles. Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo, FAO, Alemania 2001, pág. 2.

¹¹ Estudio preparatorio sobre desperdicio de alimentos en la UE, comisión Europea, París 2010, pág. 11.



3.1 Desperdicio de alimentos en el mundo

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, para el año 2050 la producción mundial de alimentos deberá incrementarse en un 70% para abastecer el aumento previsto de la población de 7,000 a 9,000 millones de habitantes.

Se estima que cada año se desaprovechan más de 1,300 millones de toneladas de alimentos, es decir 1/3 de la producción mundial, de los cuales el 6% se despilfarran en América Latina y el Caribe¹². Las pérdidas y el desperdicio de alimentos pueden producirse en todos los eslabones de la cadena alimentaria en el campo, en las industrias de transformación, en la fase de distribución, en los comedores escolares y restaurantes y en las casas de los propios consumidores. Las causas no son siempre las mismas, y varían según el tipo de producto, según la producción, el almacenamiento, el transporte, el envasado y, por último, los malos hábitos o la falta de concienciación de los consumidores.

Latinoamérica desperdicia cerca de 80 millones de toneladas de alimentos al año, lo que representa el 6% del total global de pérdidas según cifras publicadas por el Banco Mundial. Según cálculos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y las Agricultura (FAO), en Latinoamérica en las etapas de producción y consumo el desperdicio de alimentos llega al 28%. El resto de las pérdidas de alimentos en la región se lo reparten las fases de almacenamiento (22%), de distribución y mercadeo (18%) y de procesamiento (6%). En México, por ejemplo, se desperdician más de 10 millones de toneladas de alimentos al año, que representan el 37% de la producción agropecuaria en el país, según el Grupo Técnico de Pérdidas y Mermas de Alimentos¹³.

¹² Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe, FAO 2014, pág. 2.

¹³ Agronoticias América Latina y el Caribe, consultado en: <http://www.fao.org/agronoticias/agronoticias/detalle/es/c/214228/>



3.2 Desperdicio de alimentos en México

El desperdicio de alimentos en México es millonario, según cálculos del Grupo Técnico de Pérdidas y Merma de Alimentos de la Cruzada contra el Hambre. Anualmente se desperdicia el 37% de la producción agropecuaria anual, esto es, 10 millones de kilos de granos, carnes, frutas y verduras. Mediante un estudio de la FAO se descubrió que más del 60% de la comida se pierde antes de llegar a las mesas de los mexicanos. Algunas de las frutas que más se desperdician son la guayaba, con el 57.7% de la producción anual, y el mango con un 54.5%. Pero también hay niveles altos de desaprovechamiento de arroz, con un 46%; carne de res, con un 40% y leche con 37%.

Con la información disponible se puede decir que la mayor parte de las pérdidas está desde la fase de comercialización hacia atrás, hacia la producción.

3.3 Origen de las pérdidas y desperdicio de alimentos¹⁴

Los alimentos se pierden y desperdician a lo largo de toda la cadena de suministro de alimentos, desde la producción inicial hasta el consumo final en el hogar o en la restauración¹⁵. En los países de ingresos bajos, la mayoría de los alimentos se pierden en las etapas de la cadena de suministro de alimentos que van de la producción al procesamiento. Por el contrario, en los países de ingresos altos y medianos de las pérdidas y el desperdicio son generados fundamentalmente por hábitos de consumo inadecuados. En la Figura 4 se muestra como se da el desperdicio de alimentos a lo largo de la cadena de suministro.

¹⁴ Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo, FAO 2011, pág. 11-16.

¹⁵ Restauración: actividad hostelera que comprende a los restaurantes.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

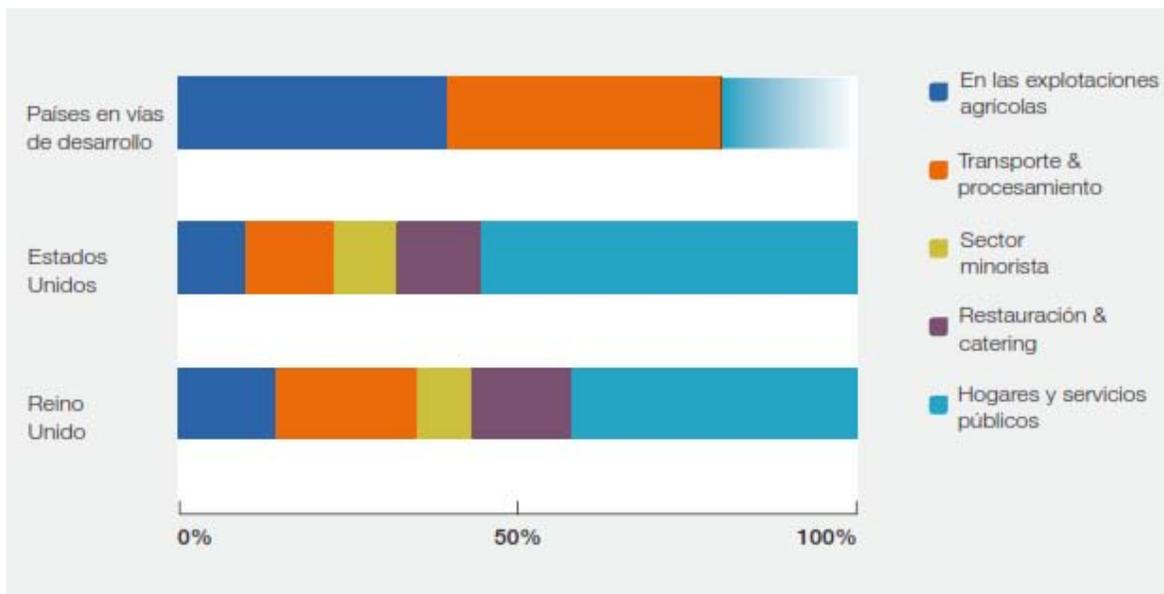


Figura 5: Desperdicio de alimentos a lo largo de la cadena de suministro de alimentos.

Fuente: Science (2010), Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People.

➤ En la fase de producción primaria¹⁶

La producción primaria es el primer eslabón de la cadena: cría, producción o cultivo de los productos de la tierra, ganadería, pesca, caza y es la que proporciona “la materia prima” de la cadena.

En el ámbito agrícola, las pérdidas y el desperdicio de alimentos se pueden dividir en dos categorías: los alimentos que no se cosechan o desechan entre la cosecha y la venta en origen. Dada la variación y los riesgos inherentes a la agricultura, en muchas ocasiones, es difícil para los agricultores ajustar la oferta a la demanda. Así mismo, existen productos que no pueden ser cosechados o comercializados debido a los daños causados por plagas, enfermedades, y en el clima, lo que da lugar a que se planten o siembren producciones de las que se demandan en el

¹⁶ Estrategia más alimento menos desperdicio. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente, Madrid, 2013. Pág. 9 – 11.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

mercado, con el fin de protegerse de las consecuencias de las inclemencias y adversidades. Otra causa de las pérdidas y desperdicio en esta etapa se encuentra en la praxis de la recolección selectiva, dejando en el campo cualquier producto que no vaya a pasar los estándares mínimos de calidad en cuanto forma, tamaño, color y maduración.

- En la fase de gestión, manipulación y almacenamiento.

Una vez recogida la cosecha, la principal causa de pérdidas y desperdicio en los países desarrollados, no es la falta de instalaciones de almacenamiento, o de infraestructuras, o deficiencias en la cadena de frío y en transporte, sino la eliminación de los productos por tener en cuenta criterios de calidad comercial exigidos por las normas de calidad y el mercado, como color, peso, defectos, etc. En cambio, en los países en desarrollo, las escasas instalaciones de almacenamiento y la falta de infraestructura causan pérdidas de alimentos durante la poscosecha. Los productos frescos (como frutas, hortalizas, carne y pescado) directos de la explotación o tras la captura pueden estropearse en climas cálidos debido a la falta de infraestructura para el transporte, el almacenamiento, la refrigeración y los mercados (Rolle, 2006; Stuart, 2009).

- En la fase de acondicionamiento o transformación (industria)

La industria alimentaria se encarga de la preparación o elaboración de los alimentos utilizando la materia prima que llega desde la producción primaria. En dicho proceso se producen algunas pérdidas como consecuencia de un cierto deterioro de las materias primas o bien por peso, forma o apariencia inadecuada, o envases dañados, sin que por ello la inocuidad, el sabor o el valor nutricional de estos alimentos se vean afectados.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Las diversas operaciones de transformación generan así mismo pérdidas, en su mayoría debido a recortes, cuando las partes comestibles (piel, grasa, piezas de los extremos) y las partes no comestibles (huesos) se extraen de los alimentos. También pueden producirse pérdidas y desperdicio en la transformación, por los formatos de envases y embalajes que no estén adaptados a las necesidades de los consumidores o por los envases que son accidentalmente dañados durante el proceso. La industria agroalimentaria, presta especial atención a la forma de reducir estas pérdidas y desperdicio alimentario, dado que los avances en el envasado y los materiales en contacto con los alimentos han sido una de las áreas más desarrolladas en los últimos años en el campo de la investigación.

El envasado proporciona un gran número de beneficios, como por ejemplo proteger y conservar los alimentos desde el punto de producción hasta el punto de consumo y evitar su desperdicio. Los impactos medioambientales de los envases usados varían significativamente dependiendo de la composición (plástico, papel, vidrio, etc.) y de la función que deban cumplir (los diferentes tipos de productos tienen especificaciones diferentes). La industria ha trabajado para optimizar el uso de los envases a lo largo del ciclo de vida del producto con el fin de reducir al máximo los impactos adversos sobre el medio ambiente, asegurando al mismo tiempo el papel que desempeña el envasado a la hora de asegurar que la calidad de los alimentos no se vea afectado.

Hoy en día ya existen en el mercado varios materiales biodegradables y compostables: termoplásticos a base de almidón, de ácido poliláctico (PLA), policaprolactonas, películas de celulosa regenerada, etc. Los cuales aportan características técnicas similares a los de los films plásticos en una gran variedad de aplicaciones de envase y embalaje de alimentos¹⁷.

¹⁷ La funcionalidad de los “plásticos convencionales”, utilizando films renovables y compostables. Retos medioambientales de la industria alimentaria, pág. 199.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

➤ En la fase de distribución (mayoristas y minoristas)

Durante el proceso de comercialización y venta, los productos preparados por la industria se ofrecen al consumidor en establecimientos minoristas. Así mismo, los productos frescos, llegan a estos establecimientos a través fundamentalmente de los mercados mayoristas.

El transporte y la manipulación adecuada de los alimentos son especialmente importantes en esta fase de la cadena de suministro, especialmente con productos perecederos que requieren condiciones constantes de baja temperatura, pues si la temperatura sube los alimentos se deterioran. Además del deterioro del producto, resultado de su carácter perecedero, cabe destacar los desechos generados ligados a las fechas límites de consumo (caducidad y consumo preferente), así como las pérdidas y el desperdicio de alimentos debidos a la manipulación del consumidor en autoservicios, la existencia de estándares comerciales y los cambios en las preferencias del consumidor.

➤ En la fase de consumo (hogar y restauración)

Los consumidores y la restauración constituyen el último eslabón de la cadena alimentaria. Los hábitos de consumo que se han tenido hasta el momento y la actitud del consumidor en algunas regiones del planeta han conllevado una importante generación de desperdicios alimentarios. En los hogares los malos hábitos a la hora de planificar y hacer la compra y una gestión inadecuada de los alimentos en el hogar conllevan a que se generen desperdicios en cantidades importantes, que podrían evitarse. Se ha constatado que otra de las causas de desperdicio de alimentos en los hogares, es la falta de comprensión de la información indicada en las etiquetas, en cuanto a su conservación o caducidad.



En la restauración también se produce un desperdicio significativo de alimentos tanto en las cocinas como en los comedores. La dificultad de planificación entre la oferta y la demanda o el trabajar con productos de vida útil corta hacen que existan ámbitos importantes de mejora para reducir las pérdidas y el desperdicio de alimentos.

3.4 Impacto ambiental de las pérdidas y desperdicio de alimentos¹⁸

Cuanto más tarde en las fases del ciclo de vida se desperdicia un alimento, mayor es el impacto en el medio ambiente, debido a su producción y transformación innecesaria.



Figura 6: Ciclo de vida de los alimentos

Fuente: Food wastage footprint impacts on natural resources, FAO 2013.

➤ Tierras

La agricultura intensiva que no permite el barbecho¹⁹ y reposición de las tierras disminuye la fertilidad del suelo. Cuando aproximadamente un tercio de los alimentos que se producen en el mundo no se consume, los suelos sufren una

¹⁸ Food wastage footprint impacts on natural resources, FAO 2013.

¹⁹Barbechar: dejar descansar la tierra arada durante un tiempo para que se regenere.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

sobre explotación innecesaria. La disminución de la fertilidad de los suelos hace necesario recurrir a una mayor cantidad de insumos sintéticos, que causan contaminación y terminan ocasionando la pérdida de tierras cultivables.

- En 2007, se utilizaron casi 1400 millones de hectáreas de tierras para producir alimentos que no se consumieron. Esto representa una superficie más grande que Canadá e India juntos.
- Los principales productos desperdiciados cuya producción ocupa grandes superficies de tierras son la carne y la leche, que ocupan un 78% del total de la superficie, mientras que su contribución al total del despilfarro de alimentos es del 11%.

➤ Agua

El hombre utiliza grandes cantidades de agua para sus actividades cotidianas pero mucha más para producir alimentos, papel ropa y demás productos que consume. La huella hídrica de un país se define como el volumen total de agua que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por sus habitantes. En los países desarrollados donde el nivel de consumo de bienes y servicios es elevado, la huella hídrica per cápita es alta debido en parte al alto consumo de carne y productos industrializados. En contraste los países en vías de desarrollo, con un bajo consumo de carne, pueden también tener altas huellas hídricas, como resultado de una baja eficiencia en el uso del agua y condiciones de cultivo desfavorables.

En la agricultura se usa el 70% del agua dulce disponible en la Tierra y un aumento de la producción agrícola significaría un mayor consumo. Cuando los alimentos se desperdician el agua se malgasta.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

- En 2007, la huella hídrica mundial de la producción agrícola desperdiciada fue de alrededor de 250 km³; 3.6 veces la huella de agua azul del total del consumo de los EUA, equivalente al volumen de la descarga anual del río Volga²⁰.
- Si el desperdicio de alimentos fuera un país, se clasificaría en primer lugar en la lista de huella hídrica por países (por consumo de productos agrícolas) como se muestra en la Figura 6.
- Los cereales, la fruta y la carne son los productos que más contribuyen a la huella de agua

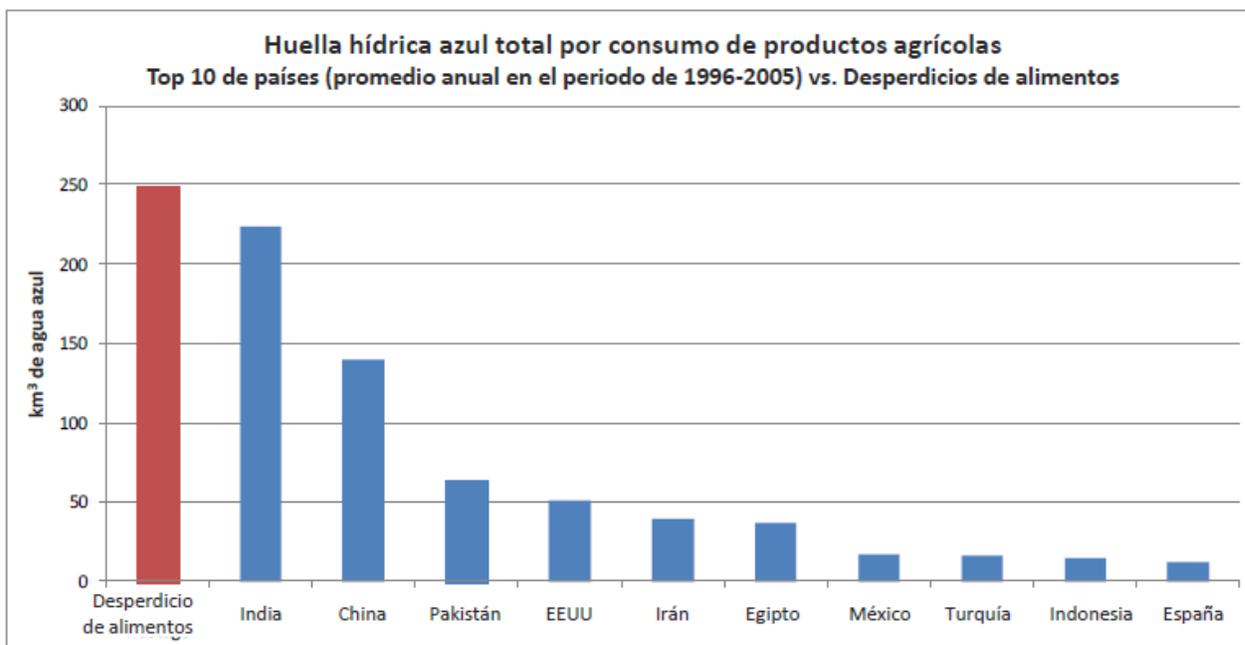


Figura 7. Huella hídrica azul total por consumo de productos agrícolas.

Fuente: Food wastage footprint. Impacts on natural resources. FAO, 2013.

➤ Cambio climático

Los sistemas alimentarios y agrícolas dependen de la disponibilidad de energía derivada de combustibles fósiles. El petróleo se utiliza en casi todas las fases de la

²⁰ Food wastage footprint. Impacts on natural resources. FAO, 2013.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

producción de alimentos, desde la producción de fertilizantes hasta la plantación y cosecha mecanizadas, el riego, el enfriamiento y el transporte. Además, los alimentos que son descartados y son vertidos en los rellenos sanitarios o tiraderos a cielo abierto, se descomponen anaeróbicamente liberando metano, una gas que tiene un poder de retención térmica 25 veces superior al dióxido de carbono.

- En 2007, la huella mundial de carbono, sin contar el cambio en el uso de las tierras, se estimó en 3.3 giga toneladas de CO₂eq. Esta cantidad es más del doble del total de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) de todo el transporte de los EUA en 2010.
- Si se incorporara en la clasificación de los principales países emisores, el despilfarro de alimentos ocuparía el tercer lugar, después de los EUA y China, de acuerdo con los datos más recientes.

➤ Biodiversidad

Los alimentos que no se consumen constituyen uno de los varios factores que contribuyen a las pérdidas de biodiversidad debidas a las variaciones de hábitat, a la sobreexplotación, a la contaminación y al cambio climático.

- En todo el mundo, la baja eficiencia de la producción de alimentos es en parte causa de la deforestación de una superficie de 9.7 millones de hectáreas anuales que se dedican al cultivo de especies vegetales alimentarias; esta superficie representa el 74 por ciento de la superficie total que se deforesta cada año.
- El despilfarro de alimentos contribuye a la expansión agrícola hacia zonas silvestres y al aumento de la pesca, que sobreexplota indebidamente los hábitats forestales y marítimos y se traduce en



pérdida de especies silvestres, incluidos mamíferos, aves, peces y anfibios.

- En algunas pesquerías de arrastre, los descartes (desperdicio de recursos marinos vivos ya capturados) llegan al 70 por ciento del total de las capturas.

3.5 Prevención de las pérdidas y del desperdicio de alimentos

Para lograr disminuir las pérdidas y desperdicio de alimentos, así como fomentar la valorización de los alimentos desechados, se requiere la participación de la sociedad y de los agentes de la cadena alimentaria. Teniendo como objetivo:

“Limitar las pérdidas y el desperdicio alimentarios y reducir las presiones ambientales optimizando al máximo el aprovechamiento del “excedente” que, de manera inevitable, se va a seguir produciendo en los distintos eslabones de la cadena”

Aplicando criterios de sostenibilidad, fomentando el diálogo y la coordinación entre los agentes de la cadena alimentaria y las administraciones públicas; propiciando de una forma organizada y estructurada, un cambio en las actitudes, procedimientos de trabajo y sistemas de gestión de los agentes de la cadena. Con lo que se pretende contribuir de forma directa e indirecta a la prevención y reducción de las pérdidas y desperdicio de alimentos a corto, medio y largo plazo. A continuación se presentan algunas recomendaciones para reducir de forma sustancial los desperdicios en casa y restauración.

➤ Planificar

Una forma práctica de evitar desperdicios de comida es hacer una compra correcta. Esto requiere una labor de planificación y organización. Programar el menú semanal, por ejemplo, ayudará a conocer con mayor precisión cuáles son



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

los productos que se necesitarán, cantidades aproximadas, que productos se tienen en la despensa, en el refrigerador o en el congelador y cuáles se deberán comprar. Tomando todos estos puntos en cuenta, solo se comprarán los productos que se necesitarán para los siguientes días.

Consejos para comprar adecuadamente

1. Es importante leer la información que aparece en la etiqueta de los envases; es importante conocer lo que se come y ser responsables de escoger las opciones más adecuadas de acuerdo a cada estilo de vida.
2. Se debe verificar la fecha de consumo preferente o de caducidad de los alimentos; son muchos los que confunden ambos términos y al ver que la fecha impresa en el producto ha superado el plazo se tiende a desechar el mismo. Pero solo debería ser así para la fecha de caducidad, es decir cuando se ha rebasado el límite de seguridad a partir del cual el alimento puede suponer un riesgo para la salud. La diferencia entre ambos conceptos es que la fecha de caducidad es aquella que indica a fecha a partir de la cual el producto no se debe digerir, ya que no es adecuado para el consumo. Se utiliza en productos muy perecederos desde el punto de vista microbiológico: pasteurizados (leche, quesos frescos, cremas), carnes o envasados al vacío.

En cambio, la fecha de consumo preferente hace referencia al tiempo en el cual el producto sin abrir mantiene sus propiedades en condiciones adecuadas de conservación. Pasada esta fecha, la calidad del producto puede disminuir, pero en ningún caso conlleva problemas para la salud. Se utiliza en alimentos con poca agua (aceite, legumbres, cereales),



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

deshidratados (purés, sopas), esterilizados (latas, cajas de leche) y en conservas.

3. En cuanto al almacenaje; existe un doble objetivo para un correcto almacenaje. Por una parte, asegurar que haya suficiente disponibilidad de productos en casa y estén colocados de forma que sea fácil ubicarlos y por otra, garantizar que tenemos alimentos necesarios para elaborar el menú que se ha planificado previamente.

Tener un buen orden en la despensa permite tener un mejor control de existencias. También facilita a la hora de realizar la lista de la compra ver cuáles son los huecos en la despensa o refrigerador que se tienen que reponer. Habitualmente se consumen aquellos alimentos que se han comprado recientemente. La única razón que explica esta tendencia es que se acostumbra a colocar los productos recién comprados al principio de la despensa, refrigerador, etc.

➤ Cocinar

Cocinar utilizando las cantidades justas de ingredientes para el número de comensales que se vaya a tener en la mesa, es fundamental para una buena gestión de los alimentos comprados. Cocinar de más está bien si se hace con la intención de congelar el sobrante y tener disponibilidad del plato para los próximos días, pero hacerlo sin control puede llevar a comer más de los que el cuerpo necesita y favorece el desperdicio de los alimentos.

➤ Reutilizar

1. En muchas ocasiones acaban en la basura restos de comida perfectamente aprovechables. Para asegurar que no se pone en riesgo



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

la salud cuando se aprovechan los sobrantes, es importante mantener una buena higiene en la cocina y seguir los siguientes consejos:

- a. Tapar y enfriar los sobrantes de comidas si no se congelan.
 - b. Se deben consumir siempre dentro de los dos días siguientes.
 - c. Los sobrantes se deben consumir antes de tres meses. Nunca se deben volver a congelar los alimentos sobrantes que se descongelaron.
2. En la cocina se genera la mayor cantidad de residuos, la gran mayoría procedentes de envases y comida. Es por ello que se hace tan necesario seguir los pasos para tratar estos residuos y darles el uso y destino adecuados. Empezando por ubicar un punto de reciclado estratégico y separando por colores, como se propone en la Figura 7, para que los residuos de alimento no se mezclen con otro tipo de residuos.



Figura 8: Residuos separados por colores

3. Optimización del excedente:
- a. Elaboración de co-productos (alimentación animal)
 - b. Compostaje
 - c. Valorización con recuperación energética



4. RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

Desde hace varias décadas los residuos agroindustriales han sido un foco de atención para varios investigadores a nivel mundial, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser materia prima para generar diversos productos de interés, esta situación sigue prevaleciendo en la actualidad y se prevé que continuará en el futuro.

4.1 Concepto de sostenibilidad y desarrollo sostenible

Desde que el ser humano existe y posee capacidad de raciocinio, ha buscado de manera intensa y continua el estado de bienestar. El estado de bienestar, se consigue a través de haber resuelto distintas necesidades básicas. La ingeniería sirve a este propósito facilitando la creación, producción y uso de gran rango de productos. En la actualidad la idea de “producto” es casi cualquier cosa que pueda ser comercializada, desde una materia prima a un servicio final. De ahora en adelante se utilizará el término genérico de “productos” a todos los recursos utilizados, sean materiales o energéticos, y también a los distintos servicios, ya que en definitiva también consumen materia, energía, fuerza de trabajo y tiempo y pueden ser comercializados.

Los productos están en la base de las economías, aunque, en la época actual, la economía no está sólo basada en productos. Pero el estado de bienestar sí parece sostenerse en ellos. La idea de sostenibilidad aflora en este punto ¿es el estado de bienestar que conocemos, sostenible?

Sostenibilidad es un estado donde la sociedad es capaz de satisfacer sus necesidades presentes alcanzando el estado de bienestar, sin comprometer que las generaciones futuras sean capaces de satisfacer sus propias necesidades para alcanzar y/o mantener el estado de bienestar. La sostenibilidad, no es un



estado único, es dinámico, depende de un gran número de factores y claramente es dependiente de la posición geográfica y del momento histórico en que se analice.

4.2 Industria procesadora de alimentos

La industria de alimentos se divide en dos categorías: frescos y procesados. Estos últimos son aquellos que han pasado por algún proceso físico o químico, a fin de mejorar su conservación y estado. Los alimentos procesados se integran por comida deshidratada, congelada, refrigerada, enlatada, cereales, helados, pasta, salsas, aderezos, botanas y otros productos empaquetados como carne, pescado, pan, lácteos, confitería, entre otros²¹.

Las tendencias mundiales de la industria de alimentos procesados están relacionadas con factores como el crecimiento de la población, incremento en el ingreso, crecimiento de algunas economías, salud, certificaciones y sanidad de alimentos, entre otros²². En 2011, la población mundial fue de aproximadamente 7 mil millones de personas. Se estima que la población mundial crecerá a una TMCA²³ de 1.1% durante el periodo 2011-2020.²⁴

Respecto a dicho crecimiento y como resultado del aumento en el ingreso, los países emergentes han incrementado su demanda en alimentos procesados. Estos países han optado por alimentos preparados y más refinados. Además, el fenómeno de urbanización ha fomentado el cambio de hábitos alimenticios por lo que el consumo de alimentos procesados se ha incrementado.

²¹ Industria de alimentos procesados, ProMéxico 2012.

²² Industria de alimentos procesados, ProMéxico 2012.

²³ Tasa Media de Crecimiento Anual.

²⁴ Organización de la Naciones Unidas (ONU)



4.3 Empresas procesadoras de alimentos líderes en el mundo

Las empresas del mundo más importantes por su nivel de ventas en la industria de alimentos, se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 3: Principales industrias mundiales de alimentos.

Industria	País de origen	Líneas de negocio
Nestlé	Suiza	Comida preparada, congelada, lácteos, bebidas, helados, alimento para bebé, alimento para mascotas, confitería
Unilever	Holanda	Aderezos y especias, helado, bebida, artículos de higiene personal y para el hogar.
Pepsico	Estados Unidos	Bebidas gaseosas y energéticas, frituras, botanas, galletas, cereales
Kraft	Estados Unidos	Confitería, lácteos y quesos, galletas, comida congelada, bebidas, cereales, abarrotos.
Mars	Estados Unidos	Confitería, comida preparada, bebidas, alimento para mascotas
Grupo Danone	Francia	Lácteos, agua, comida para bebé, nutrición.
General Mills	Estados Unidos	Cereales, snacks, lácteos, panadería, comida preparada.
Kellogs	Estados Unidos	Cereales, snacks, comida preparada y comida congelada.
Grupo Bimbo	México	Panificación , botanas, confitería

Fuente: ProMéxico, 2012



4.4 La industria procesadora de alimentos en México

El crecimiento de la industria mexicana de alimentos procesados se atribuye a factores como su capacidad de producción, los recursos agrícolas, el crecimiento de la economía, el aumento de la clase media del país, su competitividad para atraer empresas extranjeras y las capacidades del país para fungir como plataforma de exportación hacia los más de 40 países con los que tiene acuerdos comerciales.

4.4.1 Producción

La producción de la industria de alimentos procesados alcanzó un valor de 119,707 millones de dólares en 2011, lo que significó un crecimiento de 13.2% con respecto al 2010. Así, la industria contribuyó con el 22.7% del PIB manufacturero y el 3.9% del PIB nacional. Se estima que para el periodo 2011-2020, la producción de la industria en México crecerá a una TMCA de 6.3%. El 55% de la producción en México, se concentró principalmente en las categorías de panadería y tortillas y procesamiento de carnes, Figura 8.

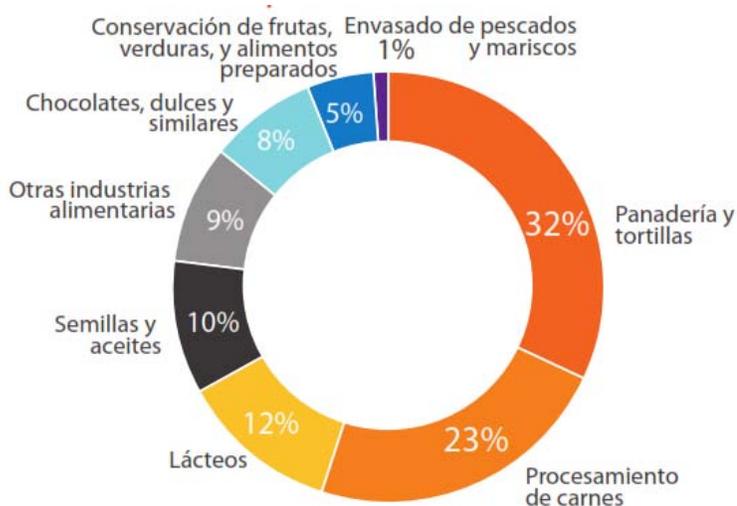


Figura 9: Producción por nicho en México
Fuente. INEGI



4.4.2 Consumo

En 2011, se estimó que el consumo de alimentos procesadores en México alcanzó un valor de 121,712 millones de dólares, es decir, creció 13.7% respecto al año anterior. Se espera que en el periodo 2011-2020, el consumo crezca a una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 6.1%.

4.4.3 Principales industrias procesadoras de alimentos en México

En el país existen un total de 155,723 unidades económicas de la industria, concentradas principalmente en Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Oaxaca y Veracruz. En 2009, el sector empleó a 815,229 personas. En la Figura 9 se pueden observar las de empresas exportadoras de alimentos procesados que existen en el país por estado y línea de negocio.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

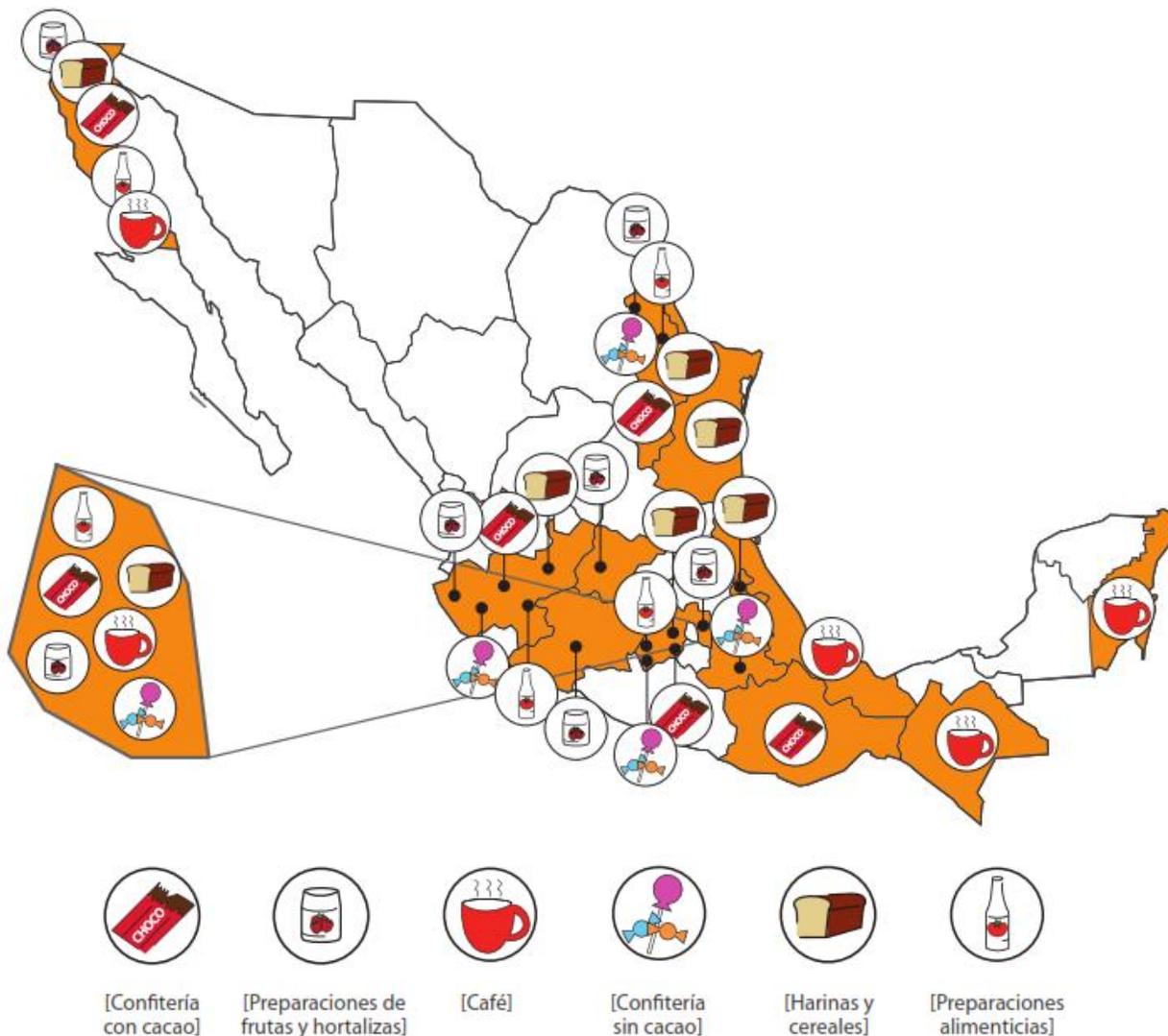


Figura 10: Industrias de alimentos procesados por estado.
Fuente: ProMéxico con datos de la Secretaría de Economía.

4.5 Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de producción de la industria procesadora de alimentos

La industria de alimentos tiene la necesidad de innovar y desarrollar nuevos alimentos que se adopten a las exigencias del mercado. Por otra parte, en este tipo de industrias se generan multitud de residuos con elevado potencial de



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

aprovechamiento que en la actualidad no se utilizan y suponen un gasto y problemas medioambientales. A continuación se enlistan el tipo de industrias alimentarias que pueden tener una generación de residuos alimenticios potencialmente aprovechables:²⁵

1. Conservas
2. Zumos
3. Cervezas y otras bebidas
4. Lácteas
5. Cárnicas
6. Pescado
7. Azucareras
8. Almidón
9. Aditivos

Hoy en día, son cada vez más las empresas y los grupos de investigación que se suman a la labor de encontrar opciones que permitan el aprovechamiento de estos residuos, no sólo como combustible, también como parte de la alimentación animal y más recientemente, humana, tras la obtención de compuestos bioactivos. El aprovechamiento de estos residuos obtenidos de la agroindustria, ofrecería una solución medioambiental, optimización de recursos y generación de una nueva fuente de ingresos, que hace que a las empresas ejecutoras les resulten inversiones rentables. En las últimas décadas, la situación del mercado ha cambiado de forma importante debido a la evolución en los hábitos de los consumidores, cada vez más críticos, informados y exigentes y con un creciente interés por la salud y la seguridad alimentaria. Todo esto ha llevado a las agroindustrias a desviar su atención de los aspectos tangibles a los intangibles, en

²⁵ Boletín monográfico. Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS. FIAB



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

una continua búsqueda de productos con mayor valor añadido. Por ello, la innovación, la gestión de residuos y la protección del medio ambiente deben ser puntos estratégicos de la industria agroalimentaria. Los residuos generados por la propia industria, constituyen una fuente de costo muy reducido, pero con una amplia diversidad de aplicaciones, una vez transformadas debidamente.

4.6 Los residuos como materia prima y origen de compuestos de valor añadido

La inmensa generación de residuos que supone la actividad normal de la industria agroalimentaria es uno de los principales problemas que se tienen en la actualidad. Estos residuos provocan una continua degradación del entorno, que hace que el aprovechamiento de los mismos sea un tema de gran interés, tendiendo a producciones cada vez con menos residuos. Muchos de estos subproductos procedentes de la industria pueden ser utilizados en numerosas aplicaciones, aportando importantes rentabilidades económicas al proceso industrial de partida, además de evitar daños medioambientales y generar nuevas oportunidades de negocio de muy distintos tipos, con las consiguientes ventajas sociales que ello reportaría.

Los residuos sólidos, generados por la industria agroalimentaria, están mayoritariamente constituidos por compuestos naturales procedentes de restos de materias primas fácilmente degradables y/o aprovechables, y su utilización actual es escasa (alimento para animales, abonos, extracción de componentes). Esto ha hecho que se dedique un esfuerzo considerable hacia la búsqueda de nuevas soluciones para su aprovechamiento.

Desde el punto de vista industrial, se aporta principalmente una ventaja esencial a la hora de iniciar este tipo de proyectos, concretamente, con el objetivo de reducir costos, aumentar rentabilidad y llegar a obtener productos estables y duraderos a



partir de fuentes que, en la mayoría de los casos, se caracterizan por su estacionalidad y su corta vida útil. La preocupación actual de la sociedad por el medio ambiente, unida a los aspectos económicos, ha motivado a las industrias a buscar nuevos métodos de tratamiento y manipulación de los residuos, dirigidos al aprovechamiento, la bioconservación y la utilización de los mismos.

4.6.1 Características técnicas de los residuos agroindustriales

En seguida se describen las principales características a tener en cuenta en un residuo o mezcla de residuos para su valorización energética en forma de biogás:

➤ **Sólidos totales/humedad**

La materia seca o sólidos totales (ST) de los residuos agroindustriales pueden ser muy variables. Algunos como el lactosuero o los purines de porcino pueden tener un contenido inferior al 10% de ST mientras que otros superan el 20%. El agua contenida en los residuos no produce biogás y por tanto ocupa un volumen no aprovechado en el digestor. Sin embargo, resulta imprescindible para que el proceso fermentativo se desarrolle adecuadamente a nivel microbiológico. Así pues, debe alcanzarse un equilibrio entre la productividad de biogás asociada al aporte de sólidos y la humedad necesaria para la digestión. La digestión de residuos agroindustriales se realiza habitualmente por debajo del 15% de ST (vía húmeda). Por otro lado, los residuos con un alto contenido en sólidos pueden crear problemas de bombeo, agitación, sedimentación o costras, entre otros, en el digestor. Por ello los sistemas de incorporación al digestor, los mecanismos de agitación o los de eliminación de sedimentos, deben ser diseñados adecuadamente.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

➤ Sólidos Volátiles / Biodegradabilidad

El porcentaje de sólidos volátiles (SV) suele variar entre el 70-95%. Los residuos que tienen un porcentaje al 60% no suelen considerarse buenos sustratos para la digestión anaerobia. Una buena biodegradabilidad es clave para obtener un alto rendimiento de biogás. La Tabla 3 muestra la biodegradabilidad de los principales componentes presentes en los residuos agroindustriales disponibles para producir biogás.

Tabla 4: Biodegradabilidad anaerobia de los principales componentes de los residuos agroindustriales.

Componente	Presente	Biodegradabilidad anaerobia
Azúcares	Remolacha o caña de azúcar. Subproductos de industria azucarera o fábrica de dulces.	Excelente
Almidón	Excedente de cereales, patatas, subproductos de fábricas de snacks o de almidones.	Excelente
Celulosa	Hierba, pulpas y pieles de frutas y verduras.	Buena
Proteínas	Subproductos animales, productos cárnicos, lácteos, o de la pesca.	Excelente
Grasas	Subproductos de origen animal o vegetal.	Buena ²⁶
Pesticidas, detergentes	Restos de producción vegetal, purines,	Regular
Sales	Salmueras o residuos salinos	No biodegradable
Arena	Restos vegetales, purines, etc.	No biodegradable
Metales	Residuos de envases	No biodegradable
Plásticos	Residuos de envases	No biodegradable

Fuente: Energía renovables a partir de residuos de la industria alimentaria, FIAB

²⁶ Requiere mayores tiempos de retención.



- Relación C/N

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) de un residuo, o mezcla de residuos, tiene una gran importancia para el proceso fermentativo. Esta relación puede variar entre 6 (ej. Deyecciones ganaderas) y más de 500 (ej. Madera). Para una degradación óptima se recomienda un intervalo 20-25. En la Tabla 4 se muestran los intervalos representativos para varios residuos agroindustriales.

- Potencial máximo de producción de biogás y producción real

Cada residuo orgánico tiene asociado un potencial máximo de producción de biogás, existiendo diferencias notables según su composición y grado de biodegradabilidad. El potencial máximo se determina experimentalmente mediante un ensayo discontinuo (o batch) a escala de laboratorio en el que el residuo se biodegrada completamente en condiciones anaerobias controladas. El potencial máximo puede variar desde 0.15 hasta 0.90 m³ de biogás/kg SV. Los residuos ricos en grasas son los que proporcionan altos rendimientos en biogás pero requieren elevados tiempos de retención. El tiempo de retención indica el tiempo medio en el que la mezcla de residuos incorporada al digestor entre el caudal de alimentación. Por ejemplo, los sustratos de un digestor de 2000 m³ alimentado con un caudal de 80 m³/ día tienen un tiempo de retención de 25 días.

A escala industrial los tiempos de retención se ajustan para aprovechar los picos de producción de biogás, lo que sucede generalmente con porcentajes de eliminación de sólidos volátiles entre el 40 y 60%. El tiempo de residencia alcanza un valor óptimo en función de criterios técnicos y económicos.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

Tabla 5: Características y producción de biogás de algunos residuos orgánicos agroindustriales.

Residuo	Sólidos Totales ST (%)	Sólidos volátiles SV (% ST)	C/N	Producción de biogás m ³ /kg SV	Tiempo de retención (días)	CH ₄ (%)	Sustancias no deseables	Sustancias inhibitoras	Problemas frecuentes
Purín de cerdo	3-81	70-80	3-10	0.25-0.50	20-40	70-80	Virutas de madera, cerdas, arena, cuerdas	Antibióticos, desinfectantes	Espumas, sedimentos
Estiércol	5-121	75-85	6-202	0.20-0.30	20-30	55-75	Cerdas, tierra, paja, madera	Antibióticos, desinfectantes	Espumas
Gallinaza	10-301	70-80	3-10	0.35-0.60	>30	60-80	Piedras, arena, plumas	NH ₄ ⁺ , antibióticos, desinfectantes	Inhibición por NH ₄ ⁺ , espumas
Residuos de frutas	15-20	75	35	0.25-0.50	8-20	-	Partes poco biodegradables	AGV, pesticidas	Acidificación
Restos de alimentos	10	80	-	0.50-0.60	10-20	70-80	Huesos, metales, plásticos	AGV, desinfectantes	Acidificación, sedimentos, mecánicos
Lactosuero	1-5	80-95	.	0.80-0.95	3-10	60-80	Impurezas	-	Acidificación
Vinazas	1-5	80-95	4-10	0.35-0.55	3-10	55-75	Partículas poco biodegradables	AGV	Acidificación
Hojas	80	90	30-80	0.10-0.304	8-20	-	Tierra	Pesticidas	-
Paja	70	90	90	0.35-0.455	10-505	-	Arena	-	Espumas
Madera	60-70	99.6	723	-	-	-	No utilizar	-	Biodegradabilidad
Jardinería	60-70	90	100-150	0.20-0.50	8-30	-	Tierra, restos poco biodegradables	Pesticidas	Biodegradabilidad
Hierba	20-25	90	12-25	0.55	10	-	Piedras, arena, tierra	Pesticidas	Acidificación

Fuente: Energía renovables a partir de residuos de la industria alimentaria, FIAB.



- Materiales no deseables

Los materiales no deseables pueden crear problemas de separación de fases por su sedimentación o flotación, espumas, etc. Se trata de materiales que suelen acompañar al residuo desde su origen: paja entera, arena, piedras, cristal, metales, materiales plásticos, etc. Una vez introducidos en el digestor son difíciles de retirar por lo que es importante separarlos antes.

- Sustancias inhibidoras

Las sustancias inhibidoras son compuestos que bien están presentes en los residuos antes de su digestión o bien se forman durante el proceso fermentativo anaerobio. Estas sustancias reducen el rendimiento de la digestión e incluso pueden llegar a causar la desestabilización completa del proceso fermentativo. Por ejemplo, la rápida descomposición de moléculas de gran tamaño como los carbohidratos y las grasas características de los residuos agroindustriales incrementa la concentración de ácidos grasos volátiles (AGVs). A determinados niveles los AGVs generan serios problemas de inhibición sobre todo en combinación con niveles bajos de pH. Otros problemas de inhibición son los causados por el amonio, el ácido sulfhídrico, o los ácidos grasos de cadena larga. Los pesticidas, desinfectantes, antibióticos presentes en algunos residuos también pueden llegar a afectar el proceso según su concentración.

4.6.2 Características de los sistemas de codigestión anaerobia de residuos agroindustriales

Los sistemas de digestión anaerobia empleados habitualmente para la codigestión de residuos agroindustriales son los reactores de mezcla completa, también denominados en inglés CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor). También se



emplean aunque de forma frecuente los digestores de tipo horizontal denominados “plug-flow” (flujo pistón). En general, la alimentación del digestor con material fresco se realiza de forma continua o periódica (ej. diaria). En función del tipo de residuos y su estado puede ser necesario llevar a cabo un pretratamiento. Los pretratamientos más frecuentes son la separación de materiales no biodegradables, la trituración del residuos o tratamientos térmicos con fines higienizantes (ej. pasteurización de residuos cárnicos o restos de catering), entre otros.

Como ya se indicó anteriormente, los digestores de residuos agroindustriales suelen trabajar por vía húmeda, es decir, con un porcentaje de sólidos inferior al 15%. En los digestores verticales agitados de mezcla completa, la concentración óptima de sólidos totales suele estar en el rango del 6-10%. En estos digestores la concentración de sólidos y microorganismos es similar durante todo el proceso. Ello se consigue generalmente gracias a una agitación continua a través de hélices o palas. En procesos que trabajan a una baja concentración de sólidos algo mayores, por encima del 10%.

La mayoría de digestores agroindustriales trabajan la fermentación con temperaturas en rango mesofílico. La alternativa es el rango termofílico, alrededor de los 55 °C. Esta última tiene ventajas y desventajas. Por un lado se consiguen rendimientos mayores y tasas de destrucción de patógenos superiores, pero por otro lado, el proceso fermentativo es más sensible y puede sufrir más desequilibrios por procesos de inhibición.

4.7 Plantas de producción de biogás agroindustrial en Europa

En la actualidad, el mayor número de plantas de biogás a partir de residuos agroindustriales se encuentra en Alemania, donde ya existen más de 4,000 instalaciones. En este país han proliferado en los últimos 6–7 años todo tipo de



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

plantas pero en especial aquellas en las que se realiza codigestión de residuos ganaderos y cultivos energéticos (principalmente maíz). En Dinamarca se construyeron, un gran número de instalaciones bajo el modelo de planta centralizada. Otros países que marcan el camino a seguir son Suecia, Austria o el Reino Unido. La tabla 5 muestra ejemplos de plantas en distintos países y de diversos tamaños, así como los residuos tratados en cada una de ellas, número y capacidad de los digestores, potencia instalada y modelo de planta (individual o centralizada).

Tabla 6: Ejemplos de plantas de biogás provenientes de residuos agroindustriales de la Unión Europea.

Localización	Residuos	Digestores	Potencia instalada	Tipo de planta
Vila-Sana, Lérida (España)	-11,500 m ³ /año de purín de cerdo - 4,300 m ³ /año de residuos orgánicos agroindustriales de la zona (derivados de alcohol y aceites vegetales, lodos, residuos de frutas, cebolla y leche.	2 digestores en serie de 1,270 m ³	1 motor de 380 kW	Individual
Juneda, Lérida (España)	-100,000 t/año de purín de cerdo de 70 granjas. - Lodos de matadero y subproductos producción de biodiesel.	2 digestores de 3,000 m ³	16.3 MW (-8% procedente del biogás)	Centralizada
Karpalund, Kristianstad (Suecia)	-36,000 t/año de estiércol. -32,400 t/año de residuos alimentarios. -3,600 t/año de residuos orgánicos domésticos.	1 digestor de 4,500 m ³	-	Centralizada
Holsworthy, Devon (Reino Unido)	-116,800 t/año purines, estiércol y gallinaza -Residuos alimentarios de la zona.	2 digestores de 4,000 m ³	2 motores de 2.1 MW	Centralizada
Nistelrode (Holanda)	-1,970 m ³ /año de gallinaza.	1 digestor principal de 75	Motor de 95 kW	Individual



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

	-29,200 t/año residuos alimentarios de la zona.	m ³ y un digestor secundario de 35 m ³		
Kaarsen (Alemania)	-100,000 t/año purín vacuno. -30,000 t/año de maíz.	2 digestores de 5,500 m ³ y 1 digestor de 2,500 m ³ .	2 motores de 1.416 kW	Individual
Bueren-Haden (Alemania)	-4,000 t/año purín. -10,000 t/año residuos alimentarios.	2 digestores principales de 1,527 m ³ y 2 secundarios de 2,661 m ³	1 motor de 630 kW	Individual

Fuente: Energía renovables a partir de residuos de la industria alimentaria, FIAB.

4.8 Industria restaurantera

La industria restaurantera se define como los servicios de preparación de alimentos y bebidas para su consumo inmediato. En general consiste en la mezcla y/o cocción de los ingredientes del grado de complejidad que represente su elaboración, se caracterizan por no efectuar ningún procedimiento de conservación o envasado del producto²⁷, de esta manera, entre la preparación de los alimentos y bebidas y su consumo, existe una brecha temporal muy corta. Los servicios que ofrece la industria restaurantera son muy diversos, es decir, las especialidades gastronómicas, la calidad o protocolo del servicio, el tipo de instalaciones requeridas, etcétera. Abarcan las siguientes clases de actividades:

- Restaurantes con servicio completo
- Restaurantes de autoservicio
- Restaurantes de comida para llevar
- Servicios de comedor para empresas e instituciones
- Servicios de preparación de alimentos para ocasiones especiales

²⁷ La preparación de alimentos por contrato y en algunos casos, la comida para llevar requieren de un empaque para su digestión, no obstante este tipo de empaque es sólo para transportación o integrar elementos para su posterior consumo.



5. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en el presente estudio está dirigida a obtener a nivel conceptual una propuesta para tratar los RSO provenientes de las industrias de alimentos y restaurantes en la zona industrial de Lerma, Estado de México vía DA, transformándolos en recursos aprovechables para la sociedad, tales como biogás y digestato, además de dar una solución a los residuos agroindustriales que sea favorable al ambiente.

En primer término se realizó una revisión bibliográfica de las industrias procesadoras de alimentos y los restaurantes de la zona industrial de Lerma, en documentos de economía y ecología del municipio de Lerma, así como Gacetas del Gobierno del Estado de México, con la información obtenida, durante la segunda etapa se investigaron las industrias que podrían dar información sobre la calidad y cantidad de sus residuos para realizar visitas a las plantas de producción.

La tercera etapa consistió en realizar una investigación in situ de la generación y el manejo de residuos sólidos orgánicos de las industrias y restaurantes que fueron seleccionados.

Con los resultados de la investigación in situ y bibliográfica, se llevó a cabo la cuarta etapa, la cual fue el desarrollo de estrategias, para la disposición de los residuos de las industrias procesadoras de alimentos y los restaurantes Lerma en una planta de DA en Capulhuac.



6. CASO DE ESTUDIO

Cierto es que la industria ocasiona innumerables impactos al medio ambiente, el Estado de México es actualmente uno de los polos de desarrollo más importantes en México. Aunque los censos y las estadísticas colocan al Estado de México en una posición destacada por su capacidad productiva, su infraestructura y su desarrollo, es importante mencionar que en sus numerosos centros de producción y parques industriales se genera el 11% del producto interno bruto de México. Esa cifra lo coloca en primer lugar comparado con otros conglomerados en América Latina y en el mundo, en su territorio operan 360 mil empresas, lo que significa 11 de cada 100 de ellas a nivel nacional. Algunas de las ramas industriales más importantes en el Estado de México son: la automotriz, electrónica, cementera, plástica, química básica, alimenticia y productora de fibras textiles.

La industria alimenticia, con su diversidad de segmentos, genera una gran cantidad de residuos (lodos, madera, cartón, papel, plástico, disolventes, aceite, llantas, grasa vegetal) y consume una gran cantidad de agua (ya sea como materia prima para la elaboración de algún producto o en usos diversos como son la limpieza, mantenimiento, sanitarios o riego de áreas verdes). Los principios de la producción más limpia tienen muchas aplicaciones en las industrias de alimentos, de hecho estos principios son necesarios para asegurar la calidad y la productividad sin deteriorar el medio ambiente y los efectos ambientales de dicha industria. Bien sea por sus procesos productivos o por los diferentes productos que salen al mercado. Cada sector en particular genera residuos en diferentes porcentajes de acuerdo con los tipos de productos que fabrican. Lo cual indicaría que ya sea de manera directa o indirecta, la industria alimenticia es uno de los sectores productivos que mayor impacto tiene sobre el medio ambiente, ya sea por las cantidades que se consumen de agua y materias primas o por los residuos generados de su proceso productivo.



Por otra parte los problemas hídricos que se han generado en el Valle de Toluca son diversos, entre los cuales se encuentra la escasez de agua potable en zonas urbanas, ya que gran parte de esta agua se destina a la industria, la agricultura y a abastecer a otras zonas urbanas, se ha presentado una notable reducción en los niveles de los mantos freáticos, lo cual a su vez ocasionan hundimientos en los terrenos propiciando daños en las casas, las zonas industriales ubicadas en este Valle han contaminado las fuentes de suministro.

El Valle de Toluca pasó de ser una zona de libre alumbramiento a zona de veda, según CNA²⁸, esto por la sobre explotación de sus mantos freáticos, razón por la cual ya no se están otorgando nuevas concesiones para extraer agua de los mantos freáticos, sólo se mantienen las ya existentes, además han sido afectados los ecosistemas de la región (flora y fauna), los paisajes lacustres, las costumbres y la forma de vida de los habitantes de la región, provocando conflictos sociales y económicos por la obtención del agua (Bastida Muñoz, 2009).

6.1 Municipio de Lerma, Estado de México.

Lerma es uno de los 125 municipios del Estado de México, está ubicado en el Valle de Toluca dentro de la región VII, en el centro del Estado de México. La cabecera municipal de Lerma, Lerma de Villada, se localiza a 54 kilómetros de la ciudad de México y a 10 kilómetros de Toluca.

Limita al norte con los municipios de Jilotzingo y Xonacatlán; al sur con Capulhuac y Tlanguistenco; al Oriente con Huixquilucan, Naucalpan de Juárez y Ocoyoacac; al poniente con Metepec, San Mateo Atenco y Toluca.

²⁸ CNA: Consejo Nacional Agropecuario



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

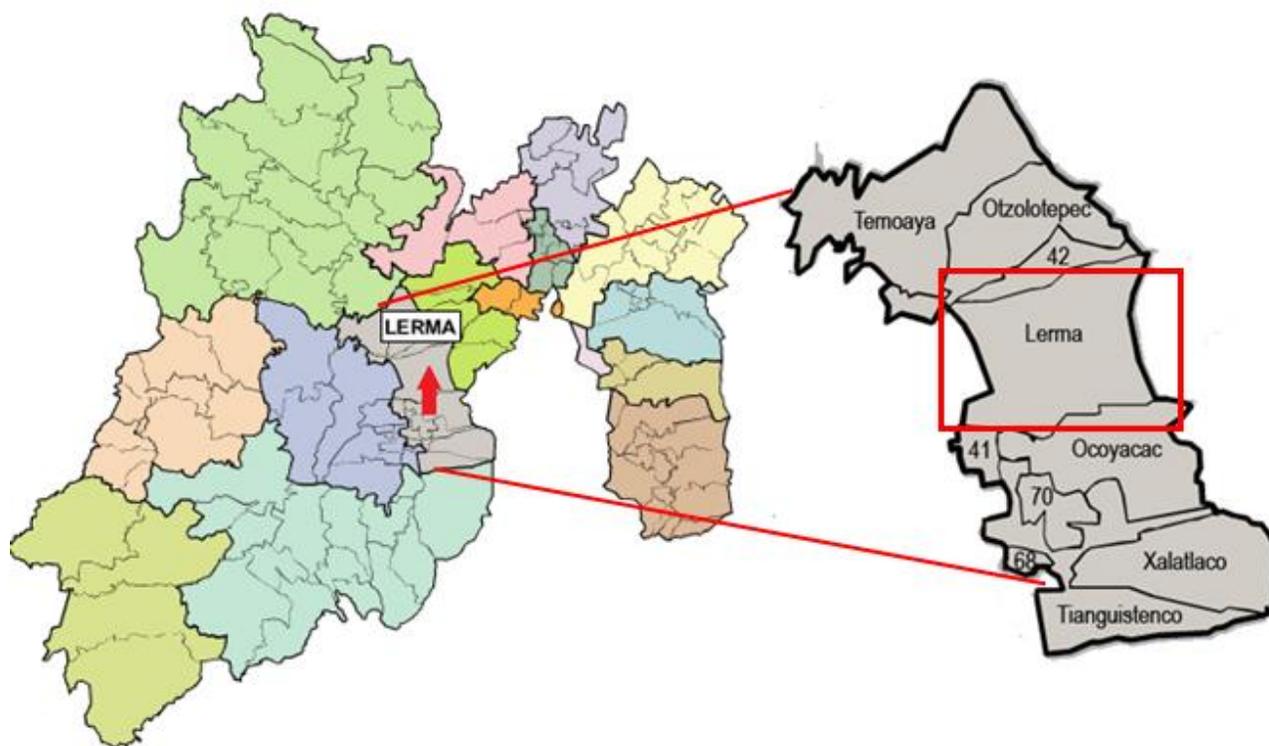


Figura 11: Localización de Lerma en región VII.

Fuente: Elaboración propia

Su altura sobre el nivel del mar varía desde 2,640 metros (en la cabecera Municipal) hasta los 3,150 metros sobre el nivel del mar (en los montes de Salazar).

Lerma se divide en seis regiones: Región I. Huitzilapan, Región II. Tlalmimilolpan, Región III. Atarasquillo, Región IV. Ameyalco, Región V. Lerma, Región VI. Tultepec y una Zona Industrial. Actualmente cuenta con una superficie de 23,258.76 hectáreas, lo que representa el 12.7% del total estatal (ver Figura 11).



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

En términos demográficos, la región ha mostrado una tendencia al crecimiento al pasar de 99,870 habitantes en el año 2000, a 134,799 en el año 2010²⁹, lo que se atribuye a la relación de vecindad con las dos zonas metropolitanas del Estado de México y a su cercanía con el DF. Además del impulso económico de la zona industrial Toluca-Lerma que ha generado impactos en la estructura territorial y socioeconómica de gran parte del Valle de Toluca, motivando un incremento poblacional a partir de la década de 1960.

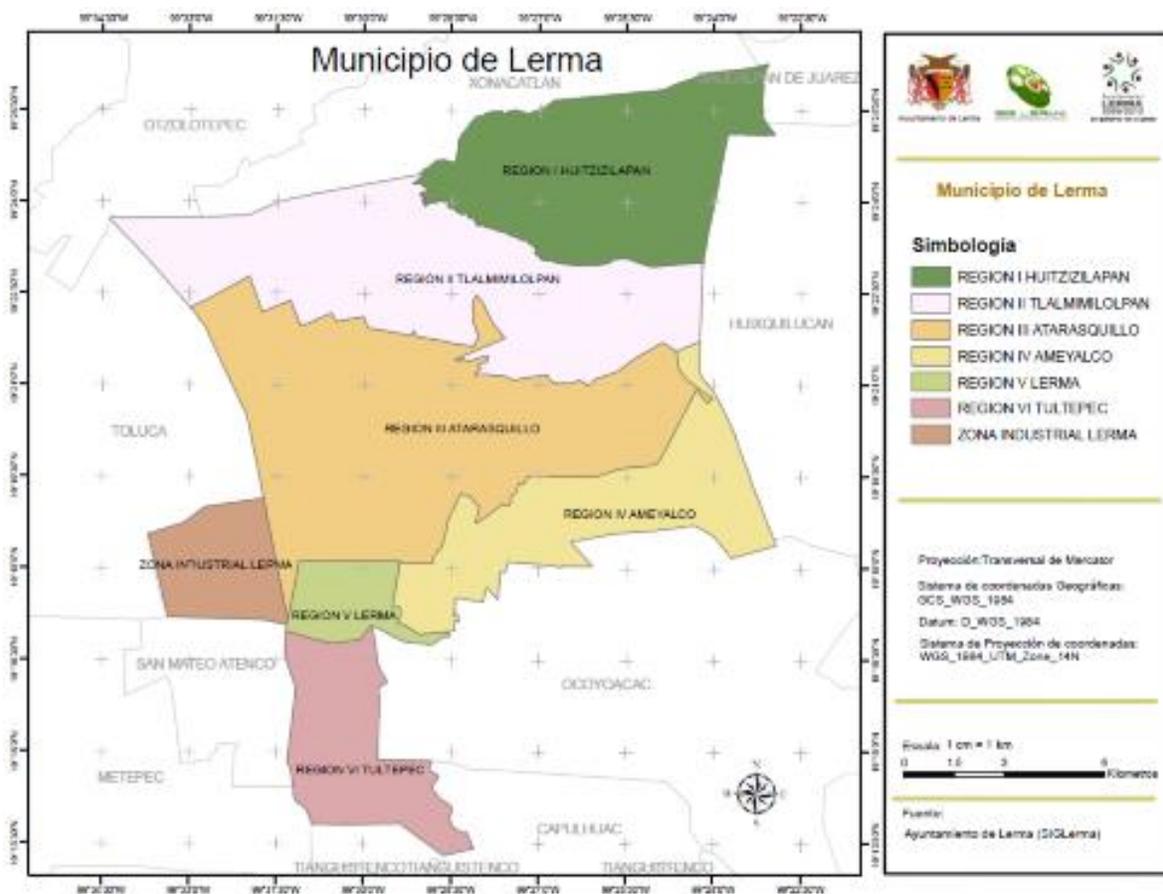


Figura 12: Regionalización del Municipio de Lerma.
Fuente: Gobierno del municipio de Lerma

²⁹ INEGI. XII Censo de Población y Vivienda, 2000. Censo de Población y Vivienda, 2010.



Todo esto ha traído problemas medioambientales. Se observa contaminación atmosférica e hidrológica provocada por la zona industrial, algunas de las fuentes de contaminación incluyen la sobreexplotación de los mantos freáticos y la contaminación de la Cuenca del Alto Lerma por la falta de infraestructura para tratar las aguas vertidas, los residuos provenientes de los contaminantes industriales, la manufactura y los derivados de la cría y matanza de borregos y otras razas, principalmente de los rastros que arrojan los desperdicios de sangre hacia el caudal del río Lerma, lo que carga el torrente de contaminantes difíciles de contrarrestar.

En cuanto al manejo de residuos sólidos la región no cuenta con un sitio de disposición final, por lo que 40,152 toneladas son recolectadas con 22 vehículos y los residuos son llevados a Zinacatepec. Lo anterior apunta la necesidad de mayor inversión en proyectos encaminados a resolver dicha problemática de manera prioritaria. En este sentido, los apoyos para mejorar la infraestructura y el equipamiento deberán estar enfocados a buscar sitios adecuados de disposición y apoyar en la inversión de los proyectos. La disposición final de los residuos sólidos debe ser de manera adecuada, para evitar infecciones, malos olores y enfermedades que afectan a la población y al medio ambiente. La operación y administración de estos sitios se puede hacer de manera independiente entre los municipios o puede recurrirse a las figuras de coordinación o asociación municipal. Es decir, que es un aspecto o problemática que puede ser resuelta con una visión regional.

6.2 Zona Industrial Lerma

La Zona Industrial se encuentra ubicada en el kilómetro 52.5 de la carretera México-Toluca, tiene una extensión de 416.5 hectáreas, Lerma cuenta con 7 parques industriales que albergan 239 empresas, de las cuales 13 corresponden a la industria procesadora de alimentos, lo que lo convierte en un municipio



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

generador de empleos. En la Tabla 6 se presentan las industrias procesadoras de alimentos en la zona industrial de Lerma y en la Figura 12 se muestra su ubicación en Lerma.

Tabla 7: Industrias procesadoras de alimentos en Lerma.

INDUSTRIA	PRODUCTO
HAZPAN S.A. DE C.V.	Panificadora
MUNDO DULCE S.A DE C.V	Elaboración de caramelos con y sin chocolate
NISSIN FOODS DE MEXICO S.A. DE C.V.	Elaboración de sopas instantáneas
METCO S.A. DE C.V. / MEXICANA DE TRANSACCIONES COMERCIALES S.A. DE C.V.	Elaboración de productos alimenticios bajos en calorías
UNILEVER MANUFACTURERA, S. DE R.L. DE C.V.	Elaboración fécula de maíz, jugo de soya y consomé de pollo
NESTLE MEXICO, S.A. DE C.V.	Fabricación y elaboración de café
INDUSTRIA MOLINERA SAN BARTOLOMÉ, S.A DE C.V.	Elaboración de Harina de trigo
BARCEL, S.A DE C.V.	Distribución y elaboración de productos alimenticios
COCA COLA FEMSA	Elaboración de bebidas
BIMBO S.A DE C.V.	Pan Dulce y galletas
SAFMEX, SA DE CV	Levadura seca y fécula de maíz
CERVECERIA CUAHUTEMOC MOCTEZUMA SA DE CV	Cerveza

Fuente: Elaboración propia

Los restaurantes que se encuentran dentro del área industrial de Lerma corresponden a cadenas de comida rápida. Los principales son:

- Mc Donalds
- Burger King
- Taco
- Kentucky FriedChicken
- Burger King
- Domino's Pizzas
- Pizza Hut



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

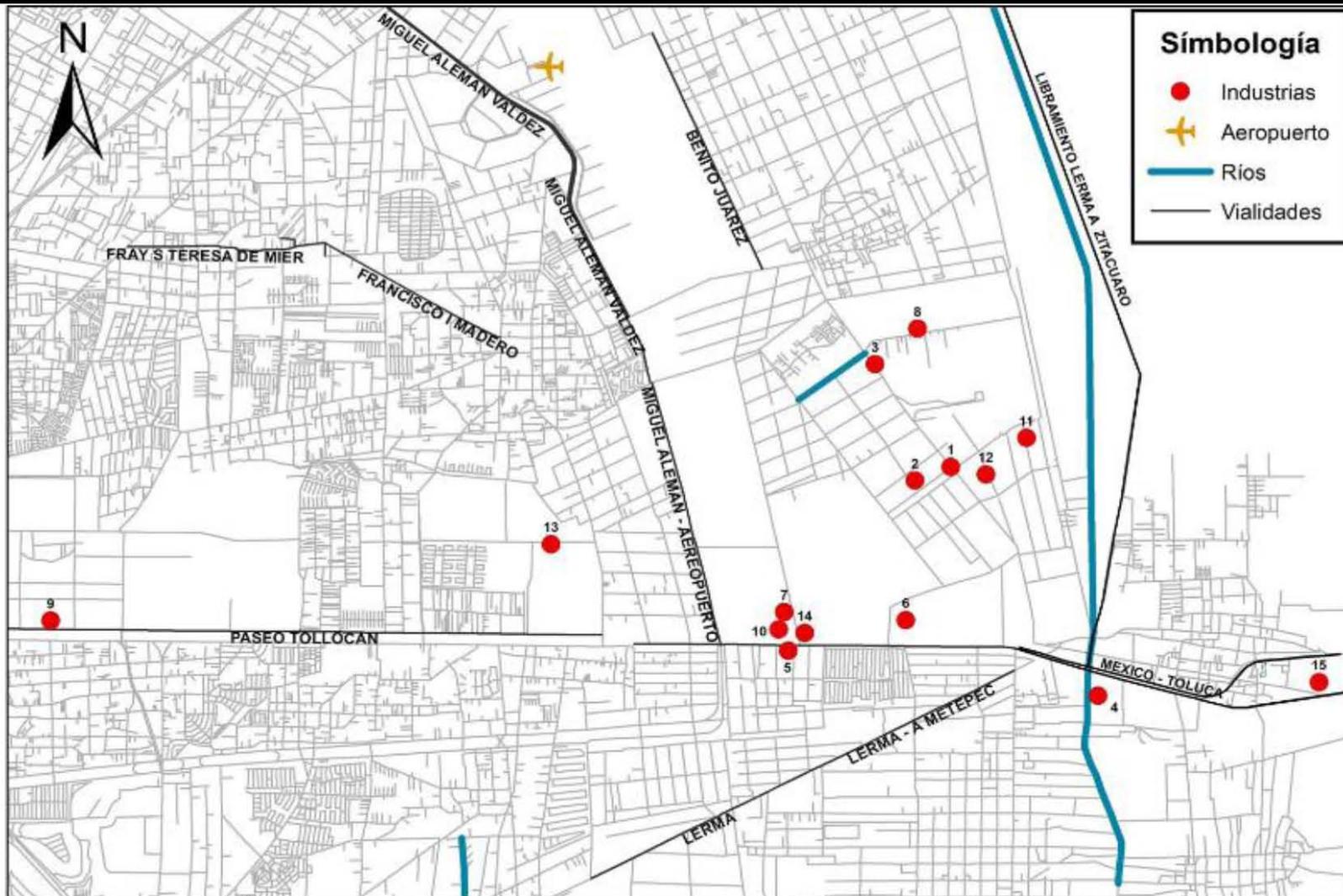


Figura 13: Industrias procesadoras de alimentos y restaurantes en la zona industrial Lerma.

Fuente: Elaboración propia.



6.3 Recorrido en sitio

En esta investigación, se realizó un estudio de campo en restaurantes de comida rápida y en dos industrias procesadoras de alimentos pertenecientes a Grupo Bimbo (Barcel) y Unilever (Ades, Maicena y Knorr Suiza) ubicadas en el Lerma, utilizando como técnicas de recolección de información: entrevistas dirigidas a los agentes involucrados con la actividad tecnológica y ambiental, consulta, observación directa y revisión bibliográfica.

6.3.1 Grupo BIMBO

Fundado en México el año de 1945, Grupo Bimbo es una de las empresas de panificación y más importante a nivel mundial por posicionamiento de marca, por volumen de producción y ventas, además de ser líder de su ramo en México y Latinoamérica. Con presencia en 18 países de América, Europa y Asia, cuenta con cerca de 5,000 productos y con más de 150 marcas.

A través de sus principales subsidiarias, Grupo Bimbo elabora, distribuye y comercializa cerca de 5000 productos, entre los que destacan una gran variedad de pan empacado, pastelería de tipo casero, galletas, dulces, chocolates, botanas dulces y saladas, tortillas empacadas de maíz y de harina de trigo, tostadas, y cajeta (dulce de leche). Cuenta con más de 150 marcas como Bimbo, Marinela, Milpa Real, Tía Rosa, Oroweat, Entenmann's, Thomas', Boboli, Mrs. Baird's, Barcel, Ricolino, Coronado, La Corona, Pastelerías El Globo, Suandy, entre muchas otras.

Está presente en México, Estados Unidos de América, Argentina, Brasil, Colombia, Costa Rica, Panamá, Chile, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Perú, Venezuela, Uruguay, Paraguay, República Checa y China.



6.3.2 Proceso de producción planta BIMBO

Bimbo emplea un sistema de producción en línea, manejando sus pedidos por lotes, esto quiere decir que la producción se realiza por pedidos (just-in time) ahorrándose los costos de almacenamiento y con esto asegurando la frescura y calidad de sus productos. A continuación se describe el proceso de producción que se lleva a cabo en la planta Bimbo:

- a) Tipo de proceso de producción: En línea de flujo variable.
- b) Productos: pan de caja (pan integral, pan blanco, pan tostado, rebanadas, etc.) y pastelitos diversos (donas, negrito, roles, conchas, etc.)
- c) Materias primas: harina de trigo, maíz, azúcar, fructuosa, saborizantes artificiales, huevo, leche, conservadores, chocolate, grenetina, colorantes, jalea, vitaminas y minerales en polvo, aceite vegetal, gas LP, energía eléctrica, agua, plásticos para empaque, cajas de cartón.
- d) Residuos: grasas, aceites plásticos para empaque, cajas de cartón, papel, vidrio, madera, barredura de los productos defectuosos o devueltos.

La materia prima llega al área de almacenamiento, posteriormente se pasa al área de pesado, en donde es pesada de acuerdo a cada uno de los requerimientos que cada área requiere, de allí es transportada a las líneas de producción en donde se prepara y mezcla la materia prima, enseguida en el transcurso de la línea se va extendiendo la masa, pasando al área de compactado marcado y cortado.

Una vez que se ha colocado la masa en la máquina moldeadora pasa a los hornos, en donde se lleva el proceso de cocimiento. Después de ser horneadas entran a una cámara de enfriamiento para posteriormente pasar al área de empaquetado, éste se embala la cantidad requerida de cada lote, para posteriormente llevar los productos a los distintos centros de distribución.



La logística y distribución del producto es una parte importante para la empresa, ya que de esta depende que el producto llegue fresco a todos los puntos de venta, la distribución del producto se realiza de la siguiente manera: El producto sale de la fábrica para ser transportado a las agencias, de las agencias salen los camiones de reparto para distribuir el producto a los distintos comercios, a los 8 días aproximadamente el repartidor vuelve a pasar a surtir lo que haga falta de productos y se lleva los productos rezagados que no se han vendido, estos productos que son devueltos regresan a la agencia para ser vendidos a las expendios de pan frio y la parte de productos que no son vendidos a estas expendios es devuelto a la fábrica para posteriormente ser procesado y obtener barredura de pan, la cuales materia prima para realizar alimento para ganado (producto que se vende a ganaderos locales) y para perros (producto que fabrica otra empresa que pertenece a los dueños del grupo, la marca es Clever).

6.3.2.1 Gestión de residuos planta BIMBO

Por otro lado la minimización es el objetivo principal de cualquier estrategia de residuos sólidos, la cual debe ser capaz de encontrar las medidas que eviten la generación de residuos, así como los medios económicos y ambientales más apropiados para separar y aprovechar los componentes que tengan valor y reducir los residuos que se envíen a otras formas de tratamiento adicional o al relleno sanitario, agentes que intervienen, detección de eco eficiencias e identificación de áreas de oportunidad, así como para identificar interrelaciones, vistas como un acercamiento cooperativo para obtener beneficios conjuntos de los intercambios de residuos, en la Figura un diagrama de flujo de los residuos sólidos de la planta BIMBO.



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

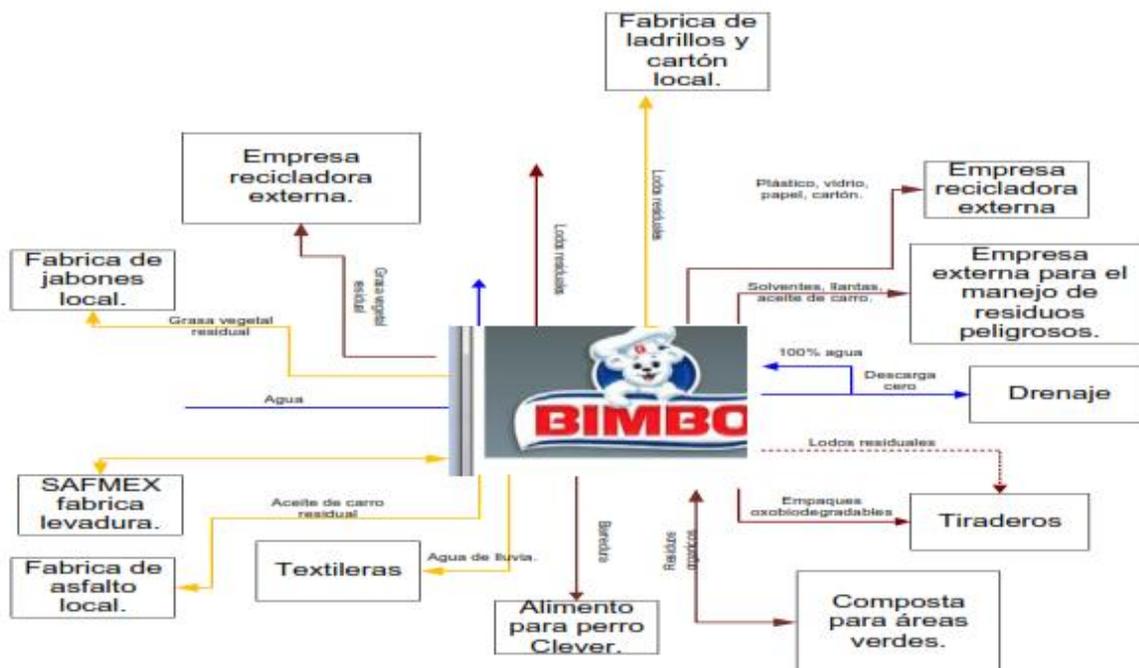


Figura 15: Diagrama de flujo de residuos sólidos en planta BIMBO Lerma

En lo que corresponde al flujo de residuos sólidos en la planta Bimbo se realizan las siguientes acciones. De la barredura que se genera de todas las devoluciones de pan que tienen, se muelen para que posteriormente sirva como materia prima para la fabricación de alimento para perro (marca Clever) y ganado, con los residuos orgánicos generados por la planta, estos son compactados para posteriormente ser depositados en un área que tienen destinada para la elaboración de composta, esta composta es utilizada como abono para las áreas verdes de la planta, los empaques con los que se envuelven los productos finales son oxobiodegradables (tienen la ventaja que se desintegran en un tiempo de entre 3 y 5 años) así como parte de los lodos residuales son vertidos en tiraderos, actualmente la planta realiza descarga cero de agua al drenaje municipal, lo que quiere decir que del 100% del agua que utiliza toda es reciclada y reutilizada para el riego de áreas verdes, servicio de sanitarios, lavado de camiones, y una parte en el proceso, específicamente en las torres de enfriamiento, cabe destacar que



en la planta cuentan con dos drenajes separados , uno para las actividades que se realizan dentro de la planta y otro para el manejo del agua de lluvia, de la cual captan y utilizan en parte ya que su capacidad no les permite captar esa agua en su totalidad.

6.3.3 Proceso de producción planta Barcel

Dentro de la planta de Barcel se llevan a cabo diversos procesos de producción de los productos que se comercializan. El proceso que se lleva a cabo para la elaboración de los productos como: cacahuates, papas y frituras de harina y maíz, primeramente se surte la materia prima, ya sea de procedencia nacional o extranjera, para el caso de las papas, son de procedencia nacional, particularmente del norte del país (Aguascalientes principalmente). Una vez que se haya adquirido el producto (cacahuate pelado, las papas, el maíz y la harina), éstos son almacenados en bodegas, siendo para el caso de las papas a granel y en cajas a bajas temperaturas para evitar que germinen. Es en la Industrialización donde los productos adquieren sus características particulares, y sus residuos específicos, mismas que se describen a continuación.

CACAHUATES: Primeramente los cacahuates son lavados con aire y agua a presión para que se les retira la membrana y con ello poder pasar al proceso de barnizado y tostado. Una vez que esto haya concluido, se hace una clasificación entre los cacahuates enchilados, salados, japoneses y hot nuts, mismos que pasan a ser condimentados para adquirir sus sabores y particularidades. Ya concluido dicho proceso, el producto es pesado y empaquetado para su comercialización. Durante el proceso productivo para la elaboración de este producto se generan los siguientes residuos: membrana (cáscara), aceite vegetal, recorte de empaques y contenedor de los empaques.



PAPAS: Las papas se lavan con agua a presión, una vez limpias se cortan y se fríen, es importante destacar que el pH del aceite es medido constantemente para determinar la calidad del mismo de forma automática y si es necesario remplazarlo. Una vez que se tiene las papas fritas, pasan a ser condimentadas en sus distintos tipos ya sean saladas, enchiladas, etc. Para posteriormente ser pesadas y empaquetadas. Durante el proceso productivo para la elaboración de este producto se generan los siguientes residuos: Agua sucia, lodos (producto del lavado de las papas) y aceite vegetal.

FRITURAS DE HARINA Y MAÍZ: En cuanto a las frituras, éstas requieren un proceso más elaborado, el cual parte del lavado del maíz, después se muele, de la masa que resulta se mezcla con harina, posteriormente se vuelve a moler para que se haga más fina y una vez que se tiene dicha mezcla, pasa por una banda donde es extendida, cortada, moldeada y pre cocida, ya con las formas del producto, se lleva a freír y condimentar para finalmente pesarse y empaquetarse para su comercialización. Durante el proceso productivo para la elaboración de estos productos se generan los siguientes residuos: Aceite vegetal, desperdicio de tortilla, agua sucia y lodos (producto del lavado del maíz).

6.3.3.1 Gestión de residuos planta Barcel

El manejo integral de los residuos sólidos en la actualidad incorpora el componente sustentabilidad y combina flujos de residuos, métodos de recolección, sistemas de separación, valorización y aprovechamiento del cual derivan beneficios ambientales y económicos que resultan en la aceptación social con una metodología versátil y práctica que puede aplicarse a cualquier región (como en el caso de las plantas pertenecientes al grupo). Esto puede lograrse combinando opciones de manejo que incluyen tratamientos que involucran el reúso, reciclaje, compostaje, biogasificación, tratamiento mecánico-biológico, incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios. El



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

punto clave no es cuántas opciones de manejo se utilicen, o si se aplican todas al mismo tiempo, sino que sean parte de una estrategia que responda a las necesidades y contextos locales o regionales, así como a los principios básicos de las políticas ambientales en la materia, a continuación se presenta en la Figura 14 el diagrama de flujo de residuos sólidos de la planta y algunas posibles sinergias o acciones a realizar.

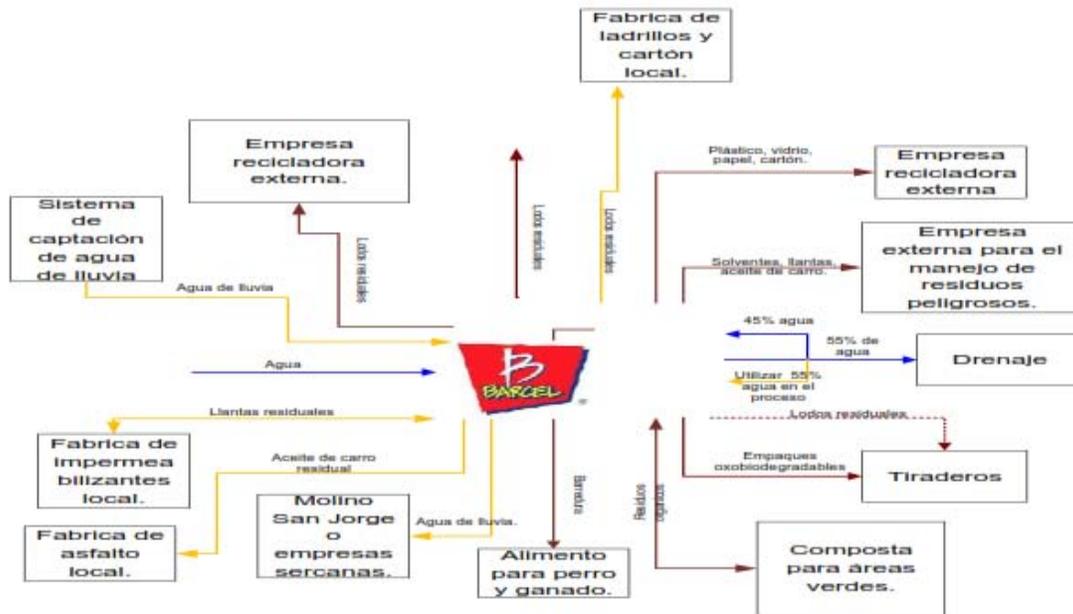


Figura 16: Diagrama de flujo de residuos sólidos BARCEL Lerma.

En lo que corresponde al flujo de residuos sólidos en la planta Barcel Lerma se realizan las siguientes acciones: De la barredura que se genera de todas las devoluciones de botanas (cacaahuates, papas, frituras de harina de maíz) que tienen, se muelen para que posteriormente sirva como materia prima para la fabricación de alimento para ganado, con los residuos orgánicos generados por la planta, estos son compactados para posteriormente ser depositados en un área que tienen destinada para la elaboración de composta, esta composta es utilizada como abono para las aéreas verdes de la planta, los empaques con los que se envuelven los productos finales son oxobiodegradables (tienen la ventaja que se



desintegran en un tiempo de entre 3 y 5 años) así como parte de los lodos residuales son vertidos en tiraderos, parte es vendido a la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma del Estado de México y parte a los agricultores locales, actualmente la planta realiza descarga del 55% de agua al drenaje municipal, lo que quiere decir que del 100% del agua que utiliza el 45% es reciclada y reutilizada para el riego de áreas verdes, servicio de sanitarios, lavado de camiones.

6.3.4 Unilever

Unilever es una empresa anglo-holandesa de bienes de consumo multinacional. Su productos incluyen alimentos, bebidas, productos de limpieza y de higiene personal. Se trata de la tercera empresa de bienes de consumo más grande del mundo y el mayor fabricante del mundo de los helados.

Unilever posee más de 400 marcas, entre las más grandes de venta son Aviance, Axe, Ben y Jerry, Dove, Hellmann, Knorr, Lipton, Ades, Holanda, Maizena, etc. Fue fundada en 1930 por la fusión de fabricantes británicos de jabón Lever Brothers y los fabricantes de margarina holandesa Margarina Unie.

Unilever está presente en la zona industrial de Lerma, llevando a cabo la fabricación de jugo de soya con o sin fruta, maicena, concentrados de caldo de pollo, sopas para cocinar y miel. Los residuos que se producen son:

- Okara: residuos provenientes de la molienda y remojo de la soya.
- Barredura de harinas, pastas y condimentos.
- Fructuosa disuelta en agua.

Así como residuos orgánicos provenientes del comedor, los cuales son enviados a la planta de composta de Capulhuac.



6.4 Resultados

En la tabla 7 se resumen los residuos generados en por las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes en Lerma y la cantidad generada al día. Esta información fue obtenida de entrevistas a los empleados del departamento de producción

Tabla 8: Residuos generados por industrias de alimentos y restaurantes.

Tipo de residuos	Cantidad generada (t/día)
Barredura de pan, papas, harinas	1.3
Bagazo, okara, residuos de granos y café	33
Residuos de comedores	0.2
Grasas	0.03
Total	34.5

Fuente: Elaboración propia.

6.5 Capulhuac

Debido al crecimiento de generación de residuos sólidos urbanos en el Estado de México, así como los requerimientos necesarios para su manejo, selección, separación y de acuerdo al marco normativo del Estado de México y el Federal, se ha hecho necesario el desarrollo de una planta de DA para el tratamiento de la fracción orgánica de RSU. El municipio seleccionado para desarrollar el proyecto de diseño de una planta de digestión anaerobia a gran escala es Capulhuac.

El municipio de Capulhuac se localiza al centro del Estado de México. Está ubicado al sureste de la Ciudad de Toluca, la capital del Estado de México. Limita al norte con el municipio de Ocoyoacac; al sur y al este con el municipio de Santiago Tianguistenco, y al oeste, con los municipios de Santiago Tianguistenco y Lerma, a una distancia de 15 km de su zona industrial con un tiempo aproximado de recorrido de 20 min.



marco normativo, permitiendo un tratamiento adecuado y más eficiente de los RSO. Esta planta estará formada por:

- Sistema pretratamiento (trituration y mezclado de los RSO)
- Biodigestor Anaerobio
- Sistema de colección de gases
- Quemador de biogás

6.5.1 Planta de composta

Actualmente Capulhuac cuenta con una planta de Composta con instalaciones en una superficie de 2.6 Ha, cuenta con zona para las pilas de composteo, zona de cribado, área para recuperación y almacenamiento de materiales reciclables, área para almacén temporal de materiales destinados a disposición final, así como oficinas, baños y cobertizo para maquinaria (compactación y trituración). Esta planta de composteo funciona como zona de transferencia y separación de productos procedentes de la recolección. El acceso se permite tanto a camiones municipales como a camionetas particulares, siempre y cuando lleven separados los residuos por fracciones orgánica e inorgánica. Una vez empleado el material con vocación de uso, el resto se deposita temporalmente en una zona del terreno, para ser llevado a disposición final en Xonacatlán. La Figura 19 muestra el flujo de operaciones en la planta de composta de Capulhuac.

Aunado al proceso de descomposición natural, se añade en lagunas pilas inoculación con lombrices, lo cual permite mejorar las condiciones de incorporación del oxígeno al material. El tratamiento completo dura aproximadamente cinco meses y a su término se realiza la cosecha de composta, se criba y se empaca en costales de 50 kg (USAID, 2013). Capulhuac genera 21.5 toneladas de RSU al día, de los cuales el 51% (10.9 t) son de tipo orgánico, considerando que el 98% de residuos orgánicos generados ingresan a la planta y



debido a que el terreno disponible es de 2.6 hectáreas la capacidad máxima de la planta es de 26 t/d.

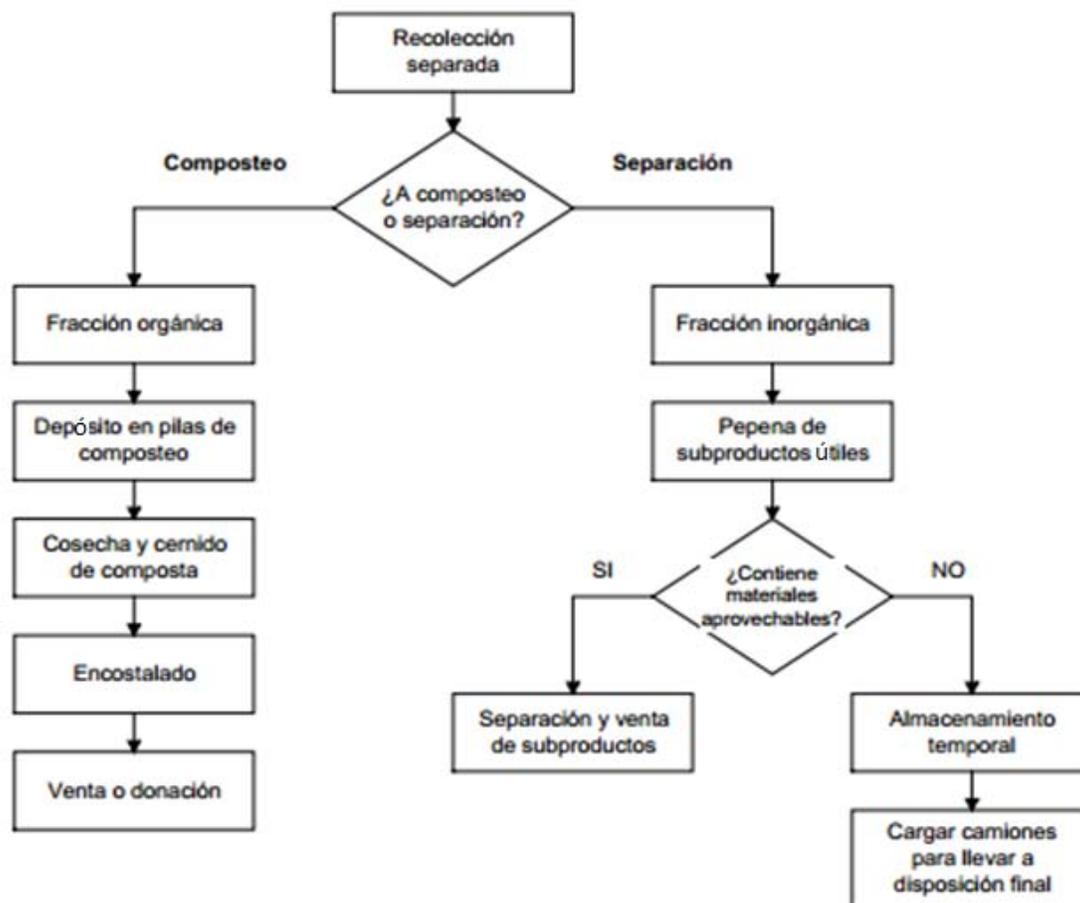


Figura 18: Flujo de operaciones en el sistema de composteo en Capulhuac.

Fuente: Estudio de factibilidad para el empleo del tratamiento mecánico biológico en combinación con la recuperación de materiales para reciclaje y composteo, en la micro región de Santa María Rayón, Estado de México. Secretaria de Ecología, Estado de México.

Es decir, que con la generación per cápita considerada y de acuerdo a la estimación de crecimiento poblacional (ver tabla 9), la demanda estaría cubierta aproximadamente, hasta el año 2020. La planta de composta podría seguir



operando con las instalaciones actuales, pero al aumentar la capacidad de tratamiento, la eficiencia del producto final disminuiría.

Tabla 9. Generación de RSU del municipio de Capulhuac en el horizonte de tiempo

AÑO	POBLACIÓN	GPC kg / d	GEN. RESIDUOS kg/d	FORSU t/d
**2010	34101	1.2	40921.2	22.5
***2015	38075	1.2	45690	25.1
***2020	40922	1.2	449106.4	27.0
***2025	43608	1.2	52329.6	28.8
***2030	46085	1.2	55302	30.4

GPC: Generación per cápita

** INEGI. Censo general de Población y Vivienda, 2010.

*** Proyecciones de Población 2000-2050 CONAPO.

La inclusión de un proyecto nuevo, que pueda instalarse en el mismo terreno, tendría la posibilidad de aumentar la capacidad de tratamiento hasta 50 t/d de FORSU y cubrir no solo la demanda de Capulhuac, sino de las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes, de los cuales ya se presentó la problemática relacionada con el manejo, tratamiento y disposición final de sus residuos. De este modo se obtendrían beneficios ambientales y económicos, que impacten en la región.

Con base a las características mencionadas anteriormente se diseñó una ruta de recolección comenzando por NESTLE, con un tiempo de recorrido de 1 h 13 min (ver figura 19), tomando en cuenta:

1. Cantidad de residuos: 34 t/día, almacenados en tolvas.
2. Frecuencia de recolección: diaria.
3. Tráfico de la ruta: poco por las mañanas, además se considera la recolección de residuos al término del tercer turno entre 6 y 7 de la mañana.
4. Capacidad de equipo recolector: 10 toneladas.



6.5.2 Planta de digestión anaerobia

La capacidad de operación de la planta de tratamiento será de 50 toneladas por día de FORSU. La composición de la FORSU es un parámetro importante, de este depende la producción de biogás, ya que será uno de los parámetros a controlar para lograr una biodigestión más eficiente.

➤ Descripción del proceso

El pretratamiento inicia con la entrega de la FORSU a la planta, cada tráiler vacía su contenido para ser alimentando al triturador, donde se logra una reducción de tamaño de partícula menor a los 40 mm, la FORSU triturada será enviada a un mezclador, donde llega también la corriente de recirculación de digestato-inóculo y una corriente de lixiviado rico en materia orgánica nutriente.

El tratamiento de la FORSU consiste en enviar la corriente proveniente del mezclador al digestor anaerobio seco, donde ocurre la reacción bioquímica de la FORSU con agua en una relación 1/0.25 para producir los gases que se muestran en la Ecuación 1.



(Ecuación de Baswell referencia manual de biogás)

Dónde:

n= coeficiente estequiométrico para el amoniaco

s= coeficiente estequiométrico el sulfuro de hidrógeno respectivamente.

En el biodigestor se produce biogás y digestato, el digestato es enviado a un deshidratador. El biogás es llevado a una biobolsa (Gasómetro) donde se colectará para su envío a purificación para obtener biometano con 96% de CH₄ aproximadamente, de donde será enviado a un sistema de cogeneración para



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

producir energía eléctrica y vapor de baja presión, corriente que se requiere para la inyección al mezclador.

Con la ejecución de este proyecto se atenderán en su totalidad dos grandes requerimientos:

1. Ofrecer una alternativa real al manejo de los RSO generados por las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes de la zona industrial de Lerma y los RSO generados por el municipio de Capulhuac, enfocando el objetivo al tratamiento de los mismos, mediante la estabilización con un proceso de digestión a anaerobia; y por otra parte,
2. Ofrecer productos que puedan ser aprovechados por parte de la población y que permitan hacer del proyecto un modelo sustentable.

En la siguiente tabla se resume los productos que se obtienen con el proyecto, a partir del tratamiento de 50 toneladas diarias de RSO.

Tabla 10. Productos generados

FLUJOS DE ENTRADA	FLUJOS DE SALIDA
FORSU: 50 t/d	Digestato para uso como mejorador de suelo: 11 t/d
	Biogás: 6 t/d
	Biometano: 2 t/d
	Gas no aprovechable: 4 t/d
Consumo de energía eléctrica total: 3,172 kWh/d	Energía producida: 11,160 kWh/d
Porcentaje de consumo de energía eléctrica	28 %

Los beneficios específicos del proyecto son:

- Beneficios Ambientales
 - Disminución del potencial contaminante de los residuos orgánicos mediante un tratamiento



ANÁLISIS CONCEPTUAL DE LA VIABILIDAD DEL USO DE LA DISGESTIÓN ANAEROBIA PARA EL PROCESAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS INDUSTRIALES Y RESTAURANTEROS DEL ÁREA DE LERMA, ESTADO DE MÉXICO

- Valorización de los residuos orgánicos como materia prima de bajo costo para su empleo en la obtención de energía.
 - Evitar la contaminación de suelos y manto freático causado por los lixiviados en los tiraderos a cielo abierto y en los sitios de disposición final que no cuentan con sistema de recolección de lixiviados.
 - Reducción en la generación de gases de efecto invernadero (GEI) por la disposición sin tratamiento de residuos orgánicos.
- Beneficios Económicos
- Disminución del pago por disposición final a Rellenos Sanitarios
 - Ingresos por aprovechamiento de energía generada
 - Ingresos por venta de fertilizante/mejorador de suelos
 - Generación de empleos para la operación de la planta de tratamiento.
- Beneficios Sociales
- Aprovechamiento más eficaz y seguro de los residuos inorgánicos.
 - Eliminación de la afectación a la población por contaminación visual debida a la presencia de rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.
 - Reducción de espacios requeridos para su uso como rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto.
 - Mejora de la cultura ambiental de la sociedad mediante la implementación de mecanismos de separación de residuos desde la fuente de generación (hogares).
 - Minimización de riesgos a la salud como producto de acumulación prolongada de la FORSU.



7. CONCLUSIONES

Hoy en día se sabe que la producción sustentable de alimentos y el valor añadido de los residuos se han convertido en uno de los temas más importantes en el mundo.

La adecuada disposición final de los residuos agroindustriales y restauranteros, es indispensables, esto debido a la gran cantidad de residuos que se generan y a la manera como las industrias y restaurantes del sector disponen actualmente de ellos. Sin considerar la posibilidad de diferentes alternativas para aprovechar el valor económico que puede obtenerse de ellos. Sólo con los residuos generados por las industrias procesadoras de alimentos y restaurantes estudiados, se generan 34t/día (Tabla 7), podrían cubrir la capacidad de procesamiento de 50 t/día en la planta de DA en Capulhuac y así gestionarlos como materia prima de otros procesos, produciendo 6 t/día de biogás y 11 t/día de digestato, obteniendo un beneficio ambiental, social y crecimiento económico para los ciudadanos de la zona de influencia y del país en general.

Así como el cumplimiento de la normatividad aplicable en materia de residuos y contribuyendo de forma directa con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y con el Programa para la Prevención Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de México, además de empatar con las tendencias mundiales de aprovechamiento de residuos.



8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bala, A; et.al., 2012. Retos medioambientales de la industria alimentaria. Ed. International Marketing & Communication, S.A., Burgos, 236 pp.
2. Dilewski, G. et. al. *Estudio de factibilidad para el empleo del tratamiento mecánico biológico en combinación con la recuperación de materiales para reciclaje y composteo, en la micro región de Santa María Rayón, Estado de México*. Gobierno del Estado de México, Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2002.
3. Espinosa L., M. d. C. y López T; m; 2007. La fracción de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás. *CENIC Ciencias Biológicas*, pp.33-37.
4. FAO, 2013. *Food wastage footprint Impacts on natural resources*. France 2013.
5. FIAB, *Energía renovable a partir de los residuos de la industria alimentaria: BIOGÁS* [Boletín informativo].
6. Flores, D. 2001. *Guía práctica para el Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos*. Quito Ecuador.
7. GIZ, 2012. *Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile*. Primera ed. Santiago de Chile: Cooperación alemana en Chile.
8. Gobierno del Estado de México. *Plan de Desarrollo 2011-2017 Región VII Lerma*, pp.1-218.
9. Google Maps, 2014. [En línea] Disponible <http://maps.google.com.mx>.
10. Gustavsson, J.et. al. *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo*. Düsseldorf, Alemania 2011.
11. H. Congreso de la Unión, 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Diario Oficial, 30 Mayo, pp. 1-43.
12. H. Congreso de la Unión, 2010. Ley general de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial, 15 Mayo, pp. 1-116.



13. INEGI, 2012. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. [En línea] Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx>
14. Medina, R. et. al. *Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Gobierno del Estado de Nuevo León, Embajada Británica en México. 2009.
15. Shefali, V; 2002. *Anaerobic Digestion of biodegradable organics in Municipal Solid Waste*. Bogota: Columbia University.
16. Tchobanoglous, G. y Theisen, H; 1994. *Integrated solid waste management*. Primera ed. Singapore, McGraw-Hill.
17. Thesis Consulting, 2007. *Efecto de control de pH, temperature y adición de nitrógeno sobre la digestión anaerobia de residuos hortícolas*. México, D.F.
18. Wehenpohl, G; Hernández, C. *Guía en Elaboración de Planes Maestros para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (PMGIRSM)*. Gobierno del Estado de México, Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2002.