



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INDUSTRIAL

**UN ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE PLANTAS
BIODIGESTORAS EN ESTACIONES DE TRANSFERENCIA EN MÉXICO**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. ELISEO EMANUEL PEDRAZA HACHO

TUTORA DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS, FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2017



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.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M. I. FERNANDO MACEDO CHAGOLLA

Secretario: M. I. FRANCISCA IRENE SOLER ANGUIANO

Vocal: DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

1° Suplente: DR. DANIEL VELÁZQUEZ VÁZQUEZ

2° Suplente: M. EN I. ALEJANDRA GUADALUPE CHACÓN GUTIÉRREZ

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Ciudad Universitaria, UNAM

TUTOR DE TESIS:

Dra. Aida Huerta Barrientos

FIRMA

(segunda hoja)

Agradecimientos

A **CONACYT** por el apoyo económico a lo largo de mi formación como estudiante de posgrado

A la **UNAM** y la **FES Aragón** por mi formación académica como universitario y todas las experiencias que traje consigo

A la **doctora Aida** por confiar en mí, enseñarme a confiar en mí mismo y darme el valor y las herramientas para enfrentar los problemas

Al **maestro Fernando** por enseñarme que los títulos y puestos valen más cuando se es humilde y que los profesores también te pueden enseñar en la escuela de la vida

A mi **madre**, mi primera maestra y la persona más fuerte y valiente que conozco y tal vez conozca, por enseñarme a ser la persona que soy y por demostrarme que los súper héroes si existen

A mi **padre**, la persona más sabia que conozco y que tal vez conozca, por creer en mí, enseñarme que todos tenemos un camino y ser mi modelo de honestidad, trabajo, constancia, humildad y respeto

A **Paquito**, mi mejor amigo de toda la vida y el único hombre al que he amado, por enseñarme que la sabiduría y la madurez no vienen necesariamente con la edad

A **Montse**, mi cómplice de travesuras y orgullo de la familia, por enseñarme que nunca es tarde para seguir tus sueños

A **Areli**, mi compañera de vida y la mujer más brillante que conozco y que tal vez conozca, por darme aliento cuando lo necesité, haberme dado parte de ella y haber cambiado mi vida y mi forma de vivirla

A mis **amigos** por darme ánimos, mostrarme que los errores nos sirven para mejorar y que puedo contar con ellos, aunque no pueda verlos

A **Alma** por enseñarme que detrás del miedo se encuentra el éxito y que la amistad sincera si existe

A **Tania** por enseñarme que la amistad es más grande que cualquier problema

RESUMEN

Debido a que México presenta una deficiente gestión de los residuos generados en casa-habitación y zonas conurbadas, así como la necesidad de cubrir la demanda energética actual, la cual, se percibe cada vez mayor, en este trabajo de investigación se propone la realización de un estudio de factibilidad para la instalación de plantas biodigestoras en Estaciones de Transferencia de residuos en la zona metropolitana de México y así reducir el impacto ambiental utilizando biogás como fuente de energía en lugar de algún combustible fósil. Para ello se analizaron y compararon diversos estudios de factibilidad realizados en distintas partes del mundo, bajo diferentes contextos, a modo de encontrar los puntos clave o factores comunes y cotejarlos con la información y características de México. Generando un antecedente para la creación de proyectos de recuperación energética a partir del uso de biodigestores en Estaciones de Transferencia de residuos como alternativa a los principales problemas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Resaltando que México cuenta con la normatividad y la materia prima necesaria para la implementación a nivel nacional de estos dispositivos.

Palabras clave: *estudio de factibilidad, México, biodigestores, manejo integral de residuos, Residuos Sólidos Urbanos (RSU).*

ABSTRACT

Due to the fact that Mexico presents a deficient management of the wastes generated in house-room and conurbated zones as well as the need to cover the current energy demand, which is perceived to be increasing, this research proposes the realization of a feasibility study for the installation of biodigestors in waste Transfer Stations in the metropolitan area of Mexico and to reduce the environmental impact using biogas as a source of energy instead of some fossil fuel. To do this, we analyzed and compared several feasibility studies carried out in different parts of the world under different contexts in order to find the key points or common factors and to compare them with the information and characteristics of Mexico. Generating a background for the creation of energetic recovery projects from the usage of biodigesters in waste Transfer Stations as an alternative to the main problems of Municipal Solid Waste (MSW). Emphasizing that Mexico has the normativity and the raw material necessary for the implementation of a national level of these devices.

Keywords: *feasibility study, Mexico, biodigesters, integrate waste management, Municipal Solid Waste (MSW).*

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA

ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
INTRODUCCIÓN	10
1. CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA	12
1.1. Problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU)	12
1.2. El problema por resolver	41
1.3. Objetivo general	41
1.4. Objetivos específicos	41
2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	42
2.1. Factibilidad y sostenibilidad	42
2.2. Indicadores	42
2.3. Revisión de la literatura	44
3. CAPÍTULO 3. UN ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE PLANTAS BIODIGESTORAS EN ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	56
3.1. Técnico	57
3.2. Legal	66
3.3. Económico-Ambiental	66
3.4. Sociocultural	69
4. CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE CASO: FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA BIODIGESTORA EN UNA ET EN EL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL	77
4.1. ET en el municipio Nezahualcóyotl	77
Técnico	77
Legal	78

Económico-Ambiental	78
Sociocultural	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
GLOSARIO	88
ANEXOS	89
A. Minuta del taller “El Rol del Sector Privado en las Promoción del Biogás”	89
B. Temperaturas (en °C) Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2004-2016.....	92
C. Estatutos y Reglamentos a Cumplir para la Instalación de Biodigestores	94
D. Encuestas de conocimientos, interés del medio ambiente y gestión integral de los RSU	96
REFERENCIAS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Esquema de caja negra del proceso general de fabricación de un producto.	12
Figura 2. Incremento de la población total a nivel mundial de 1950 a 2050.	14
Figura 3. Línea temporal de la normatividad relacionada al manejo de RSU.	16
Figura 4. Composición de los residuos y su respectivo porcentaje.	17
Figura 5. Los diferentes tipos de residuos y los materiales que los componen.	18
Figura 6. Tipo de residuos y nivel gubernamental responsable su manejo y disposición.	18
Figura 7. Diagrama nacional de flujo de los RSU.	19
Figura 8. Procesos bioquímicos en la generación de biogás.	22
Figura 9. Materiales aptos para la biodigestión y su proceso de selección.	24
Figura 10. Cambio de nombre de material usado desde su recolección hasta su utilización.	24
Figura 11. Componentes que constituyen una planta de tratamiento de residuos.	26
Figura 12. Proporción de municipios con y servicios relacionados a RSU.	35
Figura 13. Municipios con normatividad relacionada con RSU.	37
Figura 14. Porcentaje de municipios con normatividad para la gestión de RSU.	37
Figura 15. Tasa de crecimiento de actividad microbiana anaerobia contra tiempo.	63
Figura 16. Rendimiento de biogás de acuerdo al tipo de materia organica.	65
Figura 17. Nivel de errores mostrados por los encuestados.	80
Figura 18. Propuesta de referencia iconográfica para la fácil identificación y correcta disposición de los RSU.	86

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Causas de los principales problemas en México relativo a RSU.	15
Tabla 2. Temas referentes a la problemática de RSU y sus respectivas leyes en México.	15
Tabla 3. Localización y potencia eléctrica de plantas generadoras de biogás en México a partir de RSU instaladas.	27
Tabla 4. Localización y potencia eléctrica de plantas generadoras de biogás en México a partir de RSU en desarrollo.	27
Tabla 5. Entidades Federativas donde se han financiado proyectos de “Prevención y Gestión Integral de Residuos”.	28
Tabla 6. Fragmento de la totalidad de irregularidades presentadas en la Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 13-0-16100-02-0162.	29
Tabla 7. Municipios con disponibilidad de servicios relacionados a RSU por entidad federativa. ...	34
Tabla 8. Municipios por entidad federativa que cuenta con normatividad relacionada con RSU. ...	36
Tabla 9. Resumen de los datos proporcionados por DBGIR respecto a los parámetros a considerar en los RSU.	38
Tabla 10. Composición de los RSU que se generan en México y su respectivo porcentaje.	39
Tabla 11. Resumen de las características del documento: Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD Marches Biogas Ltd.	46
Tabla 12. Resumen de las características del documento: Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras.	48
Tabla 13. Resumen de las características del documento: Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural.	49
Tabla 14. Resumen de las características del documento: Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos.	51
Tabla 15. Resumen de las características del documento: Optimization of Biogas Production to Use in Cooking Stove.	52
Tabla 16. Resumen de las características del documento: The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production. ...	53
Tabla 17. Matriz comparativa de la revisión de la literatura.	54
Tabla 18. Factor de generación regional de RSU.	58
Tabla 19. Características de los RSU en la Ciudad de México.	61
Tabla 20. Parámetros y rangos para la generación de BG.	61
Tabla 21. Parámetros técnicos, objetivos, indicadores y evaluación.	66
Tabla 22. Parámetros para determinar si el nivel de conocimientos es aceptable o no.	71

Tabla 23. Parámetros para determinar si el nivel de interés del medio ambiente es aceptable o no.	74
Tabla 24. Parámetros para determinar si el nivel de interés del comportamiento y hábitos con los RSU es aceptable o no.	76
Tabla 25. Parámetros técnicos tomados en cuenta para el estudio de caso	78
Tabla 26. Resultados de la encuesta de conocimientos.	79
Tabla 27. Resultados de la encuesta del nivel de interés del medio ambiente.....	82
Tabla 28. Resultados de la encuesta del nivel de interés del comportamiento y hábitos con los RSU.	83
Tabla 29. Propuesta de recolección de RSU por día de la semana.....	86
Tabla 30. Temperaturas Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2004-2010 con valores en °C.	92
Tabla 31. Temperaturas Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2011-2016 con valores en °C.	93
Tabla 32. Estatutos y Reglamentos a cumplir para la instalación de biodigestores	95
Tabla 33. Respuestas de la sección de conocimientos.....	99
Tabla 34. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de la responsabilidad de los RSU.	100
Tabla 35. Encuesta de percepción de la sociedad acerca del cuidado del medio ambiente.	101
Tabla 36. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de la separación de residuos.....	101
Tabla 37. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de los inconvenientes ante la separación de residuos.	102
Tabla 38. Porcentaje de separación de residuos orgánicos.....	103
Tabla 39. Porcentaje de separación de residuos inorgánicos reciclables o reusables.	103
Tabla 40. Porcentaje de separación de residuos inorgánicos no reciclables ni reusables.	104
Tabla 41. Porcentaje de reutilización de residuos inorgánicos reciclables o reusables.....	104
Tabla 42. Formato para datos generales del entrevistado.	104

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación es una aproximación teórica a los problemas relacionados con la factibilidad de los proyectos afines a la recuperación de energía (RE) a partir de residuos sólidos urbanos (RSU)¹ en México, específicamente con biodigestores (BD) o plantas biodigestoras (PBG) por medio de digestión anaerobia (DA), abordando temas relacionados con el manejo de residuos, demanda energética y cambio climático, con la finalidad de realizar una propuesta para generar un escenario, teórico, viable para solucionar los problemas antes citados, mediante una interfaz amigable, que permita considerar diferentes aspectos y determinar la factibilidad para instalar plantas biodigestoras en estaciones de transferencia (ET) de basura en la zona metropolitana de México. La investigación realizada se basó en la evaluación de proyectos similares de RE y DA alrededor del mundo donde se resalta un impacto o beneficio sociocultural y medio ambiental, sin embargo, estos parámetros varían de acuerdo a la escala del proyecto, su alcance, contexto y, sobre todo: la materia prima utilizada durante el mismo. Igualmente se presentan diversos conceptos que son fundamentales para la realización y comprensión de este tipo de proyectos, así como, los aspectos que requieren cada uno para su implementación dentro de éstos. Beneficiando así a todos los involucrados en las diversas actividades relacionadas con los RSU como presidentes municipales, que son los encargados de gestionar su manejo y legislación; asociaciones afines a la RE a partir de residuos, que pueden ser empresas nacionales o extranjeras que desarrollen tecnología o investigación en este tema y parte de la población que esté próxima a las ET.

Cabe mencionar que la presente tesis comprende cuatro capítulos, mismos que se resumen a continuación. En el Capítulo 1: Problemática, se abordan diversas dificultades relacionadas a la generación y manejo de residuos desde dos puntos de vista: el primero, Contexto Internacional, donde de manera general, se

¹ La literatura a nivel mundial utiliza el concepto *residuo sólido municipal (RSM)* debido al termino en inglés *municipal solid waste (MSW)*, sin embargo, en lugares como Ciudad de México que no cuentan con municipios sino con delegaciones, alcaldías u otra división, el término empleado para este trabajo de investigación es *residuo sólido urbano RSU*.

mencionan las afectaciones que los residuos han producido en el planeta y la humanidad, particularmente en la era moderna, debido a su mala gestión; y el segundo, Contexto Nacional aborda la gestión de residuos en sí, en términos de generación, manipulación, clasificación, composición, normatividad relativa en los diferentes niveles gubernamentales, comparando el manejo que se les da actualmente (2016) contra lo que se determina en la ley, haciendo especial énfasis en los RSU. De igual forma se mencionan algunas propuestas que se han implementado anteriormente a nivel internacional y nacional para disminuir su impacto en el país, sugiriendo que la mejor opción para esta problemática es el uso de BD.

En el Capítulo 2: Marco Teórico, se presenta la revisión de la literatura acerca de diversas investigaciones referentes a estudios del uso de BD alrededor del mundo, bajo diferentes contextos enfoques y materia prima, dando como resultado una tabla comparativa de los mismos, con la finalidad de destacar los criterios clave, considerados por sus respectivos autores, para la realización e instalación de este tipo de proyectos.

En el Capítulo 3: Un estudio de factibilidad para la instalación de plantas biodigestoras en Estaciones de Transferencia, se presenta una propuesta teórica de las características necesarias para la realización de este tipo de proyectos en México, preferentemente, en las Estaciones de Transferencia, es decir, aquellos lugares donde se concentran los residuos antes de su disposición final (DF) con la intención de que puedan ser mejor valorados al reducir el impacto ambiental referente a su mal manejo y puedan ser aprovechados en la generación de energía.

Finalmente, en el Capítulo 4: Estudio de caso: factibilidad de la instalación de una planta biodigestora en una et en el municipio de Nezahualcóyotl, se muestra la implementación de la propuesta considerada en el capítulo anterior este trabajo de investigación. Para concluir, este trabajo de investigación ha de servir como base para investigaciones futuras para la viabilidad en proyectos de este tipo con el fin de aprovechar las ventajas sociales, energéticas y ambientales que éstos ofrecen.

1. CAPÍTULO 1. PROBLEMÁTICA

1.1. Problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU)

Contexto Internacional

En la actualidad vivimos en un mundo globalizado, lo que significa que, los distintos países interactúan de manera más rápida por lo que la comunicación es más efectiva que antes. Este hecho ha beneficiado a la humanidad en diferentes aspectos tales como, el social, el político, el económico, el cultural y el tecnológico, abriendo la oportunidad de generar nuevos mercados. Sin embargo, para poder satisfacer la demanda de un mercado tan grande, se requiere de una mayor oferta de insumos que equivale a un aumento en el consumo energético y de recursos necesarios para la manufactura de un producto. Por consiguiente, se ha generado un mercado consumista, el cual, fabrica una gran cantidad de productos desechables o con un tiempo de vida útil reducido (bolsas, envolturas, paquetes, baterías, etc.), ocasionando así un incremento en la cantidad de desechos inherentes a su producción, donde se le da más valor al producto en sí mismo que a los recursos utilizados en su fabricación (ver Figura 1).

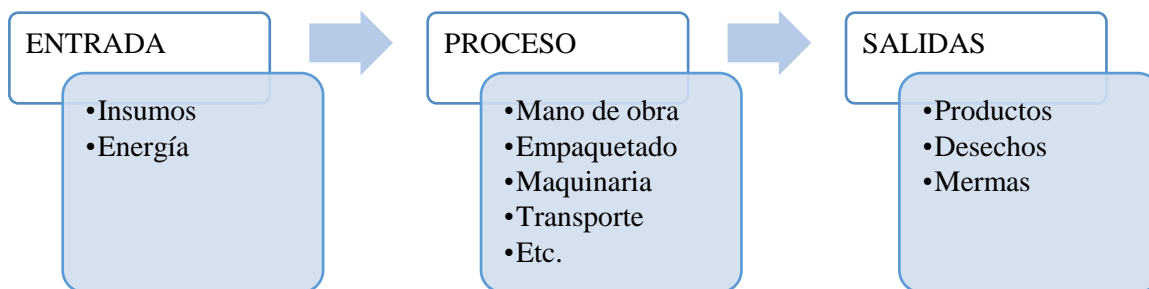


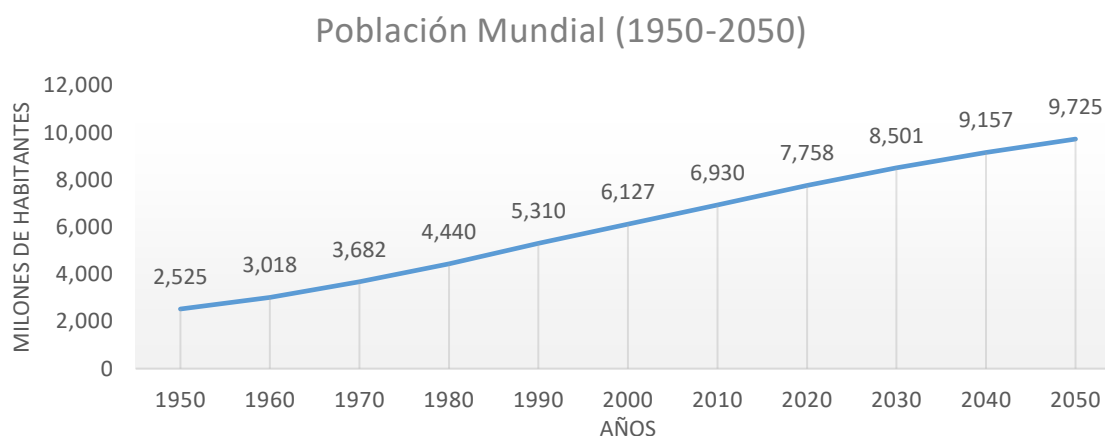
Figura 1. Esquema de caja negra del proceso general de fabricación de un producto.

Fuente: Elaboración propia, (2016).

Este consumo desenfrenado ha propiciado: una mala o nula gestión de recursos naturales, el uso desmesurado de los mismos, un importante aumento de residuos, así como su desvalorización; acciones que han llevado al planeta a un punto insostenible en el que se ha generado una crisis tanto de recursos como de

contaminación ambiental por “basura”². Debido a la situación anterior, es necesario el aprovechamiento y mejor administración, dentro de las limitantes, de los recursos que se tienen disponibles, así como de los consecuentes de diversos procesos ya sean industriales o no. En la misma dirección, es posible mitigar el impacto generado por la humanidad en el planeta al reducir la utilización de fuentes de energía contaminantes al ambiente o generadoras de gases de efecto invernadero (GEI)³.

Cabe señalar que el mal manejo de los residuos no sólo se presenta como un impacto ambiental por consecuencia de estos gases sino que también puede contaminar los suelos, mantos freáticos, y contribuir a la propagación de enfermedades para la humanidad, dañar la flora y fauna natural, así como, la proliferación de aquella última que es nociva (Barrientos Verjel & Blanco Peñarete, 2010). Por otro lado la alta urbanización y el incremento poblacional⁴ que se ha presentado en los últimos años (ver Figura 2) ha reducido los espacios para actividades diversas a la vivienda y trabajo, lo que incrementa la generación de RSU y de espacios donde depositarlos (Loredo Galván, 2014) al igual que aumenta la demanda energética para satisfacer las necesidades de una sociedad exigente de servicios y actividades propias de la ciudad.



²Se considera basura a la mezcla de todo tipo de residuos en un solo sitio o contenedor, de acuerdo con el *Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010*.

³ Aquellos que contribuyen al calentamiento global.

⁴ De acuerdo con la página web www.populationpyramid.net se ha presentado un incremento poblacional promedio de 1.14 % anual, consultado en abril 2017.

Figura 2. Incremento de la población total a nivel mundial de 1950 a 2050.

Fuente: Elaboración propia con datos de PopulationPyramid.net, (2017).

En consecuencia a los fenómenos sociales antes mencionados: globalización y urbanización, en los últimos años se han generado diferentes propuestas para combatir la sobre producción y mala gestión de residuos, principalmente por países tecnológicamente avanzados y conscientes sobre el cuidado del medio ambiente, quienes han desarrollado fuentes de energía alternativa, renovables y limpias, mientras que simultáneamente han creado diferentes asociaciones para la difusión de éstas acompañado con la valorización y mejor gestión de los residuos producidos.

Contexto Nacional

En México la problemática del aprovechamiento y mejor administración de los recursos que se tienen disponibles se manifiesta principalmente de tres maneras: 1) Manejo inadecuado de residuos, 2) Alta demanda energética y 3) Cambio climático por contaminación ambiental. A éstas se les pueden atribuir subproblemas o subconjuntos de problemas que impiden la disminución y control de los mismos. En la Tabla 1 se enlistan algunos de los factores que las originan.

MANEJO INADECUADO DE RESIDUOS	ALTA DEMANDA ENERGÉTICA	CAMBIO CLIMÁTICO
Uso de rellenos sanitarios.	Crecimiento poblacional.	Gases de Efecto Invernadero (GEI).
Falta de cultura de las 3R's: Reciclar, Reusar y Reducir.	Sobreproducción de bienes de un solo consumo.	Utilización de combustibles fósiles.
Falta de infraestructura, equipo inadecuado para el transporte y recolección de residuos.	Falta de desarrollo y uso de energías renovables.	Contaminación de suelos y mantos acuíferos debido a los tiraderos al aire libre y sobre uso de rellenos sanitarios.
Falta de capacitación y equipo de seguridad para el personal encargado del manejo y recolección de residuos.		
Propagación de fauna nociva transmisora de		

enfermedades como mosquitos.

*Tabla 1. Causas de los principales problemas en México relativo a RSU.
Fuente: Elaboración propia, (2016).*

Pese a que se tiene detectada la problemática y se han generado, en materia legal, distintas iniciativas, programas y estrategias referentes a cada uno de los temas (ver Tabla 2) no se han podido alcanzar los objetivos a nivel nacional o los avances han sido poco representativos en cuanto al seguimiento y control para la disminución o solución a dichos problemas a lo largo del tiempo (ver Figura 3). Esto debido a factores como infraestructura inadecuada, falta de interés de los involucrados (en todos los sectores de la sociedad), falta de estandarización de los procesos, falta de información a la población sobre educación ambiental, un manejo deficiente (y hasta cierto punto cuestionable) de los presupuestos, entre otros.

TEMA	NORMATIVIDAD	ID	FECHA DE PUBLICACIÓN
Manejo integral de residuos	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección ambiental	LGEEP A	28 de Ene de 1988 Reforma 13 de May de 2015
	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	LGPGIR	8 de Oct de 2003 Reforma 22 de May de 2015
Generación de fuentes de energía limpia	Ley de Transición Energética	LTE	24 de Dic de 2015
	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos	LPDB	1 de Feb de 2008 Reforma 12 de Ene de 2012
	Ley de Industria Eléctrica	LIE	11 de Ago de 2014
Mitigación y adaptación al cambio climático	Ley General de Cambio Climático	LGCC	6 de Jun de 2012 Reforma 01 de Jun de 2016

*Tabla 2. Temas referentes a la problemática de RSU y sus respectivas leyes en México.
Fuente: Elaboración propia con datos del Diario Oficial de la Federación (DOF) y Fuente de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México, (2016).*

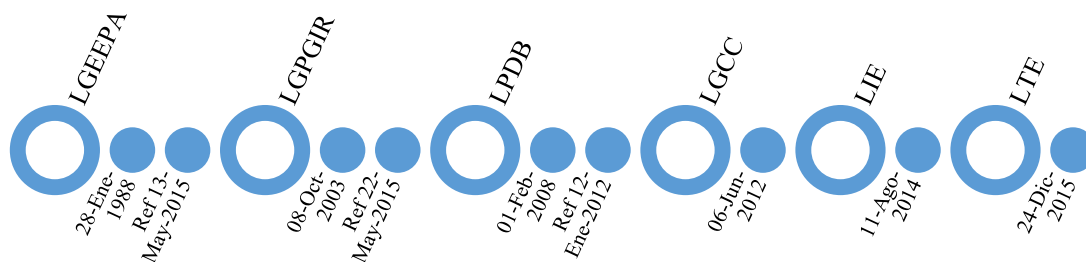


Figura 3. Línea temporal de la normatividad relacionada al manejo de RSU.

Fuente: Elaboración propia con datos del Diario Oficial de la Federación (DOF) y Fuente de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México, (2016).

En México cada persona, en promedio, genera aproximadamente 798 gr⁵ de residuos sólidos urbanos (RSU)⁶ al día. Sin embargo, la densidad de generación por habitante varía regionalmente⁷. De estos residuos, más de tres cuartas partes (77.54%) pueden ser aprovechados, al ser reciclados (39.57%) o como fuente energética debido a su origen orgánico (37.97%), mientras que el resto (22.46%) tiene otro origen (ver Figura 4)⁸. (INEGI, 2011)

⁵ Promedio resultante de las producciones regionales.

⁶ Definido por *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT): Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010* como: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) como residuos de otra índole.

⁷ En el **noroeste** (Baja California, Baja California Sur, Sinaloa y Sonora): **1.514 kg/habitante/día**. **Noreste** (Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Tamaulipas): **0.839 kg/habitante/día**. **Sureste** (Campeche, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán): **0.777 kg/habitante/día**. **Oeste/Occidente** (Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas): **0.669 kg/habitante/día**. **Centro** (Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Ciudad de México): **0.655 kg/habitante/día** y **sur**: (Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz): **0.332 kg/habitante/día**.

⁸ De acuerdo a datos del Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012.

Composición de los RSU

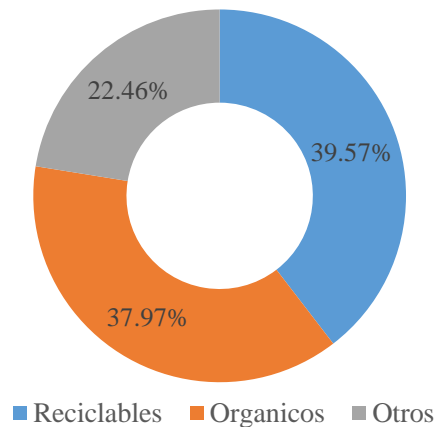


Figura 4. *Composición de los residuos y su respectivo porcentaje.*
Fuente: INEGI Censo Nacional de Gobierno 2011. *Gobiernos Municipales y Delegacionales. Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos, (2011).*

Por otro lado, el *sistema de manejo integral de residuos sólidos* está dado por la interrelación de: el manejo de residuos, generación de energía y cambio climático, cuyo objetivo es minimizar, aprovechar y valorar los residuos generados. Resultando como una opción de aprovechamiento y de inclusión para cada tema: *el uso de los RSU como fuente de energía, de modo que se reduzca el impacto ambiental.* En México se han realizado programas a favor del manejo integral de los RSU desde el 2003 con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 8 de octubre de ese año. En esta ley se establecieron los tres tipos de residuos que se generan en el país y los materiales que los componen (ver Figura 5), así como el nivel gubernamental responsable del manejo de los mismos, siendo éstos: Residuos Peligrosos (RP) a cargo del nivel Federal, Residuos de Manejo Especial (RME) por las Entidades Federativas (EF) y Residuos Sólidos Urbanos (RSU) por los Municipios (ver Figura 6).

Residuos Peligrosos (RP)	Residuos de Manejo Especial (RSE)	Residuos Sólidos Urbanos (RSU)
<ul style="list-style-type: none"> • Aceite automotriz • Acumuladores automotrices • Lámparas fluorescentes • Medicamentos caducos 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite vegetal • Llantas de desecho • Residuos electrónicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos orgánicos biodegradables • Papel y cartón • Plástico • Vidrio • Envases multicapas • Metal

Figura 5. Los diferentes tipos de residuos y los materiales que los componen.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, (2012).

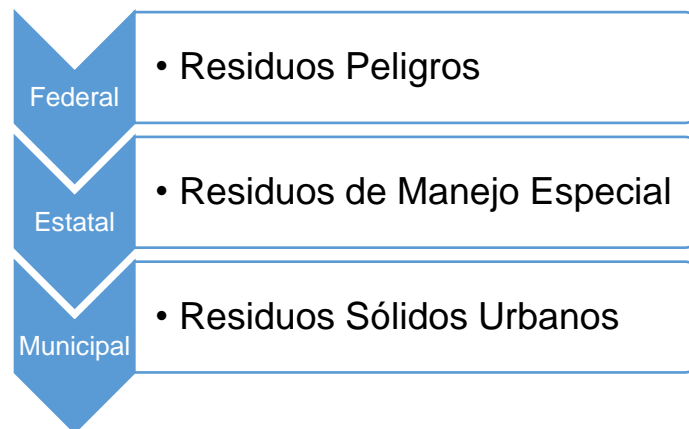


Figura 6. Tipo de residuos y nivel gubernamental responsable de su manejo y disposición.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos, (2012).

Además, la LGPGIR acredita a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para llevar a cabo el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (PNPGIR) por medio del Diagnóstico Básico respectivo, mismo que debe ser elaborado y actualizado conforme esta Ley de manera periódica con el fin de conocer la cantidad y composición de los residuos que se generan así como, la infraestructura con la que se cuenta para el manejo de sus diferentes tipos (INECC, SEMARNAT, 2012). En cuanto al manejo de los RSU generados en el país, cada entidad municipal tiene la responsabilidad de prestar los servicios de limpia, recolección, traslado, tratamiento y disposición final (ver Figura 7) así como, aplicar las disposiciones jurídicas de los mismos de acuerdo a lo establecido en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos,

mientras que las EF están a cargo de la regulación de los sistemas de dichas actividades. Sin embargo, las secretarías y organismos gubernamentales encargados del manejo de la información y procesos referentes a RSU no cuentan con una jurisdicción claramente delimitada, generando así conflictos entre ellas, como se explicará con mayor detalle más adelante.

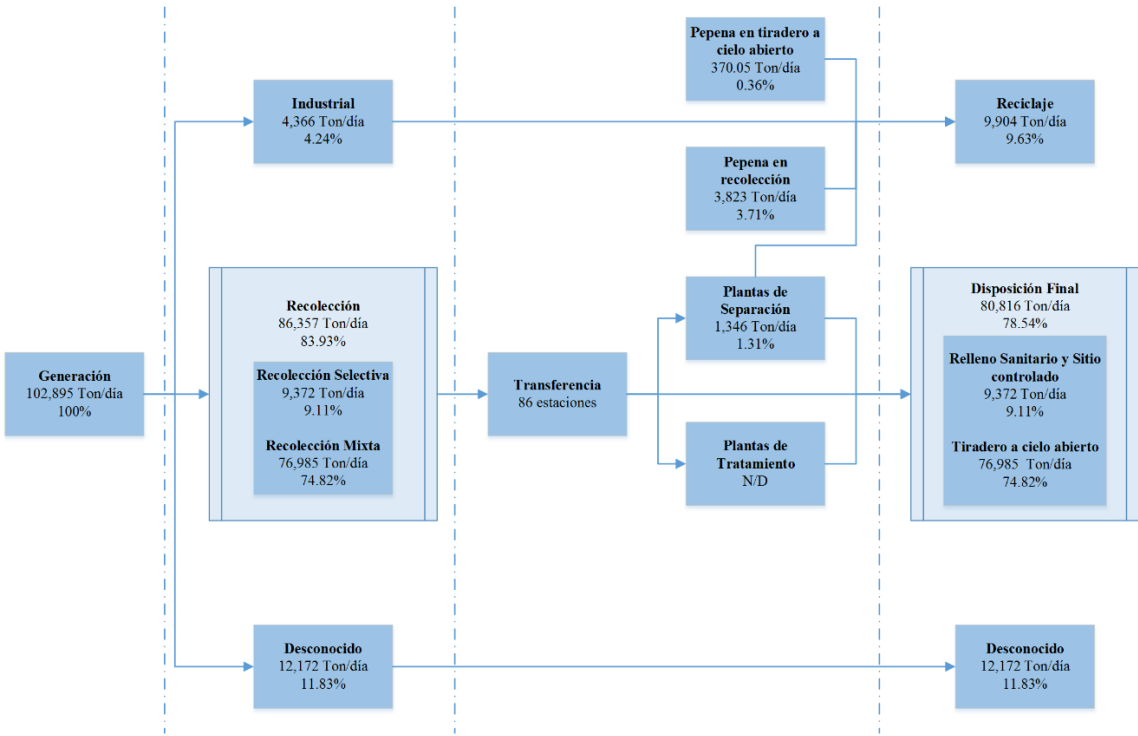


Figura 7. Diagrama nacional de flujo de los RSU.

Fuente: Adaptado de: Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012, (2012).

Como parte de la solución a los problemas citados al principio de este capítulo en los siguientes apartados se mencionan, en primera instancia, los procesos por medio de los cuales se puede hacer una recuperación energética a partir de los RSU y posteriormente, se mencionan dos iniciativas, una hace referencia a actividades a nivel internacional, mientras que la otra describe aquellas llevadas a cabo a nivel nacional.

Recuperación energética a partir de residuos

Un proyecto de recuperación de energía a partir de residuos requiere de los siguientes aspectos:

- Conocimiento del tipo y cantidad de RSU disponibles
- Tecnología idónea
- Proveedores
- Estudio de factibilidad técnica y económica
- Trámites y permisos ante la autoridad

Del mismo modo, a continuación, se mencionan y describen brevemente los principales procesos de aprovechamiento energético de RSU de acuerdo a lo propuesto por el Boletín IIE (Instituto de Investigaciones Eléctricas), 2015 (Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2015):

- **Compostaje y digestión anaerobia:** Procesos bioquímicos de degradación (fermentación) de material orgánico en presencia y ausencia de oxígeno respectivamente. Si es separada desde su origen la fracción orgánica de los RSU es susceptible de utilizarse en procesos de compostaje o digestión anaerobia. Por medio de los cuales se obtiene composta en el primer caso; y biogás, que puede ser utilizado para la generación de electricidad, y digestato, empleado para el mejoramiento del suelo, en el segundo.
- **Tratamiento térmico con recuperación de energía:** Proceso termoquímico que descompone material orgánico por medio de calor en ausencia de oxígeno (Agrowaste, 2014). A través de este proceso se puede reducir desde un 80 a un 95% del volumen de los RSU quedando como producto final cenizas de material inerte, las cuales a su vez pueden ser utilizadas en la industria de la construcción. A pesar de que se piensa que esta tecnología podría perjudicar más de lo que beneficiaría, actualmente se encuentran equipos efectivos en el aspecto de control de emisiones, siendo considerada esta tecnología amigable con el medio ambiente a nivel mundial. Sin embargo, no hay que confundir el proceso de quema a cielo abierto con la pirólisis u otro tratamiento térmico de recuperación de energía, ya que el primero se realiza de manera no controlada y en presencia de oxígeno que es lo que ocasiona la producción de gases tóxicos para el ambiente, mientras que la segunda se realiza en ambientes cerrados y

controlados donde sus productos pueden ser mejor valorados tanto en el mismo proceso como para la generación de energía eléctrica.

- **Confinamiento en rellenos sanitarios:** A diferencia de países desarrollados que consideran sólo a los residuos inorgánicos no reciclables como sujetos de confinamiento en este tipo de sitios de disposición final, México deposita gran cantidad de RSU en rellenos sanitarios no controlados o en tiraderos a cielo abierto. Sin embargo, los rellenos sanitarios son una mejor opción que los tiraderos a cielo abierto ya que éstos pueden mejorar la calidad de vida de la población cercana a y reducir el impacto directo al medio ambiente al contar con sistemas de captación de biogás y lixiviados

El uso de rellenos sanitarios no es la mejor solución y se ha comprobado a través del tiempo y experiencia, un ejemplo de esto es el sobre uso del relleno sanitario ubicado en el Bordo Poniente (Loredo Galván, 2014). En cuanto al tratamiento térmico se descarta principalmente porque en México no se cuenta con ninguna planta térmica incineración para este fin (pirólisis) (Instituto de Investigaciones Eléctricas, 2015). El tipo de tecnología adecuada para la recuperación de energía a partir de RSU en México es la *digestión anaerobia*.

Biogás y biodigestores

De acuerdo con la revista internacional *Biowaste to Biogas* (Stippel, Findeisen, Hufmann, Wagner, & Wilken, 2016) el biogás (BG) es una mezcla de diferentes gases y su composición dependerá del tipo de residuos que se utilice (sustrato). Siendo el gas principal el metano (CH₄) entre 50 y 70 %; seguido del dióxido de carbono (CO₂) con un 30 a 45% y el resto es una combinación de pequeñas cantidades de agua, sulfuro de hidrógeno (H₂S) y compuestos de sulfuro. La generación de BG es un proceso natural que puede ser apreciado sin la intervención del hombre, por ejemplo, en ciénagas o pantanos, yacimientos subterráneos o en el tracto digestivo de algunos animales como las vacas. Cuando el material orgánico (materia prima), derivado de los RSU por ejemplo, se descompone por ciertas bacterias en ausencia de oxígeno (de manera anaerobia) se produce metano.

Además, menciona que para la producción de BG se necesitan cuatro procesos bioquímicos sucesivos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (ver Figura 8). Estos procesos son realizados por diferentes tipos de bacterias, por ende, requieren diferentes condiciones para su crecimiento óptimo. La temperatura es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta ya que, una vez que el proceso de digestión ha iniciado, un cambio en está podría disminuir o frenar la actividad microbiana y de generación de BG. Los diferentes niveles operativos de temperatura de estas bacterias son: psicófilo con temperaturas menores a 25 °C, mesófilo de entre 35 a 48 °C y termófilo con mayores de 50 °C.

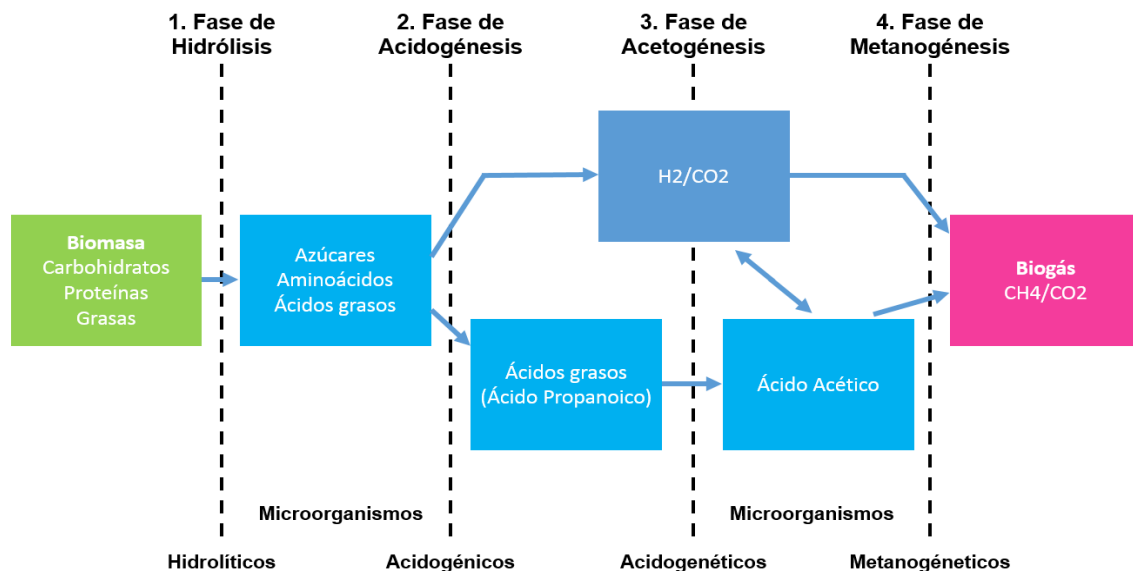


Figura 8. Procesos bioquímicos en la generación de biogás.

Fuente: Stippel, Findeisen, Hufmann, Wagner, & Wilken, (2016), traducción y adaptación propia.

Otros factores que impactan directamente en el proceso de generación de BG y su rendimiento son las características de la materia prima así como su composición, el agua contenida en ellos y la biodegradabilidad o capacidad de degradación de la materia prima; sobre todo en la elección del tipo de tecnología a usar. No obstante, no toda la materia orgánica puede ser usada en la digestión anaerobia, una de las principales limitaciones del proceso es la incapacidad de degradar sustancias como la lignina, que se degradan en procesos aerobios (con oxígeno), contenida en la madera, por ejemplo. Es por esto que la Fachverband BIOGAS hace una

clasificación de los principales sustratos usados para la generación de BG, los cuales se mencionan a continuación⁹:

- **Cultivos energéticos:** Pasto, maíz, papas, remolacha, mostaza, entre otros.
- **Subproductos agrícolas:** Residuos de la cosecha, paja, residuos de cervecería, melazas, cascarilla y hojas.
- **Subproductos animales:** Excrementos líquidos y sólidos, residuos de mataderos como sangre, plumas, suero, contenido de los separadores de grasa.
- **Residuos comerciales e industriales:** Residuos orgánicos de la industria: alimenticia, bebidas o de la producción de alimentos para animales, incluyendo restos de restaurantes y comida caducada.
- **Residuos municipales¹⁰:** Fracción orgánica (FO) de los residuos municipales (idealmente separados en la fuente), de jardín y de parques.

Por lo anteriormente mencionado, se puede decir que no todos los RSU son viables para ser utilizados para la digestión, dejando de lado principalmente aquellos de origen inorgánico y después a aquellos residuos que sí son orgánicos pero que no pueden ser degradados de manera anaerobia. De modo que se requiere de una selección final de los residuos antes de la digestión (ver Figura 9).

⁹ Obtenidos de la presentación dada por Clemens Findeisen en el taller “El Rol del Sector Privado en las Promoción del Biogás” el 25 de agosto de 2016 en la Ciudad de México.

¹⁰ Hacen referencia a los RSU.

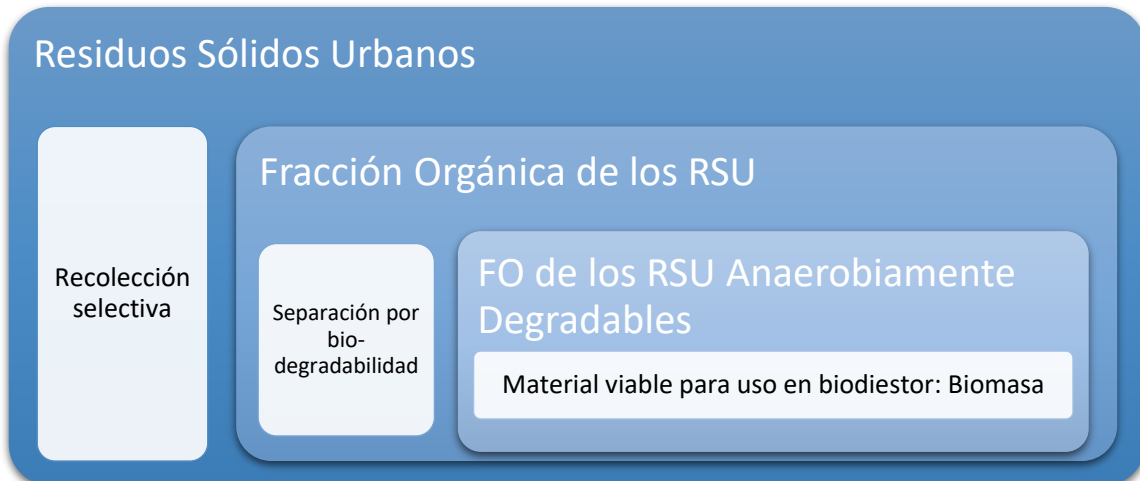


Figura 9. Materiales aptos para la biodigestión y su proceso de selección.
Fuente: Elaboración propia, (2016).

Esta selección final utiliza diferentes métodos físicos y químicos (fuera del contexto de este trabajo) para su realización dependiendo de la condición en la que se encuentre la materia prima pudiendo ser seca o húmeda, la cual consiste en separar del sustrato, los residuos deseados *FORSUAD* (Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos Anaerobiamente Degradables) del resto que no lo son, dando como resultado la *biomasa*¹¹ que alimenta al BD (ver Figura 10). Este proceso tiene como objetivo reducir el tamaño de las partículas para obtener una mezcla más homogénea y de fácil digestión obteniendo así un máximo aprovechamiento en la generación de BG.

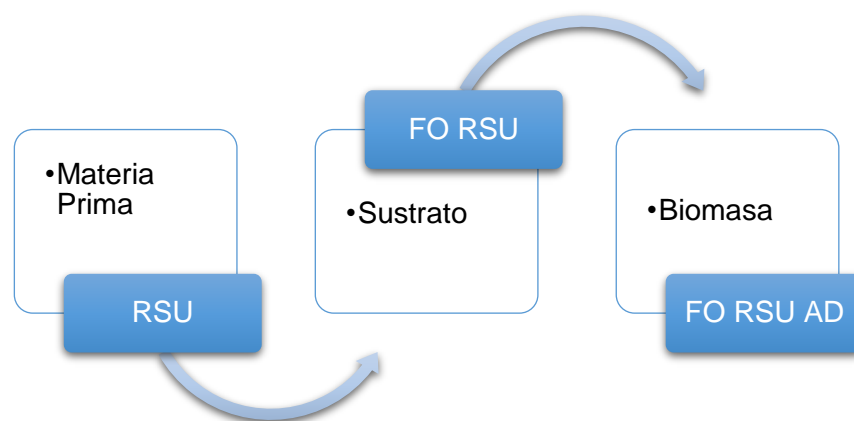
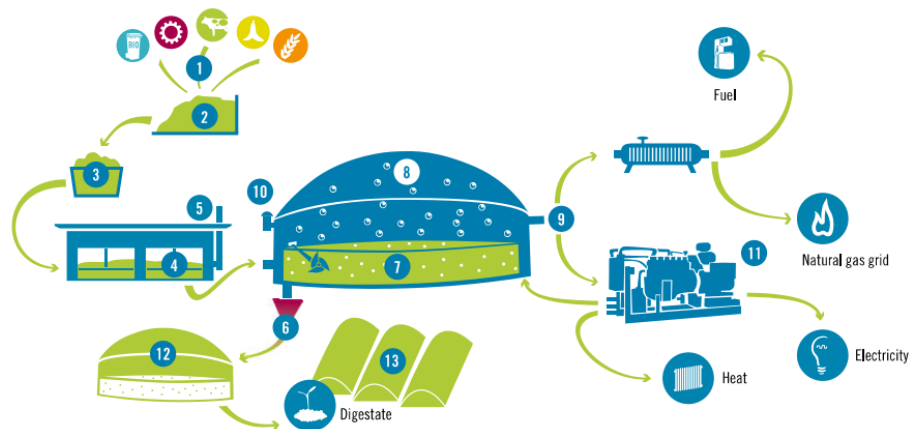


Figura 10. Cambio de nombre de material usado desde su recolección hasta su utilización.
Fuente: Elaboración propia, (2016).

¹¹ Definido por la Real Academia Española como: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Del mismo modo, el BG recién salido del digester (ya sea que la biomasa esté contaminada o no), no es adecuado para su almacenamiento o utilización inmediata, primero debe ser limpiado y secado, debido a su contenido de sulfuro de hidrógeno (ácido sulfúrico) y agua que puede corroer equipos o contenedores, con técnicas para desulfurar y secar el BG, procesos que tampoco están en el contexto de este trabajo. Después del tratamiento que se le da al BG al salir del BD los usos que se le pueden dar son variados, ya que es apto para su quema en plantas de generación combinada para producir electricidad, que es su principal uso, además, el calor generado por la quema del mismo puede usarse para calefacción. Igualmente, al mejorar el BG a biometano¹², éste puede ser usado como sustituto de gas natural para la cocción de alimentos y como combustible para vehículos adecuados. Todos estos son algunos de los beneficios que tiene el uso de biogás y se dan gracias a la facilidad que tiene para ser almacenado sin tener pérdidas del mismo a través del tiempo en comparación con el almacenaje directo de electricidad producida por otro tipo de fuente energética ya sea alternativa o no. Las plantas de tratamiento de BG pueden contener los siguientes elementos dependiendo de la composición y cantidad de materia prima o sustrato y del sistema de digestión (ver Figura 11)¹³.



- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | Diferentes sustratos | 8 | Almacenamiento del biogás |
| 2 | Recepción y almacenamiento de sustrato | 9 | Sistema de limpieza del gas (desulfuración y condensado) |
| 3 | Preparación y pre-procesamiento del sustrato | 10 | Equipo de Seguridad (válvulas de presión de seguridad y de gas residual, entre otros instrumentos y equipo de control) |

¹² Al ser retirado el dióxido de carbono al biogás.

¹³ Biowaste to Biogas, 2016, pág. 8

4	Edificio cerrado para la recepción, preparación y almacenamiento del sustrato	11	Unidad de cogeneración
5	Biofiltro para reducir olores	12	Almacenamiento del digestato
6	Unidad de saneamiento (antes o después del digestor)	13	Procesamiento del digestato (separación de las fases sólida y líquida, secado, pelletizado o post-compostaje)
7	Digestor (equipado con calefacción)		

Figura 11. Componentes que constituyen una planta de tratamiento de residuos.

Fuente: Fachverband BIOGAS (2016).

El BD es el principal componente de un sistema generador de BG, es por eso que los sistemas de biodigestión se clasifican de acuerdo al tipo de proceso de digestión. De acuerdo con Vera Romero (2011) existe una gran cantidad de BD desde años atrás. Sin embargo, este autor rescata que se pueden clasificar, por sus características únicas, en tres tipos principales, nombrados de acuerdo al lugar en donde se desarrollaron: tipo indio, chino y taiwanés. Siendo estos la base para el desarrollo de los actuales. No se detalla este tema debido que queda fuera del contexto de este trabajo, sin embargo se menciona por referencia.

En resumen, para poder elegir el tipo de tecnología óptima o adecuada para un proyecto de generación de energía (en este caso BG) a partir de los RSU, se requiere considerar el tipo de sustrato a usar (como los orgánicos anaerobiamente degradables), su cantidad disponible (afectada por factores poblacionales como estructura social, educación, localización ya sea rural o urbana y densidad poblacional), su calidad (que no estén contaminados y debidamente separados, hasta lo que sea posible), el uso energético, condiciones de transporte, el uso del digestato, personal calificado y una fuente financiera (Stippel, Findeisen, Hufmann, Wagner, & Wilken, 2016) (ver Tabla 3).

1.1.1.1. México y el Biogás

México cuenta con ocho plantas generadoras de BG a partir de rellenos sanitarios, las cuales se describen a continuación con base en su localización, capacidad eléctrica y el total de generación (ver Tabla 3).

PLANTAS GENERADORAS DE BIOGÁS INSTALADAS			
#	LOCALIZACIÓN	A CARGO DE	POTENCIA ELÉCTRICA
1	Cd. Juárez Chihuahua	Biogás de Juárez	6.4 MW
2	Saltillo	LOREAN Energy	2.1 MW
3	Monterrey	BENLESA	16.9 MW
4	Durango	Ener-G	1.6 MW
5	Aguascalientes	Ener-G	2.6 MW
6	Querétaro	Proáctiva	2.7 MW
7	Atizapán	Energreen	0.6 MW
8	Cuatla	Energía Renovable	1.06 MW
	Total		43.5 MW

Tabla 3. Localización y potencia eléctrica de plantas generadoras de biogás en México a partir de RSU instaladas.

Fuente: Elaboración propia con base en datos proporcionados por la cooperación alemana (GIZ). (2016).

Asimismo, en la Tabla 4 se presentan las dos PBD que se encuentran en desarrollo actualmente (2016) una en Atlacomulco de Fabela¹⁴ y la otra en Linares.¹⁵

PLANTAS BIODIGESTORAS EN DESARROLLO			
#	LOCALIZACIÓN	A CARGO DE	POTENCIA ELÉCTRICA
1	Atlacomulco de Fabela	Asociación Mexicana de Biomasa y Biogás, A.C. (AMBB ®)	200 kW
2	Linares	AquaLimpia Engineering e.k. en cooperación con GIPSA INGENIERIA SA de CV	0.8 MW

Tabla 4. Localización y potencia eléctrica de plantas generadoras de biogás en México a partir de RSU en desarrollo.

¹⁴ Información tomada de http://foroenres2015.mx/20_0810_ForoEnRes_Abel_Clemente.pdf revisado el 19 de septiembre de 2016.

¹⁵ Información tomada de <http://www.aqualimpia.com/PDF/BD-LIN.pdf> revisado el 19 de septiembre de 2016.

Fuente: Elaboración propia con base en datos proporcionados por la cooperación alemana (GIZ) (2016).

1.1.1.2. México y proyectos de recuperación energética a partir de residuos

En 2014, se llevó a cabo una auditoría por parte del Grupo Funcional Desarrollo Económico a la SEMARNAT con el objetivo de comprobar que las operaciones realizadas con el presupuesto asignado fueran acordes con la Estrategia Nacional de Cambio Climático y que estuvieran contabilizadas y reportadas en la Cuenta Pública. En dicha auditoría, se analizó un 30.5% (298,723.6 miles de pesos) del total del universo (980,478.0 miles de pesos) de los egresos del programa “Prevención y Gestión Integral de Residuos” reportados en el Estado Analítico del Ejercicio del Presupuesto de Egresos en Clasificación Funcional-Programática/Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Cuenta Pública 2013. Donde se contemplan 16 proyectos en 11 EF (ver Tabla 5).

Número	Entidad Federativa	Cantidad de Proyectos	Importe (miles de MXN)	Importe por proyecto (miles de MXN)
1	Aguascalientes	1	19,836.0	19,836.0
2	Campeche	5	65,669.0	14,550.0
				14,550.0
				19,400.0
				15,520.0
				1,649.0
3	Chiapas	1	23,500.0	23,500.0
4	Chihuahua	1	26,000.0	26,000.0
5	Colima	1	20,000.0	20,000.0
6	Guerrero	1	15,000.0	15,000.0
7	Hidalgo	1	19,351.5	19,351.5
8	Estado de México	2	48,550.0	34,000.0
				14,550.0
9	Querétaro	1	17,839.5	17,839.5
10	San Luis Potosí	1	19,604.6	19,604.6
11	Tamaulipas	1	23,373.0	23,373.0
Total		16	298,723.6	298,723.6

Tabla 5. Entidades Federativas donde se han financiado proyectos de “Prevención y Gestión Integral de Residuos”.

Fuente: Elaboración propia con datos de Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 13-0-16100-02-0162 DE-136, (2013).

Al finalizar el periodo asignado para la realización de estos proyectos, siendo la fecha límite el 31 de diciembre de 2013, las EF debían de reintegrar el presupuesto restante no utilizado a la Tesorería de la Federación como parte de los lineamientos del programa. Sin embargo, 90% de las EF (10 de los 11 estados) no reingresaron cantidad alguna de dinero, debido a diversos factores como: el retraso de entrega del presupuesto en promedio de 45 días después aprobado el proyecto, el comprometimiento de los recursos por medio de contratos u otro, la finalización de éstos en el tiempo fijado se vio afectada. En dicho documento se puede apreciar que Campeche fue la EF potencialmente más beneficiada por la cantidad de proyectos aprobados y presupuesto asignado, además de que fue la única en reportar como concluidos dos de sus cinco proyectos con una retribución monetaria a la Tesorería Federal mayor a los 700.0 miles de pesos. Asimismo, durante la auditoría se reportaron varias irregularidades¹⁶ para la autorización de los subsidios a los Proyectos del Programa de Prevención y Gestión Integral de Residuos, de las que se pueden destacar¹⁷ a continuación en la Tabla 6.

Irregularidades	Cantidades	Porcentaje relativo
Sin oficio de solicitud de apoyo técnico – financiero.	6	37.5
Sin documento que demuestre el uso de suelo adecuado	6	37.5
Sin carta compromiso para la asignación de recursos para la operación y mantenimiento de la infraestructura.	8	50
Sin documento que demuestre que el proyecto se encuentra considerado dentro del PEPGIR o PMPGIR	8	50

Tabla 6. Fragmento de la totalidad de irregularidades presentadas en la Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 13-0-16100-02-0162.

¹⁶ Las cuales pudieron haber sido incurridas por más de un proyecto.

¹⁷ En el documento elaborado para la auditoría se mencionan otras irregularidades además de las mencionadas en este texto, sin embargo solo se consideran las mostradas en la Tabla 6 por motivos ilustrativos relevantes a este trabajo de investigación.

Fuente: Elaboración propia con datos de Auditoría Financiera y de Cumplimiento: 13-0-16100-02-0162, (2016).

Dentro de estos 16 proyectos auditados se encuentra la “Construcción de biodigestor para Centro Integral de Manejo de Residuos Atlacomulco” en el Estado de México con un importe de 34,000.0 de los 48,550.0 miles de pesos, siendo éste el proyecto de mayor impacto económico, asignado a cualquier EF.

1.1.1.3. Estado de México y proyectos de recuperación energética a partir de residuos

Atlacomulco es uno de los 125 municipios del Estado de México y, de acuerdo a la página de internet de la Secretaría del Medio Ambiente, cuenta con las siguientes características relativas a RSU y biodigestión:

El municipio de Atlacomulco cuenta con una población de 93,718 habitantes, con una generación per cápita de 0.96 kg de residuos sólidos urbanos teniendo una disposición final diaria de 90 toneladas, cuenta con un sitio de disposición final catalogado como sitio controlado que no cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003., la disposición final de los residuos sólidos urbanos la realiza de forma convencional generando agentes contaminantes que contaminan el suelo, subsuelo, mantos freáticos y el aire, impactando la salud de la población aledaña.

[...] Los residuos sólidos orgánicos recolectados corresponden al 50% del volumen total de RSU de los cuales se ingresarán 30 toneladas diariamente a la planta de biodigestión, aprovechando la generación de biogás y minimizando la producción de lixiviados.¹⁸

Sin embargo, de acuerdo a lo anteriormente mencionado, se puede inferir que el proyecto de Atlacomulco no fue finalizado o no contribuyó económicamente junto con los 14 proyectos para ese año (2013). A pesar de que en México se cuenta con la materia prima (FORSUAD) y la legislación en materia del manejo de residuos, la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y contaminación

¹⁸ Fragmento de texto de <http://sma.edomex.gob.mx/proyectos> consultado en agosto de 2016.

ambiental aún no se ha podido consolidar la operación absoluta de proyectos relativos a la recuperación energética a partir de RSU¹⁹.

Iniciativas Internacionales

- En 2015 se realizó el foro internacional 2015 “Valorización energética de residuos urbanos, experiencias y estrategias globales” a cargo del programa “Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México (EnRes)” de la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ, por sus siglas en alemán), Secretaría de Energía (SENER), Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA) y la embajada de Alemania. En donde se abordaron diversos puntos de vista de cómo es el estado actual (en ese año) del manejo integral de residuos.
- El día 25 de agosto de 2016 realizó el taller “El Rol del Sector Privado en la Promoción del Biogás” presidida por Clemens Findeisen socio y encargado de la promoción de la Asociación Alemana de Biogás (Fachverband BIOGAS) y coautor de la revista *Biowaste to Biogas*²⁰, cuyo objetivo fue:

Generar un espacio de diálogo e intercambio de ideas acerca de las barreras y oportunidades para el fortalecimiento del mercado de biogás en México.

En el Anexo A se encuentra una minuta de dicho taller donde se mencionan las barreras, oportunidades y pasos a seguir para la implementación de estos sistemas en México, de acuerdo a lo expuesto por los participantes y expositores.

- Expo Green 2016 realizada del 26 al 28 de octubre de ese año en el World Trade Center de la Ciudad de México, se presentaron diversas empresas de todo el mundo para combatir diversos problemas relacionados al medio ambiente, destacando aquellas que se dedicaban principalmente al tratamiento y purificación de agua. Igualmente, pero en menor medida, para la generación de energía a partir de fuentes verdes donde se destacan asociaciones europeas que han desarrollado

¹⁹ Cabe mencionar que en zonas rurales el uso de BD de sustratos de tipo subproducto agrícola y animal es frecuente.

²⁰ Revista internacional relacionada a la generación de energía a partir de residuos por medio de biodigestores principalmente.

proyectos en México como la ya mencionada GIZ o *dimisa grupo*, empresa internacional con sede en España que cuenta con plantas enriquecedoras, de limpieza y acondicionamiento y centrales de bombeo para quema de biogás, que también aportó en la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Atotonilco.

Iniciativas Nacionales

Dentro de las actividades por parte del gobierno Federal que se realizaron, podemos encontrar: *El primer Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos* (DBGIR) realizado en octubre del 2006 y elaborado por el Instituto Nacional de Ecología (INE) bajo petición de la SEMARNAT, sirvió como base para la elaboración del DBGIR 2012 y como apoyo al PNPGR correspondiente al periodo 2009-2012. La mayor parte de la información de éste DBGIR 2012 fue proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con el *Censo Nacional de Gobierno 2011. Gobiernos Municipales y Delegacionales. Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos* (MORSU), usando una encuesta estandarizada para los casi 2,500 municipios y delegaciones²¹ para la recolección de información de las actividades realizadas durante el periodo del 1 de enero al 31 de diciembre de 2010 relativa a los siguientes temas:

- Identificación de los prestadores y servicios de manejo de Residuos Sólidos Urbanos proporcionados en el Municipio o Delegación.
- Recolección de Residuos Sólidos Urbanos.
- Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos.
- Disposición Final.
- Estudios sobre la generación y composición de los Residuos Sólidos Urbanos.
- Programas y reglamentos orientados a la gestión integral de Residuos Sólidos Urbanos.
- Participación ciudadana y difusión de la información.

²¹ Actualmente (2016) en proceso legal-administrativo para renombrar como a Alcaldías, sin embargo, para referencias futuras y fines prácticos se denominarán también como municipios.

No obstante, no se puede confiar mucho en los datos adquiridos por esta encuesta realizada por INEGI de manera generalizada debido a que en primer lugar la distribución municipal en cada estado es distinta; y en segundo lugar porque los municipios no cuentan con administración (estructura organizacional), infraestructura de transporte (vehículos contenedores), estaciones de transferencia (separación, compactación y trituración), Estaciones de Transferencia (dedicadas a la recepción de materiales susceptibles de ser reciclados o valorizados) ni sitios de disposición final (relleno sanitario, sitio controlado tiradero a cielo abierto) para los residuos de manera estándar o similar entre ellos debido a características inherentes a la gubernatura de cada estado.

La Tabla 7, muestra un listado de las EF mexicanas así como su disponibilidad de servicios relacionados con los RSU, donde A representa el Total de municipios con estaciones de transferencia, B el Total de estaciones de transferencia, C Sólo almacenamiento temporal, D Almacenamiento temporal, separación, compactación y trituración.

Entidad federativa ²²	No. de municipios	A	B	Procesos reportados	
				C	D
Estados Unidos Mexicanos	2,456	69	86	97	6
Aguascalientes	11	2	3	3	0
Baja California	5	3	5	5	0
Baja California Sur	5	0	0	0	0
Campeche	11	0	0	0	0
Coahuila de Zaragoza	38	0	0	0	0
Colima	10	0	0	0	0
Chiapas	118	1	1	0	1
Chihuahua	67	3	3	3	0
Distrito Federal ²³	16	1	13	13	0
Durango	39	2	2	2	0
Guanajuato	46	0	0	0	0

²² En estas entidades, los siguientes municipios no proporcionaron información: Chamula en Chiapas, Tezoyuca y Tultepec en Estado de México, Boca del Río y Yanga en Veracruz de Ignacio de la Llave.

²³ Actualmente (2016) en proceso administrativo-legal para renombrar como Ciudad de México.

Guerrero	81	0	0	0	0
Hidalgo	84	0	0	0	0
Jalisco	125	7	7	4	3
México	125	14	15	7	8
Michoacán de Ocampo	113	1	1	0	1
Morelos	33	7	7	4	3
Nayarit	20	0	0	0	0
Nuevo León	51	5	5	4	1
Oaxaca	570	3	4	4	0
Entidad federativa	No. de municipios	A	B	Procesos reportados	
				C	D
Puebla	217	7	7	5	2
Querétaro	18	1	1	1	0
Quintana Roo	10	2	2	0	2
San Luis Potosí	58	3	3	1	2
Sinaloa	18	0	0	0	0
Sonora	72	3	3	3	0
Tabasco	17	1	1	1	0
Tamaulipas	43	0	0	0	0
Tlaxcala	60	0	0	0	0
Veracruz de Ignacio de la Llave	212	3	3	2	1
Yucatán	106	0	0	2	0
Zacatecas	58	0	0	0	0

*Tabla 7. Municipios con disponibilidad de servicios relacionados a RSU por entidad federativa.
Fuente: INEGI RSU, Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales, (2011).*

Como podemos observar, de la tabla anterior, ni siquiera 1% del total de municipios a nivel Federal cuenta con servicios relacionados al manejo de RSU, por lo que se puede inferir que existe un sobrecosto por transporte, vehículos y mano de obra en éstos, además de que hay una saturación de desechos en aquellos municipios que sí tienen un manejo de los mismos.

Por otro lado, en la Figura 12 se observa que las estaciones de transferencia son mayormente (85.84%) para procesos de almacenamiento temporal y traspaso al sitio de disposición final, mientras que las que tienen procesos no especificados, pudiendo ser estos informales o de alguna otra índole (8.85%) superan la cantidad

de centros de compactación y/o selección de materiales (5.31%) desaprovechando el potencial de los RSU debido a su contaminación, el clima, entre otros factores.

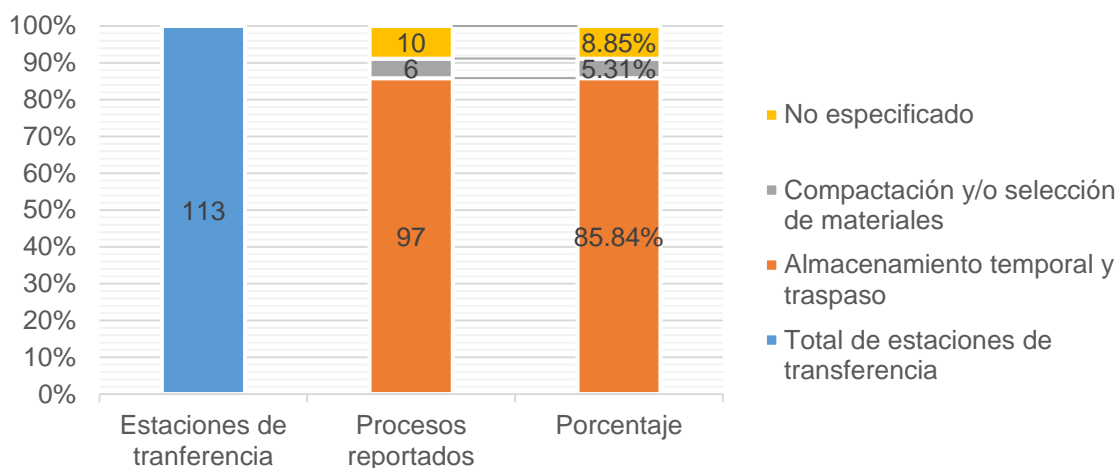


Figura 12. Proporción de municipios con y servicios relacionados a RSU.

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013. Tabulados básicos, (2014).

Sin embargo, esto contrasta con los municipios que cuentan con normatividad relacionada a RSU, que a pesar del bajo porcentaje a nivel Federal (21.32%) se cuenta con porcentajes elevados a nivel Estatal mostrados en la Tabla 8, donde F representa a los municipios que cuentan *Con servicios de recolección y disposición final*, G y H aquellos *Con y Sin reglamento relacionada con RSU a nivel Estatal* respectivamente, mientras que I representa el *Porcentaje de municipios con normatividad relacionada con RSU a nivel Estatal*.

Entidad federativa	F	G	H	I
Estados Unidos Mexicanos	2,280	486	1,794	21.32%
Aguascalientes	11	7	4	63.64%
Baja California	5	3	2	60.00%
Baja California Sur	5	2	3	40.00%
Campeche	11	4	7	36.36%
Coahuila de Zaragoza	37	21	16	56.76%
Colima	10	3	7	30.00%
Chiapas	118	12	106	10.17%
Chihuahua	65	21	44	32.31%
Distrito Federal ²⁴	16	6	10	37.50%

²⁴ Ahora Ciudad de México

Durango	37	4	33	10.81%
Guanajuato	46	25	21	54.35%
Guerrero	80	5	75	6.25%
Hidalgo	81	28	53	34.57%
Entidad federativa	F	G	H	I
Jalisco	125	82	43	65.60%
México	123	68	55	55.28%
Michoacán de Ocampo	113	33	80	29.20%
Morelos	33	3	30	9.09%
Nayarit	20	3	17	15.00%
Nuevo León	51	14	37	27.45%
Oaxaca	441	40	401	9.07%
Puebla	212	11	201	5.19%
Querétaro	18	6	12	33.33%
Quintana Roo	9	6	3	66.67%
San Luis Potosí	58	5	53	8.62%
Sinaloa	18	4	14	22.22%
Sonora	72	9	63	12.50%
Tabasco	17	6	11	35.29%
Tamaulipas	40	5	35	12.50%
Tlaxcala	60	5	55	8.33%
Veracruz de Ignacio de la Llave	184	30	154	16.30%
Yucatán	106	7	99	6.60%
Zacatecas	58	8	50	13.79%

*Tabla 8. Municipios por entidad federativa que cuenta con normatividad relacionada con RSU.
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI. Residuos Sólidos Urbanos. Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013. Tabulados básicos, (2014).*

De lo anterior se puede inferir que poco menos del 80% del total de municipios en el país no cuenta con Normatividad para la Gestión de RSU (NGRSU) (ver Figura 13). No obstante, este porcentaje no se ve reflejado de manera homogénea en cada EF, debido a la distribución geopolítica municipal, como se ha mencionado anteriormente, ya que hay estados que cuentan con 10 municipios o menos, como Baja California, Baja California Sur y Quintana Roo y otros que cuentan con más de 200 como Puebla y Veracruz o como el caso exclusivo de Oaxaca que consta de 570, por lo que hay muchas EF y municipios que aún no cuentan con normatividad.

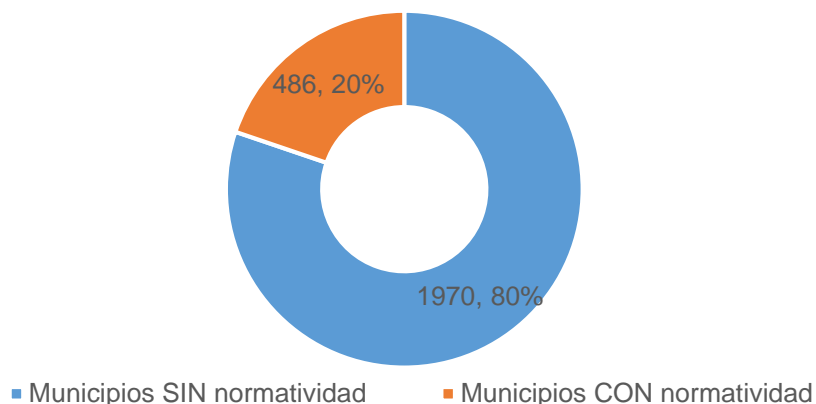


Figura 13. Municipios con normatividad relacionada con RSU.
Fuente: Elaboración propia con datos del DBGIR 2012, (2012).

A pesar de esta situación, hay estados en los que más de 75% del total de sus municipios cuentan con NGRSU como son: Nuevo León con 76.47%, Baja California con 80%, Guanajuato con 84.78% y Colima con 90%. Asimismo, existen estados en los que el 100% de sus municipios cuentan con NGRSU siendo los estados de Chihuahua y Coahuila de Zaragoza (ver Figura 14).

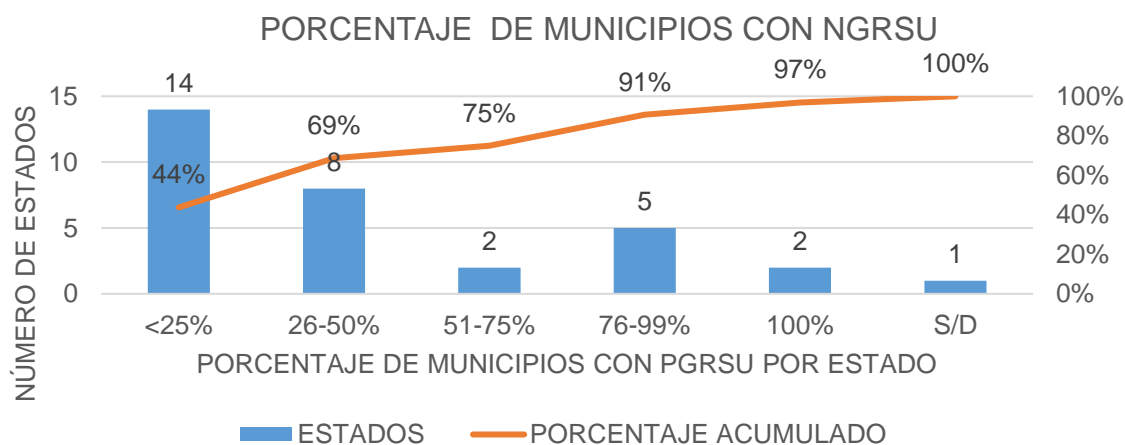


Figura 14. Porcentaje de municipios con normatividad para la gestión de RSU.
Fuente: Elaboración propia con datos del DBGIR 2012, (2012).

En resumen, no se cuenta con instrumentos, metodologías o estándares para la medición real de las cantidades de RSU por municipio por ende tampoco por EF, es por esto que para la realización del DBGIR 2012 se utilizaron herramientas estadísticas²⁵ para la determinación de las particularidades de este tipo de residuos con base en el *Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de*

²⁵ Contenidas, descritas y desarrolladas a detalle en los anexos del DBGIR 2012 versión extendida.

Residuos (PMPGIR) y el Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (PEPGIR) para cada caso. Como resultado se obtuvo información estimada a nivel Federal sobre los principales parámetros de medición de los RSU: generación per cápita, peso volumétrico y composición, así como su propósito y respectivos valores y unidades (ver Tabla 9) (INECC, SEMARNAT, 2012).

Estudio	Propósito	Datos importantes Nivel Nacional
Generación per cápita (gpc)	Determinar la cantidad generada de residuos.	Valor promedio ponderado de 0.852 kg/hab/día. ²⁶
Peso volumétrico (pv)	Determinar las dimensiones de las unidades de recolección de RSU, sistemas de almacenamiento y DF.	Valor promedio ponderado ²⁷ de 153.12 kg/m ³
Composición	Determinar las dimensiones de las plantas de tratamiento de los RSU.	Ver Tabla 10

Tabla 9. Resumen de los datos proporcionados por DBGIR respecto a los parámetros a considerar en los RSU.

Fuente: Elaboración Propia con información del DBGIR, (2016)

La composición de los RSU está dada en la Tabla 10 considerando las tres categorías mencionadas anteriormente, Reciclables, Orgánicos y Otros donde se presentan sus porcentajes totales dentro de la clasificación de este tipo de residuos. Del mismo modo se encuentran como sub encabezados para cada categoría un listado de materiales (Material) y el porcentaje que le corresponde tanto total (%T) como relativo dentro de la misma (%R). (INEGI, 2011).

²⁶ Valor determinado a partir de 1,144 datos disponibles (46.56%) del total de los municipios.

²⁷ Se ajustó al número de habitantes por tamaño de municipio.

Reciclables 39.57%			Orgánicos 37.97%			Otros 22.46%		
Material	%T	%R	Material	%T	%R	Material	%T	%R
Plásticos rígidos y de película	7.22	18.25	Residuos de alimentos	25.57	67.34	Pañal desechable	6.52	29.03
Cartón	6.54	16.53	Residuos de jardinería	9.38	24.70	Residuo fino	3.76	16.74
Papel	6.20	15.67	Madera	1.25	3.29	Trapo	3.57	15.89
Vidrio transparente	4.03	10.18	Fibra dura vegetal	0.67	1.76	Material de construcción	1.46	6.50
Poliuretano	2.80	7.08	Huesos	0.59	1.55	Algodón	0.70	3.12
Vidrio de color	2.55	6.44	Cuero	0.51	1.34	Loza y cerámica	0.55	2.45
Lata	2.28	5.76				Varios	5.90	26.27
Material ferroso	2.09	5.28						
Poliestireno expandido	1.65	4.17						
Envase de cartón encerado	1.50	3.79						
Hule	1.21	3.06						
Fibras sintéticas	0.90	2.27						
Material no ferroso	0.60	1.52						

Tabla 10. Composición de los RSU que se generan en México y su respectivo porcentaje.
Fuente: INEGI Censo Nacional de Gobierno 2011. MORSU, (2012).

Una de las conclusiones, de entre varias, a la que podemos llegar es que el país ha crecido en el ámbito legal en materia de RSU, en cuanto a su clasificación como en su tratamiento, realizando acciones para generar programas y proyectos para el mejoramiento del manejo y gestión de los mismos, sin embargo, pese a todos los esfuerzos implementados no se han podido cumplir los objetivos.

Otra conclusión es que, por EF, el Estado de México es la que mayor cantidad de RSU genera²⁸, seguido de la, ahora, Ciudad de México. Por esta razón, la

²⁸ De acuerdo con el DBGIR pág. 26

importancia política que tienen ambas a nivel federal, la cantidad de habitantes²⁹ y otras cuestiones que se mencionan más adelante, es que el presente trabajo se enfocará más en estas dos entidades. A pesar de la generación que tienen estos Estados, la posición que tienen a nivel nacional en cuanto a cobertura de recolección es 29° para el Estado de México y 3° para la Ciudad de México. Igualmente ambas entidades entran dentro de las 13 que cuentan con recolección selectiva³⁰ en todo el país, sin embargo el porcentaje con el que cuenta cada una no supera el 20 %, siendo de 15% y 18% respectivamente.

Por parte de las iniciativas tanto nivel nacional como internacional se puede decir que GIZ es el puente que conecta a México con Alemania y presenta como respuesta o posible solución general para la problemática del manejo integral de RSU, en México el uso de BD para la generación de BG.

Cabe mencionar que en 2010 dependencias gubernamentales como SEMARNAT y SAGARPA en conjunto con empresas privadas publicaron el manual de *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México* con el objetivo de establecer:

[...] los criterios de diseño, características de materiales, lineamientos de construcción, operación y mantenimiento, así como los criterios de seguridad para biodigestores tipo laguna cubierta y sus sistemas de aprovechamiento energético, desarrollados y comercializados en la República Mexicana.

²⁹ De acuerdo con el XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

³⁰ Separación de los RSU de acuerdo a sus características, con el fin de evitar su contaminación.

1.2. *El problema por resolver*

Son los estudios de factibilidad en los proyectos de instalación de plantas biodigestoras de residuos sólidos urbanos orgánicos anaerobiamente degradables, ya que México no cuenta con herramientas teóricas para evaluar este tipo de proyectos, por lo que éstos llegan a fracasar, generar gastos excesivos y no se logran los resultados esperados.

1.3. *Objetivo general*

Diseñar un estudio que permita determinar la factibilidad para la instalación de plantas biodigestoras en Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos Urbanos en México que considera aspectos técnicos, legales, económico-ambientales y socioculturales y aplicarlo a un estudio de caso.

1.4. *Objetivos específicos*

- Revisar la literatura acerca de los estudios que determinen la factibilidad de implementación de biodigestores.
- Diseñar indicadores de factibilidad así como sus objetivos para la implementación de biodigestores en estaciones de transferencia en México.
- Crear una interfaz amigable para el análisis de resultados.
- Evaluar la factibilidad de instalar plantas biodigestoras en Estaciones de Transferencia de basura en el municipio de Nezahualcóyotl.

2. CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se hace la revisión de la literatura acerca de conceptos relevantes y proyectos relativos a la recuperación de energía de diversos tipos de material OAD (orgánico anaerobiamente degradable) por medio de BD alrededor del mundo con el fin de encontrar aquellos elementos en común. Asimismo, se consideran los aspectos que fueron tomados en cuenta para cada estudio, relativos al *sistema de manejo integral de residuos sólidos*, mencionados en el Capítulo 1 del presente trabajo de investigación.

2.1. *Factibilidad y sostenibilidad*

Como parte de la solución al problema planteado y a las iniciativas mencionadas anteriormente, se presentan los conceptos que respaldan esta tesis los cuales son factibilidad y sostenibilidad, ya que el primero es el análisis de un proyecto y sirve para determinar cuáles son las condiciones en las que se debe realizar para que sea exitoso considerando aspectos relativos a las especificaciones técnicas, económicas y legales mientras que el segunda hace referencia a los beneficios social, económico y medio ambiental. Debido a que ambos conceptos contemplan un aspecto económico en este trabajo de investigación se considera como el mismo.

2.2. *Indicadores*

Ya que se mencionaron los aspectos a medir, se requiere de la herramienta teórica que permita hacerlo, es por esto que se hará el uso de indicadores³¹, éstos tienen el propósito de medir los resultados de una actividad mediante variables que se relacionen y se pueden expresar matemáticamente, mostrando información precisa, sin ambigüedad y con la unidad mínima de identificación para saber si se logra cumplir algún objetivo. De acuerdo con el *Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México* (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social,

³¹ También encontrado en la literatura como *medidor de desempeño* o *indicador clave de rendimiento* por el término en inglés *key performance indicator (KPI)*.

2013) estos se evalúan en función del valor añadido, considerando los siguientes criterios:

- Coherentes con los objetivos asignados.
- Debe tener un contexto geográfico, cultural y temporal.
- No costosos, que no genere un costo adicional o la información sobre el costo y los recursos para establecer el indicador.
- Medibles, precisos, completos y sin ambigüedad, que ayuda a orientar las acciones.
- Proporcionar la información necesaria y completa en el momento que se precisó o si los datos que se reciben son fiables.

Asimismo, menciona que para su construcción se debe considerar lo siguiente:

- Eficacia: Grado de cumplimiento de objetivos.
- Eficiencia: Relación entre los productos con respecto a los recursos que se consumen.
- Economía: capacidad para generar recursos.
- Calidad: Si los resultados cumplen con los objetivos del programa.

Finalmente, el manual indica que en la creación de indicadores es preciso saber qué se mide, cuál es el objetivo de la medición y qué ámbito está afectando. Los objetivos se pueden clasificar en:

- Fin: Efectos sociales y culturales.
- Propósito: Qué resultados se obtienen, se logra resolver el problema.
- Componente: Qué se produce y los bienes y servicios que se proporcionan.
- Actividades: Verifica el proceso y la administración.

2.3. *Revisión de la literatura*

En este apartado se presenta en primera instancia una breve descripción del objetivo de cada uno de los documentos que se consideraron relevantes para el presente trabajo de investigación junto con una ficha descriptiva que resume las principales características y datos de los mismos. Posteriormente, se muestra una tabla comparativa que permite el análisis de todas las fichas presentadas considerando los aspectos mencionados anteriormente en el apartado 2.1. *Factibilidad y sostenibilidad de esta tesis.*

A continuación se presenta el listado de los trabajos que se analizaron como parte de la revisión de la literatura de acuerdo a lo descrito anteriormente.

- *Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD Marches Biogas Ltd*
- *Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras.*
- *Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural.*
- *Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos.*
- *Optimization of Biogas Production to Use in Cooking Stove*
- *The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production.*

- *Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD Marches Biogas Ltd.*³²

Este reporte ha sido compilado para indicar la factibilidad de la construcción y operación de un Agri Digestor de la empresa Marches Biogas en la granja Hall Farm en Ludlow, Reino Unido. En el estudio se propone la reducción de metano liberado al ambiente, debido a que este gas afecta 23 veces más que el dióxido de carbono (Mullier & Gascoigne, 2013). Considerando que un cuarto del total del metano producido en una granja lechera es causado por desechos fecales de las vacas, de acuerdo con el reporte *Anaerobic Digestion Feasibility Study*, la trata de excretas de las vacas en estas granjas puede reducir el impacto ambiental e incrementar los ingresos de las mismas (ver Tabla 11).

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Título	<i>Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD Marches Biogas Ltd.</i>	
Año	2013	
Autor(es)	Mulliner, Russell; Gascoigne, Jamie	
Entidad	WRAP	
Localidad	Ludlow, Reino unido	
Tipo de sustrato	Subproducto animal y subproducto agrícola como (complemento)	
Aspectos a considerar	Económico	Generación de ingresos, diversificación de negocios
	Técnico	Auto suficiencia
	Legal	Credenciales verdes
	Ambiental	Manejo de nutrientes, evitar la contaminación de suelos y fuentes hídricas
	Sociocultura	No especifica

³² *Estudio de Viabilidad de Digestión Anaerobia - Informe Final. Agri Digestor AD, a pequeña escala Marches biogás Ltd*

Tabla 11. *Resumen de las características del documento: Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD Marches Biogas Ltd.*
Fuente: *Elaboración propia, (2016).*

- *Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras.*

De acuerdo con los autores, en Honduras más de la mitad de la población (54%) vive en zonas rurales, siendo la agricultura su actividad fundamental, y de ésta, el sector lechero representa la mayoría de granjas agrícolas que a su vez, es uno de los principales sustentos del país, ya que contribuye a casi un 15% de su Producto Interno Bruto. Por lo mismo, hacen un estudio de factibilidad para la implementación del Programa Nacional de Biogás empleando como sustrato el estiércol de dicho ganado, el cual sustituiría el uso de leña y Gas licuado de petróleo (GLP) en granjas lecheras. Siendo este programa impulsado por cajas de ahorro y créditos rurales y utilizando como materiales de construcción aquellos que se producen en el país. De modo que se reduzcan tanto emisiones de GEI, como enfermedades respiratorias ocasionadas por la inhalación de humo de leña. (Filomen, Bron, Sosa, & Win van, Abril, 2010) (ver Tabla 12).

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Título		<i>Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras</i>
Año		2010
Autor(es)		Filomeno, Serafín; Bron, Willem; Sosa, Bella; Nes, Win van
Entidad		HIVOS y SNV
Localidad		Tegucigalpa, Honduras
Tipo de sustrato		Subproducto animal (estiércol de vaca)
Aspectos a considerar	Económico	Segmentación de población para delimitar posibles clientes, capacidad de pago y financiamientos
	Técnico	Utilización de materiales que se producen en el país
	Legal	Toman como base la ley de Modernización y de Desarrollo del Sector Agrícola, para la creación de cajas de ahorro y crédito rural
	Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la generación de humo debido a la quema de leña • Reducción de utilización de hidrocarburos como el GLP • Producción de biofertilizantes • Reducción de GEI emitidos por la descomposición de desechos de ganados

	Sociocultural	Reducción de enfermedades respiratoria a causa de la inhalación de humo al quemar leña
--	---------------	--

Tabla 12. Resumen de las características del documento: Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras

Fuente: Elaboración propia, (2016).

- *Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural*

Considerando que las necesidades energéticas de las personas que viven zonas rurales no pueden ser satisfechas con la misma facilidad que las de aquellas que viven en zonas urbanas o semiurbana, debido a esto, los autores proponen un proyecto de cogeneración al emplear BD utilizando como materia prima estiércol de ganado e implementando una celda de combustible de óxido sólido para la generación de energía eléctrica y térmica y así poder no sólo mejorar la condición y calidad de vida de cinco familias campesinas sino también evitar contaminación de suelos y fuentes hídricas que son sustento primordial tanto para ellos como para el ganado. (Barrientos Verjel & Blanco Peñarete, 2010) (ver Tabla 13).

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Título		<i>Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural.</i>
Año		2010
Autor(es)		Barrientos Verjel, Wilson Armando; Blanco Peñarete, Arnoldo
Entidad		Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Universidad Industrial de Santander.
Localidad		Bucaramanga, Colombia
Tipo de sustrato		Subproducto animal
Aspectos a considerar	Económico	Costos de implementación
	Técnico	Implementación de una celda de combustible de óxido sólido para la generación de energía eléctrica y térmica
	Legal	No aplica
	Ambiental	Evitar la contaminación de suelos y fuentes hídricas
	Sociocultural	Satisfacer las necesidades energéticas de cinco familias campesinas mejorando su calidad de vida

Tabla 13. Resumen de las características del documento: Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural.

Fuente: Elaboración propia, (2016).

- *Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos.*

En esta investigación los autores trabajan con los RSU generados dentro de un complejo habitacional de 100 viviendas, evitando la salida de los mismos a la vía pública, con el fin de que se pueda aprovechar la energía producida por los residuos por medio de un biodigestor en zonas comunes del complejo. Contemplando la utilización de 2 dispositivos automatizados complementarios a la separación realizada por los habitantes. Colocando los RSU orgánicos dentro del biodigestor y los inorgánicos en otros contenedores recuperando así los productos de estas actividades (gas metano y compost y material reciclable respectivamente) en periodos de 20 días. Proporcionando diversos beneficios sociales capitalizados en su análisis de pre factibilidad, mientras que los económicos varían, de acuerdo a la utilización o no de los dispositivos complementarios, entre 4 a 8 años (ver Tabla 14).

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Título		<i>Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos.</i>
Año		2013
Autor(es)		Rissetto, Miguel Ángel; Sánchez, Graciela; Sozzani, Leticia; Longo, Gustavo
Entidad		Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda
Localidad		Buenos Aires, Argentina
Tipo de sustrato		RSU orgánicos no especificados
Aspectos a considerar	Económico	De cuatro a ocho años para recuperar la inversión de acuerdo a costos de implementación, ingresos extra por venta de compost y ahorro de gastos por electricidad.
	Técnico	Dispositivos automatizados complementarios a la separación: <ul style="list-style-type: none"> • SA-RSU (Separador automático) • REDE-RSU (Recipiente Detector)
	Legal	No especificada. Ley de basura cero impide el uso de pirolisis.

	Ambiental	Reduce la afectación del medio ambiente por RSU al estar altamente controlados. Reduce contaminación por transporte fuera del complejo
	Sociocultural	Promueve la utilización de esta tecnología. Reduce costos y riesgos por actividades peligrosas para los operarios de basura.

Tabla 14. Resumen de las características del documento: Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos

Fuente: Elaboración propia, (2016).

- *Optimization of Biogas Production to Use in Cooking Stove*

Los autores desarrollan el diseño y construcción de un prototipo de BD a pequeña escala para que pueda ser operada en cualquier granja. A modo que el BG generado sea destinado para estufas de cocina en hogares de granjeros o personas de clase media baja que críe vacas y reducir potenciales emisiones de GEI, utilizando como sustrato subproducto animal. Para la realización de este proyecto se contempló como principal criterio un presupuesto de construcción bajo por lo que la mayoría de los materiales fueron elegidos conforme a su fácil disponibilidad en el mercado y que sus características fueran las adecuadas. En el diseño se incluye un sistema de mezclado manual y de depuración para remover impurezas del BG (ver Tabla 15).

CARACTERÍSTICAS		DESCRIPCIÓN
Título		<i>Optimization of Biogas Production to Use in Cooking Stove</i>
Año		2013
Autor(es)		Munbod, Hermant; Surroop, Dinesh y Reedoye, Deepak
Entidad		Department of Chemical and Environmental Engineering, University of Mauritius.
Localidad		Reduit, Mauricio
Tipo de sustrato		Subproducto ganadero y animal
Aspectos a considerar	Económico	Proyecto de bajo presupuesto de aproximadamente 717 dólares ³³ de acuerdo a materiales nacionales, de bajo costo y fácil acceso.
	Técnico	Diseño y construcción de BD con capacidad de casi un metro cubico (0.97 m ³) con materiales localmente

³³ Conversión monetaria realizada en <https://themoneyconverter.com/ES/USD/MUR.aspx> en mayo de 2017 partir de los 24,796.95 de rupias de Mauricio (MUR) reportados para la realización de este proyecto.

		disponibles y un sistema de mezclado manual. Estudio de caracterización del sustrato en laboratorio
	Legal	No especifica
	Ambiental	Reducción de GEI emitidos por la descomposición de desechos de ganados
	Sociocultural	Los granjeros en Mauricio están interesados en la DA por la generación de energía y por el sistema de manejo de residuos para sus granjas

Tabla 15. Resumen de las características del documento: *Optimization of Biogas Production to Use in Cooking Stove*

Fuente: Elaboración propia, (2016).

- *The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production*³⁴

Documento cuyos autores Antonio Zanin y Fabiano Marcos Bagatini hablan de que los negocios hoy en día están interesados en el impacto social donde las políticas medioambientales son importantes desde el punto de vista de la producción porcina rural y los riesgos ambientales que ésta genera, proponiendo la generación de estrategias o políticas referentes a la gestión ambiental. Igualmente mencionan que el mal manejo de residuos puede llevar a la contaminación del agua, suelo y aire generando malos olores y fauna nociva como mosquitos, los cuales pueden ser portadores a su vez de enfermedades. Implementando el uso de BD como una solución a los problemas financieros en la industria agrícola rural y ambientales, los autores proponen que ayudaría a reducir los efectos ambientales de la producción porcina (Zanin & Bagatini, 2012) (ver Tabla 16).

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Título	<i>The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production</i>
Año	2012
Autor(es)	Zanin, Antonio; Bagatini, Fabiano Marcos
Entidad	Universidade Comunitária da Região de Chapecó (UNOCHAPECÓ)
Localidad	Brasil

³⁴ *Factibilidad económica y financiera de un biodigester: Una buena alternativa para reducir el impacto ambiental de la producción porcina*

Tipo de sustrato		Subproducto animal
Aspectos a considerar	Económico	Un estudio costo-beneficio para obtener retorno de inversión y beneficios
	Técnico	No especifica
	Legal	No especifica
	Ambiental	Reducción de GEI emitidos por la descomposición de desechos de ganados
	Sociocultural	Reducción de los efectos generados por la producción porcina

Tabla 16. Resumen de las características del documento: *The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production*.
Fuente: Elaboración propia, (2016).

En seguida se presenta la comparación entre la literatura revisada y los aspectos considerados durante su respectiva elaboración (ver Tabla 17). Donde se muestra el año de publicación; los autores involucrados en la realización del trabajo de investigación; la localidad, es decir, el país de origen de la publicación; el tipo de sustrato utilizado en el estudio, de acuerdo a la clasificación y descripción mencionada en el apartado 1.1.4. *Biogás y biodigestores* en la presente tesis; finalmente se señalan los aspectos tomados en cuenta para cada trabajo de acuerdo a lo dicho al inicio de este apartado: Económico (E), Técnico (T), Legal (L), Ambiental (A) y Sociocultural (S); donde se cuantifican por medio de una equis (X) aquellos que se presentan de manera explícita y descrita en cada ficha descriptiva.

AÑO	AUTORES	LOCALIDAD	TIPO DE SUSTRATO	E	T	L	A	S
2010	-Barrientos Verjel Wilson Armando -Blanco Peñarete Arnoldo	Colombia	Subproducto animal	X	X		X	X
2010	-Filomeno Serafín -Bron Willem -Sosa Bella -Nes Win van	Honduras	Subproducto animal Subproducto agrícola	X	X	X	X	X
2012	-Zanin Antonio -Bagatini Fabiano Marcos	Brasil	Subproducto animal	X			X	
2013	- Mulliner Russell - Gascoigne Jamie	Reino Unido	Subproducto animal Subproducto agrícola (complemento)	X	X	X	X	
2013	-Risetto Miguel Ángel -Sánchez Graciela -Sozzani Leticia -Longo Gustavo	Argentina	Subproducto de los residuos sólidos urbanos	X		X	X	X
2013	-Munbod Hermant -Surroop Dinesh -Reedoye Deepak	Mauricio	Subproducto animal	X	X		X	X

Tabla 17. Matriz comparativa de la revisión de la literatura.
Fuente: Elaboración propia, (2016).

De la tabla anterior se puede apreciar que todos los proyectos dan suma importancia a la retribución económica para poder recuperar la inversión inicial como en cualquier proyecto de inversión. Asimismo, la tecnología utilizada varía dependiendo del tamaño del proyecto y presupuesto destinado al mismo o subsidio (si es que cuenta con él), con el fin de apoyar económicamente al personal donde se tiene pensado instalar el sistema de biodigestión³⁵ (en el caso de los proyectos rurales o de generación de energía para el sector rural). Generalmente aquellos países con menor desarrollo tecnológico requerirán o utilizarán equipos más económicos para obtener una mayor rentabilidad³⁶ ya que no pueden financiar tecnología y materiales importados ni cuentan con las condiciones para mantenerlos. En cuanto a términos legales parte de la literatura revisada no presenta información de la normatividad de los países en donde se realizaron estos proyectos por lo que se intuye que sí se cumple.

Por otro lado, en los aspectos complementarios, todos los proyectos presentan beneficios ya que reducen agentes contaminantes que afectan directa o indirectamente al medio ambiente como gases de invernadero, degradación de la tierra, entre otros, del mismo modo reducen el riesgo a la salud del ser humano y la propagación de fauna nociva al contener estos agentes (dentro del BD). En cuanto al aspecto sociocultural se percibe un mayor impacto en países donde este tipo de proyectos se emplean a pequeña escala o en comunidades rurales que no cuentan con grandes recursos económicos por lo que se realizan con baja tecnología pero con gran beneficio social.

³⁵ En el caso de los proyectos rurales o de generación de energía para el sector rural.

³⁶ Sin embargo este tipo de proyectos a pequeña escala no tienen un tiempo de vida útil muy grande.

3. CAPÍTULO 3. UN ESTUDIO PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE INSTALACIÓN DE PLANTAS BIODIGESTORAS EN ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

La viabilidad de los proyectos de RE a partir de RSU está condicionada en gran medida a la existencia de un adecuado manejo de residuos, es decir, desde su recolección hasta su separación y DF. Seguido de la legislación en materia de generación energética y finalmente de la normatividad relacionada a combatir el cambio climático, como se mencionó en el Capítulo 1 de este trabajo. Sin embargo, debido a diversos factores como: la duración de los gobiernos municipales (3 años), el manejo actual de los residuos (particularmente los RSU, ya que existe una recolección mixta de los mismos en el 60% del país y dentro de los estados que existe recolección selectiva el porcentaje no alcanza ni 20%³⁷ del total de residuos), la falta de participación por parte de todos los sectores de la población (principalmente por parte de la sociedad en general que no separa o hace distinción de los residuos que produce, debido a falta de información o de interés del cómo y porqué hacerlo), entre otros factores, dificulta la creación de proyectos de manejo integral de residuos a largo plazo.

Es por esto que a continuación, como parte de la presente propuesta, se plantean los diversos aspectos a evaluar: Técnico, Legal, Económico-Ambiental y Sociocultural con sus respectivos objetivos e indicadores para poder determinar si es factible o no implementar un sistema o planta de biodigestión en alguna ET. En primera instancia en la Zona Metropolitana del Valle de México. Apoyándose cada punto con estudios relacionados a los mismos.

Después estos indicadores servirán para alimentar una interfaz amigable en una hoja de cálculo para determinar la factibilidad de instalación total, éste se presentará con mayor detalle en el Capítulo 4.

³⁷ Haciendo énfasis a el Estado de México y Ciudad de México

3.1. Técnico

Este aspecto contiene todas las condiciones técnicas que se deben de cumplir para la recuperación energética a partir de RSU por medio de BD. Tomando en cuenta las características de los RSU. Debido a la existencia de las “Especificaciones Técnicas para el diseño y construcción de Biodigestores en México” en el que se “[...] establecen los criterios diseño, características de materiales, lineamientos de construcción, operación y mantenimiento, así como los criterios de seguridad [...] y sus sistemas de aprovechamiento energético”. Es por esto que se usan estas Especificaciones Técnicas (EsTéc) como base para la realización de los objetivos a cumplir y sus respectivos indicadores en el aspecto técnico en la presente propuesta. No obstante, dichas EsTéc están orientadas estrictamente para la utilización de subproductos animales (excremento principalmente) como biomasa. Por lo que algunos puntos se complementan con otros estudios para el uso de la FORSUAD.

Objetivo

Medir las condiciones óptimas de la materia prima y características necesarias para la generación de biogás.

Indicadores

De acuerdo a las ET, los factores que se deben considerar en el dimensionamiento de un BD son:

- Tipo y disponibilidad de la biomasa (FORSUAD)
- Características físicas, química y biológicas de la biomasa
- Aspectos geográficos de la zona
- Selección del tiempo de retención hidráulica
- Configuración de la digestión anaerobia

Tipo y disponibilidad de la biomasa: Cuántos kilogramos de RSU se generan al día

Debido a que no existe un control riguroso acerca de la cantidad y tipo de RSU que se genera por municipio y la información que se tiene son datos estimados por

INEGI en el estudio realizado a partir de MORSU 2012, a continuación se presentan una serie de ecuaciones que pretenden establecer una aproximación de la cantidad de residuos útiles para la DA de manera general (que también pueden ser aplicables por municipio) de acuerdo a la zona de generación³⁸:

En primera instancia se calcula la cantidad de RSU total en la zona a estudiar (municipio) cómo se expresa en la formula (1)

$$RSU = \frac{FGD * NH}{NCA} \quad (1)$$

Donde:

RSU es la cantidad de residuos sólidos urbanos que se generan de manera total en el lugar de estudio [Kg].

FGD es el Factor de Generación Diaria de RSU por habitante [kg/habitante/día]. Conforme a la generación regional descrito en la Tabla 18.

ZONA	FGD [kg/habitante/día]
Sur	0.332
Centro	0.655
Oeste	0.669
Sureste	0.777
Promedio país	0.798
Noreste	0.839
Noroeste	1.514

Tabla 18. Factor de generación regional de RSU.

Fuente: Elaboración propia con datos de INECC y SEMARNAT, (2012)

NH es el Número de Habitantes en el lugar de estudio [habitante].

NCA es el Número de Estaciones de Transferencia en el municipio [Estación de Transferencia].

³⁸ Ya que como se mencionó en el *Capítulo 2: Marco teórico* de esta tesis, la cantidad de generación de RSU varía de acuerdo a diferentes factores, siendo el principal las seis diferentes zonas en las que está dividida la República mexicana: noroeste, noreste, sureste, oeste, centro y sur.

Una vez que se ha obtenido la cantidad aproximada de RSU generados, hay que tomar de ella la fracción orgánica, retirando así todo material inorgánico que pueda o no ser reciclado o reusado. Esto se calcula por medio de la fórmula (2):

$$FORSU = FCO * RSU = 0.495 * RSU \quad (2)$$

Donde:

FORSU es la fracción orgánica de los RSU [kg].

FCO es el factor de composición orgánica de los RSU [kg o %]. Que de acuerdo con las características de la biomasa, que se mencionan más adelante, es 0.495.

RSU es el valor obtenido de la ecuación (1) [Kg].

Por último se debe de obtener el valor efectivo de la FORSU, es decir, lo ideal es que puedan ser degradados de manera anaerobia dentro del BD.

$$FORSUAD = FAD * RSU = 0.92 * FORSU \quad (3)$$

Donde:

FORSUAD es la FO de los RSU que pueden ser aprovechadas por el biodigestor ya que sólo contiene materia orgánica anaerobiamente degradable [kg].

FAD es el factor de composición orgánica de los RSU que es anaerobiamente degradable [kg o %]. Que de acuerdo a lo visto en el Capítulo 2 de este trabajo de investigación es 0.92.

RSU es el valor obtenido de la ecuación (1) [Kg].

NOTA: todas las ecuaciones mostradas anteriormente se plantean considerando que 1) no existe conocimiento de la clasificación de los tipos de RSU, 2) no existe una contaminación de los RSU desde su generación, es decir, una separación bien definida entre los residuos orgánicos e inorgánicos y 3) existe una recolección selectiva de los mismos.

Características de la biomasa

Continuando con lo que dicen las EsTéc, los principales parámetros a considerar en cuanto a sus características de la biomasa, son:

- Contenido de sólidos
- pH
- Temperatura del influente
- Relación Carbono-Nitrógeno
- Presencia de agentes inhibidores

En cuanto a las características de los residuos generados en México, tanto físicas como químicas, se está considerando el estudio realizado por la Facultad de Química de la UNAM en 2013 a cargo del Doctor en Química Alfonso Durán Moreno. Los resultados de dicho estudio se muestran en la Tabla 19 donde se muestran los valores promedio que se obtuvieron de las ET de la Ciudad de México (Durán Moreno, y otros, 2013).

Parámetro	Valor	
Composición química	Carbón (C)	61.2%
	Hidrogeno (H)	15.4%
	Nitrógeno (N)	2.92%
	Azufre (S)	0.02%
	Oxígeno (O)	7.45%
	Cenizas	13.0%
Metales pesados	Arsénico (A)	0.35 mg/kg _{RSU}
	Cobre (Cu)	72.13
	Cromo (Cr)	56.40
	Mercurio (Hg)	1.24
	Manganeso (Mn)	456.86
	Plomo (Pb)	85.00
	Zinc (Zn)	245.87
Humedad	33.7%	

Parámetro	Valor	
Relación C:N ³⁹	20.96:1	
Fracción Orgánica	49.5%	
Material Reciclable	24.0%	
Peso Volumétrico	185.9 kg/m ³	
Contenido energético	Poder Calorífico Superior (PCS)	10.9 MJ/kg
	Poder Calorífico Inferior (PCI)	6.7 MJ/kg

Tabla 19. Características de los RSU en la Ciudad de México.
Fuente: Elaboración propia con información de Durán Moreno, (2013).

Una vez obtenidas las características que deben cumplir los FORSUAD para poder ser utilizados eficientemente por el BD se deben conocer los parámetros necesarios, sus respectivos rangos de trabajo para una correcta digestión así como los factores que lo impiden como lo son los agentes inhibidores (Ver Tabla 20).

Parámetro	Rango de trabajo		
pH	6.5~7.5		
Temperatura	Depende de acuerdo al lugar de instalación		
Relación Carbono – Nitrógeno (C:N)	20:1~30:1 (óptimo de 25:1)		
Presencia de agentes inhibidores	Elemento	Concentración necesaria (mg/L)	Concentración inhibitoria (mg/L)
	Cobre (Cu)		>40
	Cadmio (Cd)		>150
	Zinc (Zn)		>150
	Níquel (Ni)	0.006 - 0.5	>10
	Plomo (Pb)	0.02 – 200	>300
	Cromo III (Cr)	0.005- 50	>120
	Cromo IV (Cr)		>110

Tabla 20. Parámetros y rangos para la generación de BG.
Fuente: Elaboración propia con datos de Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México, (2010).

³⁹ En dicho estudio no se muestra de manera explícita este valor, sin embargo, se incluye debido a que se puede obtener con los datos que se tienen y además de que es un factor relevante para la generación de biogás.

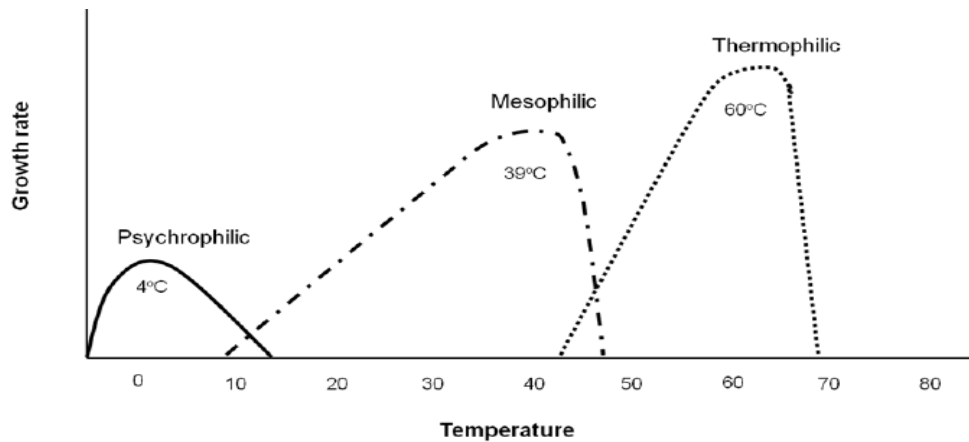
Aspectos Geográficos de la zona

Para este punto las EsTéc dictaminan que se deben considerar las condiciones climatológicas en el lugar donde se plantea la instalación, enfatizando en la recopilación y análisis de las temperaturas máximas, medias y mínimas de la zona. En la producción de biogás la temperatura es importante debido a que con ésta se obtiene el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), es decir, el tiempo de degradación de la materia orgánica dentro del digester. Es por esto que en el *Anexo B. Temperaturas Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2004-2016* se encuentra un listado de dichas temperaturas registradas a nivel nacional y por cada EF, donde se determina que los valores promedios máximo, medio y mínimo en todo el país son **29.1**, **21.6** y **14.3°C** respectivamente.

Temperatura

Como se ha mencionado anteriormente, el tiempo de producción de biogás varía dependiendo de la temperatura empleada, es decir, el tipo de bacterias (ver Figura 15). De acuerdo con (Muzenda, 2014) “[...] las temperaturas óptimas de las bacterias psicófilas, mesófilas y termófilas son 10°C, de 20 a 45°C y mayores a 50°C respectivamente⁴⁰”. Igualmente menciona que la producción de este gas en condiciones psicófilas puede tardar hasta 3 veces más que en condiciones mesófilas y que se puede obtener una mayor cantidad de biogás con bacterias termófilas, pero con una menor estabilidad y con alto consumo energético debido a las temperaturas que se requieren alcanzar y mantener. Por lo que se puede determinar que el rango ideal para este tipo de proyectos, en nuestro país, por el tipo de clima que se tiene y la temperatura ambiental, es el mesófilo.

⁴⁰ Traducción propia.



*Figura 15. Tasa de crecimiento de actividad microbiana anaerobia contra tiempo.
Fuente: Muzenda, (2014).*

Selección del Tiempo de Retención Hidráulica

Las Estéc indican que el TRH, es diferente en cada proyecto y considera la temperatura del medio ambiente y la carga orgánica. En cuestión de las temperaturas de acuerdo a las condiciones climáticas promedio de nuestro país, un periodo de **30 días** es suficiente para alcanzar una destrucción de Sólidos Volátiles⁴¹ de al menos un 60%. Mientras que para aquellas zonas donde la temperatura es superior o inferior a la promedio se debe tomar en cuenta junto con los demás parámetros ya señalados y así determinar el TRH adecuado. Por otro lado en el caso de la carga orgánica Muzenda (2014) menciona que se puede reducir este tiempo de acuerdo a la composición química de la materia prima, por ejemplo, sustratos ricos en azúcar y almidón son fácilmente digeribles debido a que el paso de hidrólisis se evita, por lo tanto, el TRH es menor mientras que materiales como fibra y celulosa de plantas requieren un TRH mayor.

Debido al tiempo que debe de estar confinado el material orgánico dentro del digestor y a fin de evitar reducir su eficiencia y propagar una uniforme actividad microbiana se toman dos consideraciones: el mezclado de la carga orgánica y su tamaño, donde ambas promueven el contacto entre microorganismos y el sustrato, mantienen una temperatura uniforme y reducen la sedimentación que puede llegar a crear “costras” que tapan conductos y tuberías. Considerando un tamaño máximo

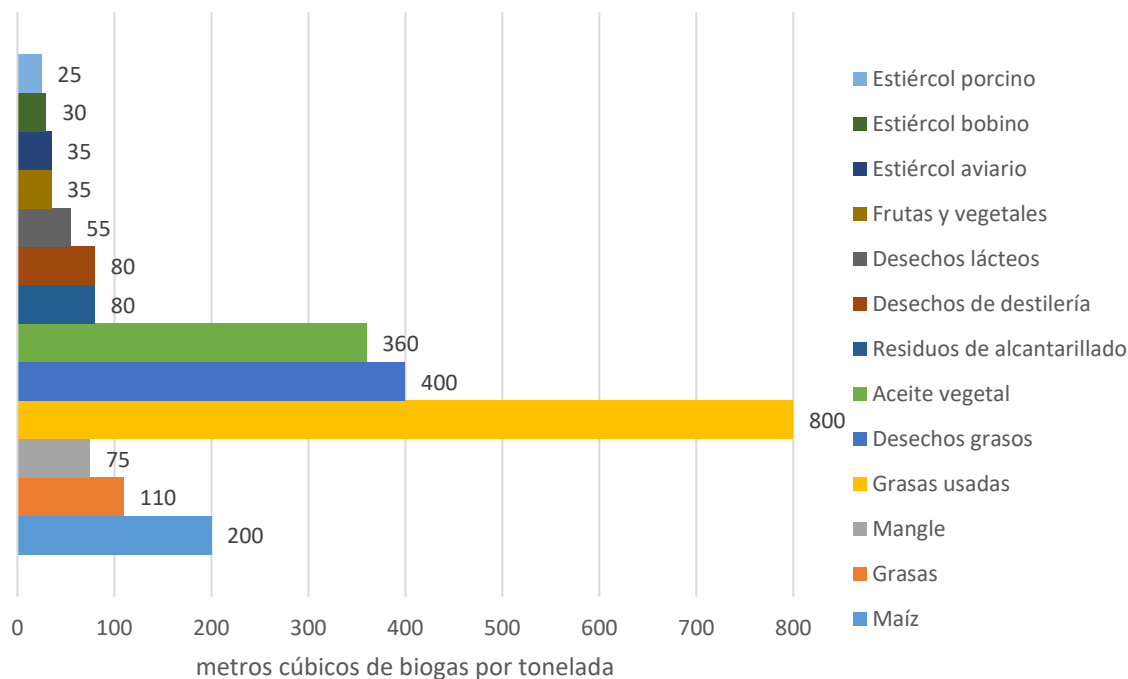
⁴¹ Definido por la NORMA Oficial Mexicana DGN.- AA-34-1976 como “la cantidad de materia, capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación a 550°C en un tiempo de 15 a 20 minutos.”

de partículas apropiado para la digestión de 12 mm, de acuerdo con Muzenda (2014) donde cita la regulación europea EC 208/2006. Por lo que un proceso de triturado previo a la carga del reactor y uno de mezclado o agitación durante la digestión son necesarios.

Configuración de digestión anaerobia

Como se mencionó en el apartado *1.1.4 Biogás y biodigestores* del presente, los digestores (o el proceso de digestión) pueden ser discontinuos o continuos, en otras palabras, cómo estos son alimentados. En los primeros el digestor se carga una sola vez hasta que se extrae la cantidad máxima posible de biogás por lo que la generación es limitada, sin embargo, físicamente son simples, baratos y requieren menos equipamiento. Mientras que en los segundos la carga, como dice su nombre, es continua lo que permiten una generación de gas constante, no obstante, requiere de un cuidado en la carga ya que el nuevo material orgánico podría inhibir la actividad microbiana de la carga previa o desestabilizar la ya existente.

A partir de esto también se puede mencionar el concepto co-digestión, que es la degradación simultánea de dos o más tipos diferentes de sustratos (Muzenda, 2014), en ésta, la carga del digestor se realiza generalmente combinando o mezclando materiales orgánicos con diferente facilidad de degradación, con el fin de poder reducir, en cierta medida, el TRH del material que tardaría más, y maximizar la cantidad de biogás generado por aquel del que no se podría extraer tanto (ver Figura 16).



*Figura 16. Rendimiento de biogás de acuerdo al tipo de materia orgánica.
Fuente: Adaptado de Muzenda, (2014).*

Enseguida se presenta una tabla resumen (ver Tabla 21) de los parámetros que se deben de considerar para determinar la factibilidad técnica en proyectos de recuperación energética a partir de RSU, donde se muestran los objetivos particulares y sus respectivos indicadores.

OBJETIVO	INDICADOR	EVALUACIÓN
Obtener la FORSUAD	Porcentaje de residuos sólidos urbanos orgánicos que son anaerobiamente degradables generados por día.	Por medio de ecuaciones (1) (2) y (3)
Obtener la relación C:N	Porcentaje de carbono respecto a la cantidad de nitrógeno dentro de los RSU que debe de estar en el rango de 20:1 a 30:1 con un óptimo de 25:1.	Por medio de estudio de composición química de los RSU
Obtener el peso volumétrico	Relación entre la cantidad de RSU en kilogramos y el espacio que ocupa en metros cúbicos.	De acuerdo a la norma mexicana

		“NMXAA-019-1985”
Evitar la presencia de agentes inhibidores	Concentración de elementos que pueden llegar a ser agentes inhibidores de BG en miligramos por litro con rangos de acuerdo a Tabla 20	Por medio de la separación de material inorgánico del orgánico.

*Tabla 21. Parámetros técnicos, objetivos, indicadores y evaluación.
Fuente: Elaboración propia, (2017).*

3.2. Legal

Al tratarse de normatividad no se puede ser flexible por lo que la forma en la que se determinará si es factible legalmente la instalación de un BD o PBD y sus componentes es calificando con Sí en todos y cada uno de puntos señalados en el *Anexo C Estatutos y Reglamentos a Cumplir*. Aunado a esto se deben seguir las especificaciones dadas por las leyes mencionadas en el *Capítulo 1. Problemática de la presente, Manejo integral de residuos, Generación de fuentes de energía limpia y Mitigación y adaptación al cambio climático*.

Objetivos

- Cumplir con las especificaciones legales para la ubicación de un BD.
- Cumplir con las especificaciones legales para la instalación de equipos de generación eléctrica.

Indicadores

- Cantidad de estatutos existentes que se cumplen de acuerdo al Anexo C.

3.3. Económico-Ambiental

Conforme con Santiago Atilano (2010) los GEI se clasifican en dos grupos acordes a su forma de influencia al calentamiento global siendo estos directos e indirectos, dentro de los que se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) para el primer grupo; y monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (COVDM) y

óxido de azufre para el segundo. Debido a que el CO₂ es el GEI más común y abundante en la atmósfera se toma como referencia comparativa con los demás GEI de acuerdo a su potencial de calentamiento (PC) y es denominado como dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}), por ejemplo, el metano tiene un factor PC de 21, en otras palabras, es 21 veces mayor que el del CO₂, mientras que el del óxido nitroso es de 310⁴². Comúnmente, dependiendo de la cantidad generada, también se expresa como tonelada (tCO_{2eq}) o kilo toneladas dióxido de carbono equivalente (ktCO_{2eq}).

Asimismo, Santiago Atilano (2010) menciona que existen diversos mecanismos internacionales para que países en desarrollo puedan cumplir con sus metas de limitación de emisión de GEI de acuerdo al protocolo de Kyoto, del cual México es parte, para repartir costos de reducción de emisiones y la movilización de capital privado. A pesar de que existen varios de estos mecanismos todos tienen un fin común: la comercialización de la tonelada métrica de carbono (1000 kg) “mediante proyectos que eviten emisiones de GEI por medio de energías renovables, medidas de eficiencia energética, cambio de combustibles y otros” (Santiago Atilano, 2010). Cuando se usa alguna alternativa para reducir, capturar o evitar emisiones de GEI se produce una diferencia que tiene un valor financiero, como se muestra en el ejemplo siguiente:

De acuerdo a la página del Banco Mundial⁴³ México generó un total de 116,704,583 toneladas de CO₂ equivalente⁴⁴ de CH₄ en 2012⁴⁵. Por otro lado la página del Sistema Europeo de Negociación de CO₂ (SENDECO₂)⁴⁶, empresa que se dedica a la compra-venta de créditos de carbono (Derechos de Emisión de Dióxido de Carbono (EUAs) y Créditos de Reducción de Emisiones de Carbono (CRE)) en

⁴² De acuerdo con el Informe de Evaluación del GIECC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 1995.

⁴³ <http://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.PC?locations=MX>, revisado en mayo de 2017.

⁴⁴ Que es un parámetro utilizado para determinar qué tanto afecta un GEI a la atmósfera utilizando como base el dióxido de carbono (CO₂ o CO₂), donde el metano (CH₄ o CH₄) tiene un factor de 21, es decir, es contamina 21 veces más

⁴⁵ Que es el último año registrado en esa página.

⁴⁶ <https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>, revisado en mayo de 2017.

dicho continente, menciona que el precio promedio anual de estos “bonos de carbono” (como se conocen) para ese año fueron de 4.45 y 0.39 euros respectivamente, ya que no existe un valor fijo para estos bonos debido a que fluctúan de acuerdo a su demanda. Asimismo, la página del banco de México⁴⁷ indica que la divisa en 2012 de euros (EUR) a pesos mexicanos (MXN) fue de 1 EUR = 17.0889 MXN, que para fines prácticos se consideran como 17.09 MXN.

Con toda esta información se pueden estimar los costos por EUAs y CREs para dicho año con nuestro contexto monetario con las siguientes formulas:

Derechos de emisión:

$$tCO_{2eq} \text{ de } CH_4 * \left(\frac{\text{Precio Promedio Anual de EUAs}}{tCO_2} \right) = \text{Bono de Carbono EUAs} \quad (4)$$

Ahora sustituyendo los valores correspondientes para la ecuación (4):

$$116,704,583 \text{ tCO}_{2eq} \text{ de } CH_4 * \left(\frac{4.45 \text{ EUR}}{tCO_2} \right) = 519,335,394 \text{ EUR} \quad (4.1)$$

$$519,335,394 \text{ EUR} * \left(\frac{17.09 \text{ MXN}}{1 \text{ EUR}} \right) = \mathbf{8,875,441,889 \text{ MXN}} \quad (4.2)$$

Créditos de carbono:

$$tCO_{2eq} \text{ de } CH_4 * \left(\frac{\text{Precio Promedio Anual de CREs}}{tCO_2} \right) = \text{Bono de Carbono CREs} \quad (5)$$

Ahora sustituyendo los valores correspondientes para la ecuación (5):

$$116,704,583 \text{ tCO}_{2eq} \text{ de } CH_4 * \left(\frac{0.39 \text{ EUR}}{tCO_2} \right) = 45,514,787 \text{ EUR} \quad (5.1)$$

$$45,514,787 \text{ EUR} * \left(\frac{17.09 \text{ MXN}}{1 \text{ EUR}} \right) = \mathbf{777,847,716 \text{ MXN}} \quad (5.2)$$

Estas cantidades son las teóricas máximas que se pudieron haber obtenido para cada una, al vender estos bonos de carbón tan sólo en ese año. Por lo que un proyecto de recuperación energética a partir de RSU por medio de BD o PBD puede

⁴⁷ <http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/> revisado en mayo de 2017.

generar bonos de carbono que pueden ser negociados con países desarrollados y disminuir las emisiones de GEI.

Objetivos

- Reducir el CO₂ eq de metano liberado al ambiente por RSU.
- Conocer la cantidad de CO₂eq que se puede vender mensualmente.

Indicadores

$$tCO_2eq * \left(\frac{\text{Precio Promedio Anual de EUAs}}{tCO_2} \right) = \text{Bono de Carbono EUAs} \quad (6)$$

$$tCO_2eq * \left(\frac{\text{Precio Promedio Anual de CREs}}{tCO_2} \right) = \text{Bono e Carbono CREs} \quad (7)$$

$$CO_2eq \text{ de } CH_4 = \text{masa de gas} * 21 \quad (8)$$

NOTA: las ecuaciones (6) y (7) se dedujeron utilizando la conversión de euros (EUR) a pesos mexicanos (MXN) debido a que la comercialización de bonos de carbono se realiza a través de países desarrollados (generalmente europeos) y en desarrollo (para este caso, México), sin embargo, se puede omitir esta conversión o cambiar por alguna otra.

3.4. Sociocultural

Conforme a lo hecho por Carranza López (2008) se plantea usar una serie de preguntas con reactivos tipo Likert y de opción múltiple, divididas en tres secciones diferentes, a fin de obtener 1) el grado de conocimiento de la población a cerca de los RSU y su aprovechamiento, 2) el nivel de interés que muestran ante la situación ambiental actual, 3) el estado de comportamiento que presentan ante la gestión integral de residuos sólidos. Todo esto para obtener la información suficiente de cómo se comporta la población en determinada área, concretamente aquella que está cercana a las estaciones de transferencia, y así determinar si dicha población contribuye o no a las actividades previas necesarias para la utilización de materia prima antes de ser utilizada por el biodigestor. En *Anexo D Encuestas de conocimientos, interés del medio ambiente y gestión integral de los RSU* se pueden encontrar las encuestas propuestas para determinar el grado de conocimiento, nivel

de interés y estado del comportamiento de la población, basadas con lo hecho por Carranza López (2008) y complementadas con lo relativo a este trabajo de investigación y el contexto actual de la gestión integral de residuos.

En la primera sección se evalúa el conocimiento de la población encuestada acerca de RSU a grandes rasgos; qué son, cómo se clasifican, dónde se producen, etc. En la segunda, se evalúa el grado de consciencia que muestra la población y su preocupación acerca de las diferentes afecciones que se pueden observar en el medio ambiente y en ella misma debido a la gestión actual de los residuos. Y en la última sección se evalúa el comportamiento y hábitos que presenta la población con los residuos, es decir, como interactúan con ellos, si los separan o no, en qué porcentaje y frecuencia, etc.

Objetivos

- Obtener el nivel de conocimiento, en porcentaje, de la población encuestada sobre los RSU y su aprovechamiento
- Obtener el nivel de interés, en porcentaje, de la población encuestada sobre su compromiso con la situación ambiental y la gestión actual de los residuos
- Obtener el nivel de interés, en porcentaje, de la población encuestada sobre su comportamiento y hábitos con los RSU.

Indicadores

Se considera por separado cada sección, temas y subtemas así como un parámetro de evaluación y un rango de aceptación para cada uno, y del mismo modo una para determinar de manera global o general este aspecto.

Sección 1: Conocimientos

Para determinar si es aceptable o no el nivel de conocimientos que presenta la población encuestada se muestran los parámetros que se deben de considerar: el número de reactivos, la cantidad de aciertos obtenidos en porcentaje de manera individual, la cantidad de personas con número de aciertos iguales y un rango de probabilidad de aceptación (ver Tabla 21). Donde la cantidad de personas dentro

de los subtotales indica la aceptación, es decir, la suma del número de personas con la misma cantidad de aciertos determina la probabilidad de aceptación.

Reactivos correctos	% de conocimientos por individuo	Número de personas con el mismo % de conocimiento	Probabilidad de aceptación
1	5		Muy poco probable
2	10		
3	15		
4	20		
5	25		
6	30		
7	35		
8	40		
Subtotal			
9	45		Poco probable
10	50		
11	55		
12	60		
Subtotal			
13	65		Probable
14	70		
15	75		
16	80		
Subtotal			
17	85		Muy probable
18	90		
19	95		
20	100		
Subtotal			
Total de personas encuestadas		Probabilidad de efectividad mostrado por las personas encuestadas	

*Tabla 22. Parámetros para determinar si el nivel de conocimientos es aceptable o no.
Fuente: Elaboración propia, (2017).*

Sección 2: Interés del medio ambiente

La sección dos de la encuesta se divide en cuatro subtemas que se describen en seguida junto con sus parámetros de evaluación.

Percepción de responsabilidad

Se muestra una evaluación de la percepción de la responsabilidad que presentan tres grupos sociales diferentes (gobierno, empresas, ciudadanía) en cuatro categorías distintas (generación y separación de residuos, contaminación y cuidado del medio ambiente) utilizando una escala de Likert de cinco niveles de ponderación (NP) (5 = muy de acuerdo, 4 = de acuerdo, 3 = ni de acuerdo ni desacuerdo, 2 = desacuerdo, 1 = muy en desacuerdo), donde para ser aceptable este parámetro (evaluación) la suma de los NP de los reactivos para cada grupo social debe seguir la siguiente jerarquía⁴⁸: en primer lugar la ciudadanía (reactivos 3, 6, 9 y 12) seguido de las empresas (reactivos 2, 5, 8 y 11) y finalmente el gobierno (reactivos 1, 4, 7, 10), en un rango de 4 a 20 puntos donde 4 es el mínimo y 20 es el máximo. Como se muestra en la ecuación (9).

$$\sum NP_{\text{Ciudadanía}} > \sum NP_{\text{Empresas}} > \sum NP_{\text{Gobierno}} \quad (9)$$

Acciones para preservar el medio ambiente

Se muestra una evaluación de la percepción de aceptación que presenta la ciudadanía en tres categorías distintas (la inversión de recursos, cuidado del medio ambiente y preservación de los recursos naturales) utilizando una escala de Likert de cinco niveles de ponderación (NP) (5 = muy de acuerdo, 4 = de acuerdo, 3 = ni de acuerdo ni desacuerdo, 2 = desacuerdo, 1 = muy en desacuerdo), donde para ser aceptable este parámetro, la suma de los NP de los reactivos para cada categoría debe seguir la siguiente jerarquía: en primer lugar la preservación de los recursos naturales (RN) (reactivos 15, 18, 21 y 24) seguido del cuidado del medio ambiente (MA) (reactivos 14, 17, 20 y 23) y finalmente la inversión de recursos (R) (reactivos 13, 16, 19, 22), en un rango de 4 a 20 puntos donde 4 es el mínimo y 20 es el máximo. Como se muestra en la ecuación (10).

$$\sum NP_{\text{Preservación RN}} > \sum NP_{\text{Cuidado MA}} > \sum NP_{\text{Inversión R}} \quad (10)$$

⁴⁸ Sin embargo, también puede ser aceptable una jerarquía: ciudadanía, gobierno, empresas. Mientras que la principal responsabilidad caiga en la ciudadanía.

Separación de residuos

Se muestra una evaluación de la percepción de los beneficios que se pueden obtener con los residuos después de desecharlos presentada por la ciudadanía en dos categorías distintas (aprovechamiento y valorización de los residuos) utilizando una escala de Likert de cinco niveles de ponderación (NP) (5 = muy de acuerdo, 4 = de acuerdo, 3 = ni de acuerdo ni desacuerdo, 2 = desacuerdo, 1 = muy en desacuerdo), donde para ser aceptable este parámetro la suma de los NP de los reactivos para cada categoría debe ser igual o superior a “de acuerdo”, es decir, que el porcentaje de las ponderaciones de la valorización de residuos (reactivos 25, 27 y 29) como los de reducción de residuos (reactivos 26, 28 y 30) deben de ser para cada caso mayor o igual a 80%⁴⁹. Como se muestra en las ecuaciones (11) y (12).

$$\% \textit{Promedio}_{\text{Aprovechamiento de residuos}} \geq 80\% \quad (11)$$

$$\% \textit{Promedio}_{\text{Valorización de residuos}} \geq 80\% \quad (12)$$

Inconvenientes en la separación de residuos

Se muestra una evaluación de la percepción de los inconvenientes que se pueden dar al tratar de separar los residuos después de desecharlos presentada por la ciudadanía en dos categorías distintas (inconformidad con la infraestructura y manejo de residuos actual) utilizando una escala de Likert de cinco niveles de ponderación (NP) (5 = muy de acuerdo, 4 = de acuerdo, 3 = ni de acuerdo ni desacuerdo, 2 = desacuerdo, 1 = muy en desacuerdo), donde para ser aceptable este parámetro la suma de los NP de los reactivos para cada categoría debe ser igual o superior a “de acuerdo”, es decir, que la suma de las ponderaciones de la inconformidad con la infraestructura (reactivos 31, 33 y 35) como los de inconformidad con el manejo de residuos (reactivos 32, 34 y 36) deben de ser para cada caso mayor o igual a 80%⁵⁰. Como se muestra en las ecuaciones (12) y (13).

⁴⁹ Considerando que cada NP de la escala de Likert corresponde a un equivalor de 20 %.

⁵⁰ Considerando que cada NP de la escala de Likert corresponde a un equivalor de 20 %.

$$\% \textit{Promedio}_{\text{inconformidad con la infraestructura}} \geq 80\% \quad (12)$$

$$\% \textit{Promedio}_{\text{inconformidad con el manejo de residuos}} \geq 80\% \quad (13)$$

Para establecer si es aceptable o no el nivel de interés ante la situación ambiental que presenta la población encuestada, se muestran las medidas que se deben de considerar: el número de reactivos, el parámetro de evaluación y si estos se cumplen o no (ver Tabla 22). Donde se debe de tener Sí en todas las secciones para así determinar la aceptación.

TEMA	SUBTEMA	REACTIVOS	PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	CUMPLE SÍ/NO
Percepción de responsabilidad	Ciudadanía	3, 6, 9 y 12	Ecuación (8)	
	Empresas	2, 5, 8 y 11		
	Gobierno	1, 4, 7, 10		
Acciones para preservar el medio ambiente	Preservación de los recursos naturales	15, 18, 21 y 24	Ecuación (9)	
	Cuidado del medio ambiente	14, 17, 20 y 23		
	Inversión de recursos	13, 16, 19 y 22		
Separación de residuos	valorización de residuos	25, 27 y 29	Ecuación (10) y (11)	
	reducción de residuos	26, 28 y 30		
Inconvenientes en la separación de residuos	Inconformidad con la infraestructura	31, 33 y 35	Ecuación (12) y (13)	
	Inconformidad con el manejo de residuos	32, 34 y 36		

Tabla 23. Parámetros para determinar si el nivel de interés del medio ambiente es aceptable o no.

Fuente: Elaboración propia, (2017).

Sección 3: Gestión integral de los RSU

Para determinar si es aceptable o no este punto, se considera el promedio de separación para cada tipo de Residuo (R): Orgánicos (O), Inorgánicos Reciclables o Reusables (IR) e Inorgánicos NO Reciclables NI Reusables (INR) (ecuaciones 14, 15 y 16 respectivamente). Después, de manera colectiva (ecuación 17) y

posteriormente se evalúa el promedio de reutilización⁵¹ (ecuación 18), de modo que se alcance como mínimo un 75%, de acuerdo a la escala de Likert utilizada con cinco niveles de ponderación (NP) de frecuencia (100%=siempre, 75%=casi siempre, 50%=algunas veces sí y otras no, 25%=casi nunca y 0%=nunca).

Ecuaciones para separación individual

$$\frac{\sum \% \text{ Separación } R O}{\text{Número productos } O} \quad (14)$$

$$\frac{\sum \% \text{ Separación de } R IR}{\text{Número productos } IR} \quad (15)$$

$$\frac{\sum \% \text{ Separación de } R INR}{\text{Número productos } INR} \quad (16)$$

Ecuación para separación colectiva

$$\frac{\sum \% \text{ Separación Total}}{\text{Número productos } O} \quad (17)$$

Ecuación para reutilización:

$$\frac{\sum \% \text{ Reutilización } R INR}{\text{Número productos } INR} \quad (18)$$

NOTA: se utilizan estas ecuaciones ya que si se requiere de ser más específicos en la separación y el reciclado incluyendo un mayor número de productos, éstas no se vean afectadas y se considera el porcentaje (probabilidad) de cada actividad.

Para establecer si es aceptable o no el nivel de interés ante el comportamiento y hábitos que presenta la población encuestada, se muestran las medidas que se deben de considerar: el número de reactivos, el parámetro de evaluación y si estos se cumplen o no (ver Tabla 23). Donde se debe de tener SÍ en todas las secciones para así determinar la aceptación.

⁵¹ No se considera el reciclado ya que por definición para reciclar se requiere de una transformación de los residuos, siendo este un proceso más complejo para la ciudadanía, por lo que se contempló en general la reutilización.

TEMA	SUBTEMA	REACTIVOS	PARÁMETRO DE EVALUACIÓN	CUMPLE SÍ/NO
Separación	Orgánicos	37	Ecuación (14)	
	Inorgánicos (Reciclables o Reusables)	38	Ecuación (15)	
	Inorgánicos (NO Reciclables NI Reusables)	39	Ecuación (16)	
	Total	37, 38 y 39	Ecuación (17)	
Reutilización	Residuos Inorgánicos (NO Reciclables NI Reusables)	40	Ecuación (18)	

Tabla 24. Parámetros para determinar si el nivel de interés del comportamiento y hábitos con los RSU es aceptable o no.

Fuente: Elaboración propia, (2017).

4. CAPÍTULO 4. ESTUDIO DE CASO: FACTIBILIDAD DE LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA BIODIGESTORA EN UNA ET EN EL MUNICIPIO DE NEZAHUALCÓYOTL

La medición de los parámetros considerados para determinar la factibilidad de la instalación de una PBD en una ET en el municipio de Nezahualcóyotl se realizó con base a una interfaz amigable, realizada en una hoja de cálculo. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

4.1. *ET en el municipio Nezahualcóyotl*

Técnico

A continuación, en la Tabla 25, se muestran los parámetros técnicos tomados en cuenta para el estudio de caso y sus respectivos valores (redondeados al número entero inmediato), sin embargo, cabe mencionar que se utilizaron las siguientes consideraciones:

- El factor de generación de RSU por persona es el indicado por la zona geográfica (0.655 kg/día).
- El porcentaje o factor de FO es el expuesto por Duran Moreno (2013) (49.5% o 0.495).
- El porcentaje o factor de FO AD es el determinado por el INEGI en MORSU (2012) (92.04% o 0.92).
- El número de habitantes es de acuerdo al conteo poblacional intercensal 2015.
- Existe una repartición uniforme de RSU entre la cantidad de ET que existen por estado.

Parámetro general	Parámetro particular	Cantidad	Unidad
Ubicación geográfica	Zona	1	Centro
	Estado	1	México
	Municipio	1	Nezahualcóyotl
Población	Estatal	16,187,608	Habitantes
	Municipal	1,039,867	Habitantes
Generación de RSU Total	Municipal	681,113	Kg/día
Generación de FO RSU	Municipal	337,151	Kg/día
Generación de FO RSU AD	Municipal	310,179	Kg/día
ET	Estatal	15	ET
Cantidad de FO RSU AD por ET	ET	20,678	Kg/día

*Tabla 25. Parámetros técnicos tomados en cuenta para el estudio de caso
Fuente: Elaboración propia, (2016).*

Legal

Los parámetros legales tomados en cuenta para el estudio de caso se encuentran en el *Anexo C Estatutos y Reglamentos a Cumplir para la Instalación de Biodigestores* del presente trabajo de investigación.

Económico-Ambiental

Debido a lo especializado que es este tipo de estudio sólo se propone utilizar los datos relevantes que presente el organismo facultado para ello.

Sociocultural

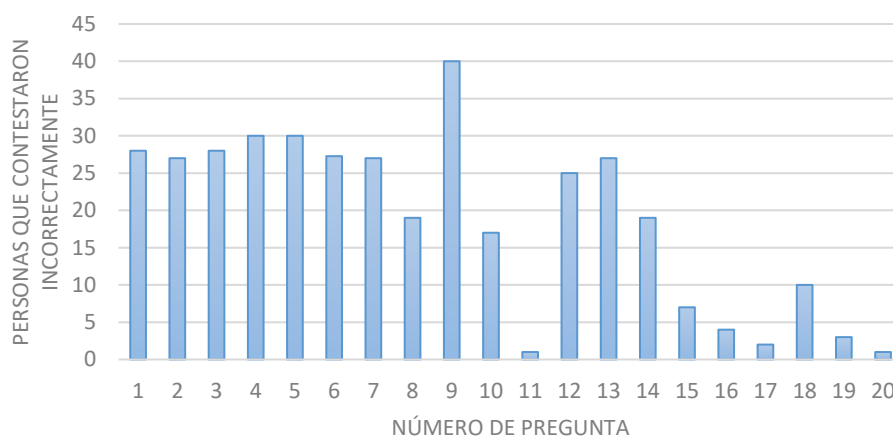
Se realizó la encuesta a 44 individuos bajo una muestra no-probabilística intencional mostrando los resultados en la Tabla 26:

Reactivos	% de conocimientos por individuo	Número de personas con el mismo % de conocimiento	Probabilidad de aceptación
1	5	0	Muy poco probable
2	10	0	
3	15	1	
4	20	0	
5	25	0	
6	30	0	
7	35	1	
8	40	5	
Subtotal		7	
9	45	3	Poco probable
10	50	4	
11	55	2	
12	60	10	
Subtotal		19	
13	65	7	Probable
14	70	7	
15	75	4	
16	80	0	
Subtotal		18	
17	85	0	Muy probable
18	90	0	
19	95	0	
20	100	0	
Subtotal		0	
Total de personas encuestadas	44	Probabilidad de efectividad mostrado por las personas encuestadas	Poco probable

*Tabla 26. Resultados de la encuesta de conocimientos.
Fuente: Elaboración propia, (2017).*

La mayoría de los individuos presentan un 60% de conocimientos acerca de los residuos sólidos urbanos, así como su separación. Sin embargo, la probabilidad de aceptación que se encontró es “poco probable” debido a que la mayoría de las personas se encuentran en un intervalo de conocimientos de 45 a 60%, sin embargo, el 40% de las personas encuestadas entra en el intervalo de probable. En

la Figura 17 se muestran los resultados de los errores por cada pregunta para identificar los temas que la gente desconoce.



*Figura 17. Nivel de errores mostrados por los encuestados.
Fuente: Elaboración propia, (2017).*

De la figura anterior se puede decir que:

- Más del 60% de los encuestados no logran distinguir la diferencia entre basura y residuos, ni la clasificación de los mismos de acuerdo a la ley. En el caso específico de los RSU más del 60% de los individuos solamente los clasifican en orgánico e inorgánico, desconocen su tasa de generación, no pueden identificar las fuentes que las producen, las consecuencias para el ser humano y su entorno, ni los diversos sitios de disposición final que existen.
- Más del 90 % de los individuos no conocen el porcentaje de los residuos que pueden ser aprovechables, cerca del 40% no pueden distinguir la principal fuente de su generación ni los tipos de residuos que pueden ser aprovechables.
- Menos del 20% de la población no puede distinguir entre los residuos orgánicos e inorgánicos, así como algunas de las aplicaciones de los residuos orgánicos o biodegradables.

Para este trabajo lo más importante es la separación de los RSU de manera correcta, al menos los residuos orgánicos, para que puedan ser utilizados para la

alimentación de un BD, considerando esto, cerca del 80% de la población encuestada sí podría separarla correctamente.

En seguida se presentan los resultados de la segunda sección de manera general. Después se muestran los resultados en la Tabla 27 de acuerdo a los formatos presentados en el capítulo anterior y finalmente lo que se puede interpretar de los mismos:

- La población encuestada percibe que la mayor responsabilidad en cuanto a generación y separación de RSU y contaminación y cuidado del medio ambiente la tiene la ciudadanía, seguido de las empresas y finalmente del gobierno.
- Más del 85% de los individuos encuentran interés por la reducción y aprovechamiento de los residuos a través de su separación en orgánicos e inorgánicos.
- La población encuestada percibe que los inconvenientes para separar los RSU son la falta de lugares para procesarlos o depositarlos, la falta de camiones adecuados y capacitación del personal, ya que los recolectores mezclan los residuos.

Tema	Subtema	Reactivos	Parámetro de evaluación	Cumple Sí/no
Percepción de responsabilidad	Ciudadanía	3, 6, 9 y 12	Ecuación (8)	SI
	Empresas	2, 5, 8 y 11		
	Gobierno	1, 4, 7, 10		
Acciones para preservar el medio ambiente	Preservación de los recursos naturales	15, 18, 21 y 24	Ecuación (9)	SI
	Cuidado del medio ambiente	14, 17, 20 y 23		
	Inversión de recursos	13, 16, 19 y 22		

Separación de residuos	Valorización de residuos	25, 27 y 29	Ecuación (10) y (11)	SI
	Reducción de residuos	26, 28 y 30		

Tema	Subtema	Reactivos	Parámetro de evaluación	Cumple Sí/no
Inconvenientes en la separación de residuos	Inconformidad con la infraestructura	31, 33 y 35	Ecuación (12) y (13)	SI
	Inconformidad con el manejo de residuos	32, 34 y 36		

*Tabla 27. Resultados de la encuesta del nivel de interés del medio ambiente.
Fuente: Elaboración propia, (2017).*

De la tabla anterior se puede apreciar que, a pesar de su desconocimiento, la población encuestada muestra interés en lo que respecta a su participación en lo relacionado con el medio ambiente y el correcto manejo de residuos.

De acuerdo con los datos obtenidos de la encuesta para la tercera sección relativos al comportamiento y hábitos que tiene la ciudadanía con los RSU, se tiene un promedio de separación general de RSU de poco más del 60%. Respecto a la separación de residuos orgánicos se presenta un 61% mientras que para los residuos inorgánicos tanto reutilizables como no reutilizables se tienen un 63.1 y 56.3% respectivamente, que puede reflejarse como una contaminación de aquellos residuos que podrían ser valorados, disminuyendo su potencial. Sin embargo, esto contrasta con el porcentaje de reutilización de residuos, ya que se observa que un 75% de la población encuestada realiza esta actividad (ver Tabla 28).

Tema	Subtema	Reactivos	Parámetro de evaluación	Cumple Sí/no
Separación	Orgánicos	37	Ecuación 14	NO
	Inorgánicos (Reciclables o Reusables)	38	Ecuación 15	NO
	Inorgánicos (NO Reciclables NI Reusables)	39	Ecuación 16	NO
	Total	37, 38 y 39	Ecuación 17	NO

Tema	Subtema	Reactivos	Parámetro de evaluación	Cumple Sí/no
Reutilización	Residuos inorgánicos (NO Reciclables NI Reusables)	40	Ecuación 18	SI

Tabla 28. Resultados de la encuesta del nivel de interés del comportamiento y hábitos con los RSU.

Fuente: Elaboración propia, (2017).

Después de haber analizado estos datos se puede inferir que a pesar del gran entusiasmo mostrado por la ciudadanía para el cuidado del medio ambiente, la valorización de los residuos así como la preservación de los recursos naturales, su escaso conocimiento de estos temas así como sus hábitos y comportamiento ante la separación de los residuos **no es factible, en la zona seleccionada para este estudio, este tipo de proyectos de recuperación energética a partir de RSU por medio de BD.** Puesto que el rendimiento de los BD está sumamente ligado a la calidad de la materia prima que se utiliza para su alimentación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro de las conclusiones que se pueden mencionar se encuentran:

- Los beneficios obtenidos por medio de la recuperación de energía a partir de residuos son la consecuencia de un correcto manejo o gestión de los mismos, reflejado principalmente desde la generación y separación en sitio.
- Potencialmente se tendría una planta de generación energética en cada Estación de Transición por lo que los costos de producción o generación de energía eléctrica disminuirían (de acuerdo con la ley de la oferta y la demanda).
- Se pueden generar ingresos extras al venderse el digestato como abono.
- Lugares donde se generen desechos orgánicos relacionados a la jardinería, horticultura, etc., se verían favorecidos ya que uno de los productos de la DA es el digestato que es un material benéfico para la tierra y el cultivo, cerrando el ciclo y volviéndolo una actividad sostenible.
- Habría reducción de costos por transporte al reducir el número de camiones transportadores de residuos debido a que éstos no cargarían todo lo que llega a las ET hacia los sitios de DF.
- Al tener una adecuada separación de residuos se evita una contaminación de los mismos por lo que aumentaría el número de aquellos materiales que puedan ser reciclados, reduciendo así costos de manufactura de algunos productos.

En seguida se presentan una serie de recomendaciones a diferentes sectores de la sociedad desde la ciudadanía que es la generadora de los RSU hasta las autoridades municipales y delegacionales que son las encargadas de su manejo:

- Que los productos contengan una referencia iconográfica o explicación escrita de la composición de cada uno de sus elementos, en cuanto a contenido, empaque, envoltura, embalaje, etcétera, de acuerdo a lo expuesto por SEMARNAT en su "Guía de diseño para la identificación gráfica del manejo

integral de los residuos sólidos urbanos"⁵² de modo que la separación en sitio por parte de la ciudadanía sea más eficiente.



Figura 18. Propuesta de referencia iconográfica para la fácil identificación y correcta disposición de los RSU.

Fuente: Tomado de: *Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos*, (2017).

- Debido a que en México la semana laboral es de lunes a viernes con una menor actividad sábados y domingos y que los RSU se dividen en ocho tipos diferentes: orgánicos, inorgánicos, papel, cartón, vidrio, metal, madera y tela; es por eso que se propone una recolección selectiva de dos tipos diferentes cada tres días como se muestra en la Tabla 29. En donde se le dé más importancia a aquellos residuos que tienen un mayor porcentaje de generación y se recolecten en los días donde exista menor actividad laboral, de modo que se le facilite a la ciudadanía su separación y su desecho.

Día de la semana	Tipo de residuo a recolectar
Domingo	Orgánicos e Inorgánicos
Lunes	
Martes	Madera y Tela
Miércoles	
Jueves	Metal y Vidrio
Viernes	
Sábado	Papel y Plástico

Tabla 29. Propuesta de recolección de RSU por día de la semana.

Fuente: Elaboración Propia, (2017).

⁵²

- Todo esto en orden de mejorar la eficiencia del uso de los biodigestores ya que al no tener materia prima contaminada o con presencia de inhibidores estos requerirían menos inversión de recursos para ser separados y así se reducirá el riesgo y los costos relacionados a la salud de los trabajadores involucrados en dicho proceso.
- Asimismo, con el fin de que la ciudadanía se dé cuenta de que no es sólo responsabilidad del gobierno sino que también los ciudadanos deben contribuir, el gobierno no debe encargarse de, absolutamente, todas las actividades entorno a los RSU.

Una vez dicho esto se puede determinar que se logró cumplir con el objetivo de este trabajo de investigación el cual fue diseñar un estudio que permita determinar la factibilidad para la instalación de Plantas Biodigestoras en Estaciones de Transferencia de Residuos Sólidos Urbanos en México considerando diversos aspectos y aplicarlo a un estudio de caso, que para el mismo, resultó negativo debido al escaso conocimiento por parte de la ciudadanía en los alrededores del objeto de estudio: acerca de los temas relacionados con el cuidado del medio ambiente, la valorización de los residuos, la preservación de los recursos naturales así como sus hábitos y comportamiento ante la separación de los residuos. Es de vital importancia la calidad de la materia prima que se utiliza para la alimentación de los Biodigestores, pues su rendimiento está sumamente ligado a esto. Sin embargo, se deja un precedente para futuras investigaciones para este tipo de proyectos de recuperación energética por medio de Residuos Sólidos Urbanos.

GLOSARIO

BD	Biodigestor
BG	Biogás
BM	Biometano
CEL	Certificado de Energía Limpia
DA	Digestión Anaerobia
DBGIR	Diagnóstico Básico para la Gestión de Integral de Residuos
DOF	Diario Oficial de la Federación
EF	Entidad Federativa
EsTéc	Especificaciones Técnicas
ET	Estación de Traslado
FO	Fracción Orgánica
GIZ	Cooperación Alemana para el Desarrollo (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
INECC	Institución Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
LIE	Ley de Industria Eléctrica
LPDB	Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos
LTE	Ley de Transición Energética
NGRSU	Normatividad para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos
PBD	Planta BioDigestora
PEPGIR	Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
PMPGIR	Programa Municipal para la Prevención y Gestión Integral de Residuos
PNPGIR	Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
RME	Residuos de Manejo Especial
RP	Residuos Peligrosos
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SMA	Secretaría del Medio Ambiente

ANEXOS

A. Minuta del taller “El Rol del Sector Privado en las Promoción del Biogás”



Minuta del Taller

“El Rol del Sector Privado en la Promoción del Mercado del Biogás”

Fecha: **25 de agosto de 2016**
 Hora: 15:00 hrs – 19:30 hrs
 Lugar: Oficina de Representación de la Cooperación Alemana al Desarrollo, Col. Del Valle, CDMX

Objetivo del taller:

Generar un espacio de diálogo e intercambio de ideas acerca de las barreras y oportunidades para el fortalecimiento del mercado de biogás en México

Participantes

Nombre	Institución
Adolfo Tapia	Sustentabilidad Kaisen SA de CV
Alfonso Durán	UNAM
Alvaro Munciño	Grupo Contadero
Andrea Piña	Centro Mario Molina
Andrés Estrada	Centro Mario Molina
Benly Ramirez	Giz // IBTECH
Carlos González	SUEMA SA de CV
Eduardo Novoa	Energías Renovables Exacta (Era Exacta)
Francisco Pedreguera	Particular
Gema Gutiérrez	INECC
Jacob Gomez	CIATEJ AC
Jorge Hugo Gagellos	Onsite Energy
Miriam Macías	BM/FIRCO
Octavio García	CIATEJ AC
Oscar Monroy	CEMIE-Biogás
Roberto Martínez	Energías Renovables Exacta (Era Exacta)
Rocío Sánchez Pérez	Centro Mexicano para la Producción más Limpia (IPN)
Rodolfo Montelongo	ENERG
Ruben Jahir Mojica	SUEMA SA de CV
Saday Reyes López	Las Manos en la Tierra
Tatiana García	Posgrado de Ingeniería UNAM
Ubis González	SAGARPA
Eliseo Pedraza	Particular

Agenda:		
Hora	Actividad	Responsable
3:00 pm	Presentación del Programa EnRes	Gabriela Baeza, Asesora GIZ
3:30 pm	Presentación: "Tendencias del mercado mundial y alemán del biogás, y el rol de las asociaciones"	Clemens Findeisen, Asociación Alemana de Biogás
4:45 pm	Refrigerio	
5:00 pm	Barreras y oportunidades. Discusión grupal	Moderación: Francisco Padrón Gil
7:00 pm	Conclusiones	Moderación: Francisco Padrón Gil

Desarrollo del taller:	
<p>1. Barreras</p> <ul style="list-style-type: none"> Falta de incentivos fiscales- No existe un verdadero apoyo para el surgimiento de un mercado de biogás. Se necesita trabajar en estos instrumentos para fomentar la participación del biogás en la matriz de energías limpias, con el fin de que puedan competir con los bajos precios de los combustibles fósiles. Falta definición y certeza acerca del precio y funcionamiento de los Certificados de energía Limpia (CELS) Faltan fuentes de financiamiento, y transparentar el proceso para acceder a las existentes. Falta una normatividad más estricta de protección ambiental, tanto en la promoción de energías renovables, como en el adecuado manejo de los residuos sólidos urbanos y otros tipos de residuos. En el panorama de la sociedad civil, falta conciencia ambiental de los problemas derivados por el inadecuado manejo de los residuos, y del potencial económico y energético de los mismos 	
<p>2. Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> Convertir el problema de la gestión de residuos en negocio sustentable Obtener energía de una fuente renovable Existe el potencial para crear una sinergia entre el gobierno, las universidades públicas y la iniciativa privada. Existe la oportunidad para crear o trabajar con los colectivos existentes en temas de sensibilización ambiental La promoción de una Asociación de Biogás en México sólida para impulsar medidas. Apoyo por parte de la Asociación Alemana de biogás para fortalecer a dicha asociación. Apoyo de organismos de cooperación internacional Alianza con compañías que ya implementen la tecnología y transferencia de know-how Realizar una transición asistida Ahorro económico para productores agropecuarios Impulso al desarrollo de tecnología mexicana 	

3. Pasos a seguir

- El núcleo de actores que expresaron su interés en el taller, de tomar un rol más activo, darán seguimiento a la idea de crear una plataforma/organización para trabajar sobre las barreras y oportunidades. GIZ invitará a los actores y moderará este proceso de arranque.
- La GIZ determinará y comunicará los instrumentos de apoyo que podrá poner a disposición para generar un dialogo más cercano entre los actores interesados.

Fotos



B. Temperaturas (en °C) Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2004-2016.

ENTIDAD	2004			2005			2006			2007			2008			2009			2010		
	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN
Aguascalientes	25.5	16.8	8.1	26.5	17.3	8.2	27.1	18.0	9.0	26.9	17.7	8.8	26.7	17.4	8.3	27.5	18.2	8.9	26.3	17.3	8.3
Baja California	27.1	19.5	12.0	26.8	19.7	12.6	27.1	19.9	12.7	26.7	19.7	12.7	26.7	19.5	12.3	26.8	19.6	12.4	26.5	19.7	12.9
Baja California Sur	30.2	22.1	13.9	30.6	22.4	14.1	31.0	23.8	16.5	30.0	22.9	15.9	30.3	23.2	16.1	30.3	23.6	16.9	29.9	22.8	15.7
Campeche	32.6	26.0	19.3	32.9	26.1	19.3	32.4	26.4	20.4	32.8	26.7	20.7	32.8	26.5	20.2	33.3	27.1	20.8	32.2	26.2	20.2
Coahuila de Zaragoza	29.1	21.0	12.8	30.0	21.4	12.9	29.5	22.1	14.6	28.1	21.1	14.2	29.3	21.5	13.8	29.6	22.0	14.4	28.3	20.7	13.0
Colima	33.3	26.0	18.7	32.7	26.5	20.3	32.7	26.6	20.4	33.2	26.5	19.8	32.4	25.7	19.1	32.9	26.5	20.0	31.6	25.2	18.8
Chiapas	30.6	24.0	17.4	30.5	24.0	17.4	31.5	25.5	19.4	31.7	25.4	19.2	30.6	24.5	18.4	30.8	24.6	18.3	30.4	24.3	18.3
Chihuahua	26.6	18.4	10.2	27.1	18.5	9.8	27.1	18.4	9.8	27.1	18.3	9.6	26.7	18.0	9.2	26.8	18.2	9.7	26.8	18.1	9.3
Distrito Federal	23.6	16.0	8.4	23.7	16.1	8.5	23.9	17.3	10.7	23.9	17.3	10.9	23.7	17.1	10.6	24.4	17.7	11.1	23.6	17.1	10.5
Durango	26.1	17.6	9.0	27.5	18.6	9.6	27.0	18.1	9.2	26.7	17.7	8.8	26.5	17.4	8.3	26.9	18.0	9.1	26.0	17.0	7.9
Guanajuato	26.3	17.9	9.6	27.3	18.5	9.8	27.7	19.6	11.5	27.3	19.2	11.1	28.7	20.8	13.0	27.6	19.4	11.2	26.8	18.7	10.6
Guerrero	32.0	24.9	17.9	32.7	25.4	18.0	32.9	26.1	19.2	33.4	26.1	19.0	30.7	23.1	15.5	32.4	25.5	18.6	31.2	24.5	17.8
Hidalgo	23.9	16.3	8.7	25.4	18.3	11.3	25.1	17.7	10.3	25.3	18.0	10.8	24.9	17.5	10.2	25.3	18.1	10.8	24.7	17.2	9.6
Jalisco	28.8	20.5	12.3	29.1	20.4	11.8	29.1	21.2	13.3	28.8	21.2	13.7	29.0	20.7	12.4	28.9	21.0	13.2	28.4	20.4	12.4
México	23.1	15.1	7.1	24.0	15.9	7.9	22.9	15.2	7.4	22.4	14.5	6.7	22.3	14.6	7.0	22.2	14.6	7.1	21.6	14.0	6.5
Michoacán de Ocampo	25.2	17.4	9.5	28.8	20.7	12.5	28.8	20.7	12.7	28.4	20.3	12.2	28.1	19.4	10.8	27.7	19.3	11.0	26.7	18.3	9.9
Morelos	28.2	20.4	12.6	28.0	20.5	13.0	29.4	21.8	14.1	30.2	22.4	14.7	29.4	21.6	14.0	29.5	21.8	14.2	29.4	21.6	13.8
Nayarit	32.8	25.6	18.4	33.1	25.5	17.9	34.1	26.1	18.1	34.2	26.0	18.1	33.4	25.3	17.2	33.4	25.8	18.3	32.5	25.0	17.5
Nuevo León	24.5	16.2	8.0	24.3	16.1	8.0	29.9	22.3	14.8	28.4	21.7	15.1	29.4	22.1	14.7	29.9	22.5	15.1	28.5	21.4	14.4
Oaxaca	31.3	25.0	18.8	31.1	24.9	18.6	31.5	25.3	19.1	31.5	25.5	19.5	29.8	24.0	18.3	30.7	24.4	18.2	29.8	23.6	17.4
Puebla	24.2	18.0	11.7	24.7	18.4	12.2	25.2	17.6	10.1	25.5	17.9	10.4	24.6	17.4	10.1	25.3	17.8	10.4	24.3	17.2	10.0
Querétaro	26.5	18.9	11.3	26.8	19.5	12.1	26.8	19.4	12.0	26.2	18.9	11.6	26.0	18.3	10.7	26.5	18.9	11.3	25.8	18.2	10.6
Quintana Roo	31.9	25.7	19.5	32.3	26.0	19.6	31.9	27.1	22.3	31.9	27.1	22.3	31.6	26.8	22.1	32.1	27.0	22.0	31.6	26.3	21.1
San Luis Potosí	28.3	21.0	13.7	28.8	21.1	13.4	30.4	22.9	15.3	29.6	22.6	15.6	29.4	22.1	14.8	30.1	22.8	15.5	29.1	22.0	14.9
Sinaloa	32.3	24.4	16.6	33.4	25.3	17.2	33.9	25.6	17.4	33.0	24.9	16.8	32.7	24.6	16.9	33.3	25.5	17.6	32.5	24.4	16.4
Sonora	31.1	22.0	12.9	32.2	22.9	13.6	31.2	22.5	13.8	30.9	22.3	13.8	30.8	22.3	13.7	31.2	22.5	13.8	30.6	21.8	13.1
Tabasco	32.5	26.8	21.1	33.4	27.9	22.4	32.2	27.1	22.1	32.1	26.8	21.7	31.2	26.2	21.2	32.1	26.8	21.5	30.9	26.1	21.3
Tamaulipas	30.2	24.1	18.0	31.0	25.0	18.9	31.2	24.7	18.3	29.8	23.9	18.1	29.9	23.6	17.6	30.7	24.4	18.2	29.5	23.2	17.0
Tlaxcala	23.1	14.6	6.2	23.8	14.4	5.0	23.5	14.7	6.0	23.8	14.8	6.0	23.4	14.6	5.9	23.5	14.8	6.0	22.7	14.2	5.7
Veracruz de I. de la Llave	28.8	23.1	17.4	30.4	24.5	18.5	29.0	23.5	18.0	28.6	23.3	18.0	28.2	22.9	17.6	28.6	23.1	17.7	27.5	22.3	17.1
Yucatán	32.8	26.3	19.7	33.1	26.6	20.1	32.9	26.6	20.2	32.7	26.5	20.3	32.5	26.3	20.0	33.5	26.8	20.1	31.8	25.5	19.2
Zacatecas	24.4	16.0	7.6	25.2	16.4	7.7	26.0	17.4	8.8	25.8	16.9	8.1	25.5	16.6	7.7	26.3	17.3	8.3	25.4	16.4	7.4
NACIONAL	28.3	20.9	13.4	29.0	21.4	13.8	29.2	21.9	14.6	29.3	21.8	14.7	29.0	21.4	13.9	29.3	21.8	14.3	28.5	21.0	13.5

Tabla 30. Temperaturas Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2004-2010 con valores en °C.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA servicio meteorológico nacional, (2017).

ENTIDAD	2011			2012			2013			2014			2015			2016			PROMEDIO (°C)
	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	MAX	MED	MIN	
Aguascalientes	27.8	18.2	8.6	26.6	17.8	9.1	26.6	18.1	9.7	26.3	17.9	9.5	25.4	17.7	10.0	26.7	18.4	10.1	17.8
Baja California	25.7	18.9	12.0	27.0	19.9	12.8	27.7	20.6	13.6	28.9	22.3	15.7	27.5	20.9	14.3	28.6	21.6	14.6	20.1
Baja California Sur	29.8	22.7	15.6	29.9	23.1	16.5	30.0	23.4	16.8	31.5	24.7	17.9	30.7	24.4	18.1	31.0	24.3	17.7	23.3
Campeche	32.6	26.9	21.1	32.4	26.6	20.8	33.3	27.7	22.1	33.3	27.4	21.5	33.9	27.9	21.9	33.9	28.1	22.2	26.9
Coahuila de Zaragoza	30.6	22.5	14.4	30.0	22.4	15.3	29.1	21.9	14.6	28.9	21.6	14.2	27.8	20.8	13.7	29.2	22.1	15.1	21.6
Colima	31.6	25.6	19.5	31.6	25.7	19.7	32.3	26.4	20.4	32.9	26.9	20.8	32.6	26.7	20.8	33.7	27.3	20.9	26.3
Chiapas	30.2	24.3	18.3	30.2	24.4	18.5	30.8	24.9	19.2	30.4	24.6	18.8	30.7	24.9	19.2	31.6	25.5	19.4	24.7
Chihuahua	28.2	18.9	9.6	27.8	19.3	10.8	26.6	18.3	10.0	27.0	18.6	10.1	26.6	18.6	10.5	27.7	19.1	10.6	18.5
Distrito Federal	24.2	17.4	10.6	23.4	17.0	10.6	24.6	18.1	11.6	23.8	17.7	11.5	23.9	17.8	11.7	24.1	17.9	11.6	17.3
Durango	28.2	18.5	8.8	27.5	18.3	9.2	27.0	18.3	9.6	27.3	18.5	9.6	26.2	17.9	9.6	27.6	18.7	9.7	18.0
Guanajuato	27.6	19.0	10.3	27.2	19.0	10.7	27.3	19.3	11.3	27.1	19.0	10.9	27.0	19.1	11.3	27.4	19.2	10.9	19.1
Guerrero	31.5	25.1	18.7	31.2	25.2	18.7	31.5	25.2	19.0	31.5	25.3	19.1	32.4	26.2	19.9	32.5	25.8	19.0	25.3
Hidalgo	25.5	17.7	9.8	25.0	17.7	10.4	25.6	18.2	10.8	25.5	18.1	10.7	25.3	18.1	11.0	26.1	18.7	11.3	17.8
Jalisco	29.3	20.8	12.4	28.1	20.4	12.7	28.2	20.8	13.5	28.3	20.8	13.3	28.8	21.3	13.9	29.6	21.5	13.3	20.8
México	22.0	14.3	6.6	21.9	14.6	7.4	23.0	15.6	8.3	21.9	14.6	7.3	21.9	14.8	7.8	22.4	15.8	7.2	14.9
Michoacán de Ocampo	28.2	19.8	11.4	27.7	19.7	11.8	27.5	20.0	12.4	27.2	19.9	12.7	28.4	21.2	14.1	28.9	20.8	12.7	19.8
Morelos	29.4	21.5	13.5	29.1	21.5	13.7	29.8	22.2	14.6	29.5	22.2	14.9	29.7	22.6	15.4	29.5	22.2	15.0	21.7
Nayarit	32.5	24.9	17.3	32.5	25.2	18.3	32.4	25.6	18.8	32.7	26.2	19.7	32.9	26.6	20.3	32.8	26.1	19.4	25.7
Nuevo León	30.4	22.8	15.2	29.8	22.7	15.7	28.9	22.0	15.1	28.7	21.7	14.7	28.6	22.1	15.6	30.1	23.0	15.8	21.3
Oaxaca	30.8	24.4	17.9	31.0	24.7	18.4	31.6	25.2	18.9	30.7	24.5	18.3	31.2	25.0	18.8	31.2	24.9	18.6	24.7
Puebla	25.2	17.7	10.1	25.0	17.8	10.5	25.7	18.3	11.0	25.7	18.3	10.9	25.8	18.3	10.9	25.7	18.3	11.0	17.9
Querétaro	26.5	18.6	10.7	26.6	19.0	11.5	27.1	19.4	11.8	26.3	18.9	11.6	26.8	19.8	12.8	27.1	19.9	12.8	19.1
Quintana Roo	31.8	26.8	21.8	31.7	26.8	21.9	31.8	27.0	22.2	32.3	27.3	22.5	32.6	27.7	22.7	32.6	27.4	22.2	26.8
San Luis Potosí	30.7	23.2	15.7	29.7	23.0	16.3	29.7	23.1	16.5	29.3	22.7	16.0	28.9	22.1	15.4	29.8	22.9	15.9	22.4
Sinaloa	32.8	24.6	16.3	32.9	25.1	17.3	32.9	25.0	17.1	33.7	25.9	18.1	32.8	25.8	18.7	33.9	26.1	18.2	25.2
Sonora	30.9	22.0	13.1	31.2	22.4	13.6	31.2	22.4	13.7	32.3	23.6	15.0	31.1	23.2	15.3	32.0	23.1	14.2	22.5
Tabasco	30.7	25.7	20.7	31.0	26.0	20.8	31.9	26.9	21.9	31.5	26.7	21.9	32.1	27.3	22.5	31.9	27.1	22.5	26.7
Tamaulipas	30.8	24.4	17.9	30.5	24.6	18.8	30.1	24.3	18.4	29.7	23.8	17.9	30.0	24.3	18.5	31.1	25.1	19.0	24.3
Tlaxcala	23.7	14.8	6.0	23.1	14.7	6.4	23.4	15.6	7.7	23.7	15.6	7.6	23.4	15.6	7.7	23.5	15.8	8.0	14.9
Veracruz de I. de la Llave	28.8	23.2	17.6	28.1	22.9	17.8	28.7	23.5	18.2	28.3	22.9	17.5	28.4	23.0	17.7	28.9	23.5	18.1	23.2
Yucatán	32.4	26.1	19.8	32.0	26.0	19.9	32.6	26.8	21.0	32.6	26.6	20.5	33.6	27.4	21.3	33.3	27.2	21.0	26.5
Zacatecas	27.0	17.5	8.0	26.7	17.3	8.5	25.8	17.5	9.1	25.9	17.4	8.9	25.2	17.4	9.5	25.9	17.4	8.9	17.0
NACIONAL	29.7	21.8	14.0	29.1	21.9	14.5	29.2	21.9	14.7	29.3	22.1	14.8	29.0	21.1	15.1	29.8	22.4	15.0	21.6

Tabla 31. Temperaturas Máxima, Media y Mínima promedio por entidad federativa 2011-2016 con valores en °C.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA servicio meteorológico nacional, (2017).

C. Estatutos y Reglamentos a Cumplir para la Instalación de Biodigestores

ESTATUTO	NOMBRE DEL REGLAMENTO	CUMPLE (SI/NO)
Ubicación	Evitar la cercanía de aeródromos de servicio público o aeropuertos.	
	No ubicarlo dentro de áreas naturales protegidas.	
	Se deberá instalar a una distancia mínima de 500 m de cualquier núcleo poblacional.	
	No ubicarlo en zonas de marismas, manglares, esteros, pantanos, humedales, estuarios, planicies aluviales, fluviales, recarga de acuíferos, zonas arqueológicas, fracturas o fallas geológicas.	
	La distancia con respecto a cuerpos de aguas superficiales con caudal continuo, lagos y lagunas, debe ser de 500 m como mínimo.	
	Se deberá localizar fuera de zonas de inundación.	
	La ubicación entre el límite del sistema y cualquier pozo de extracción de agua, deberá ser de 500 m.	
	El manto freático deberá encontrarse a una profundidad mínima de 7 metros	
Límites Máximos Permisibles de emisión a la atmósfera	NOM-085-SEMARNAT-1994	
Diseño, instalación, dispositivos, seguridad y operación de la instalación eléctrica de aprovechamiento energético del biogás	“NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE2005, Instalaciones Eléctricas” (utilización).	
	Artículo 110 - Requisitos de las Instalaciones Eléctricas, inciso A. Disposiciones Generales	
El generador eléctrico	“Artículo 445 – Generadores” y “Artículo 705-Fuentes de Producción de Energía Eléctrica Conectada” de la “NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005, Instalaciones Eléctricas” (utilización).	

ESTATUTO	NOMBRE DEL REGLAMENTO	CUMPLE (SI/NO)
El método de alambrado, las canalizaciones y número de conductores	Capítulo 3 de la NOM-001-SEDE-2005.	
Puesta a tierra para todas las tensiones eléctricas	Artículo 430-141 de la NOM-001	
Los métodos de muestreo, número de muestras y metodologías para el análisis de contaminantes	NOM-001-SEMARNAT	
Disposición o aprovechamiento de lodos residuales de biodigestor	NOM-004-SEMARNAT-2002	
Aplicación de lodos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos	Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia	
Las tuberías de conducción de biogás y lodos residuales	NOM-026-STPS-2008.- Colores y Señales de Seguridad e Higiene, e Identificación de riesgos por fluidos en tuberías	
Riesgo de incendio	NOM-026-STPS-2008.- Colores y Señales de Seguridad e Higiene, e Identificación de riesgos por fluidos en tuberías	
Instalación de caseta de generación eléctrica	Se deberá situar a no menos de 30 m del biodigestor y en ella deberá colocarse un anuncio que indique la siguiente leyenda "PELIGRO: RIESGO DE DESCARGAS ELÉCTRICAS"	
Instalación del quemador	En una plataforma estable metálica o concreto alejado del biodigestor cables y tuberías a un mínimo recomendado de 30 metros	
Señalización	Instalar anuncios visibles en las áreas de seguridad que indiquen las siguientes leyendas "PELIGRO: GAS ALTAMENTE INFLAMABLE" y "SE PROHIBE FUMAR"	

*Tabla 32. Estatutos y Reglamentos a cumplir para la instalación de biodigestores
Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT; SAGARPA; Firco, (2010)*

D. Encuestas de conocimientos, interés del medio ambiente y gestión integral de los RSU

Sección 1: Conocimientos

A continuación encontrará una serie de enunciados y preguntas que conforman el cuestionario, donde en cada apartado se encuentran las instrucciones necesarias para contestar, sin embargo, si tiene dudas pregunte al encuestador.

Es importante que conteste todos los enunciados o preguntas, haciendo un esfuerzo en pensar y analizar cuál es la respuesta correcta en cada caso, ya que ello nos ayudará a conocer mejor qué tanto las personas saben sobre los temas ambientales.

A continuación encontrará una serie de preguntas con cuatro opciones de respuesta a las cuales deberá responder eligiendo la respuesta correcta poniendo una “X” sobre la letra que indique la misma.

1.- Diferencia entre basura y residuos

- a) Una es orgánica y la otra es inorgánica
- b) Una se tira en la calle y la otra en los botes
- c) La contaminación de diferentes residuos se considera como basura
- d) Ninguna, son lo mismo

2.- ¿Cuántos tipos de residuos existen en México de acuerdo a sus leyes?

- a) Residuos Sólidos Urbanos, Residuos de Manejo Especial y Residuos Peligrosos
- b) Residuos Orgánicos e Inorgánicos, Residuos de Hospitales y Farmacias, Residuos de Construcción e Industriales
- c) Residuos Municipales, Estatales y Federales
- d) Residuos Sólidos, Residuos Líquidos y Residuos Gaseosos

3.- De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ¿cuántos tipos de residuos sólidos urbanos existen?:

- a) 2: orgánico e inorgánico
- b) 3: orgánico, inorgánico y otros
- c) 5: orgánico, inorgánico, papel, cartón y plástico
- d) 8 orgánico, inorgánico, papel, tela, madera, cartón, vidrio y metal

4.- ¿Dónde se producen los residuos sólidos urbanos?

- a) En casa-habitación, hoteles y comercios pequeños
- b) En la ciudad, industrias y constructoras
- c) Por vehículos automotores y maquinaria pesada
- d) En centros ganaderos y de producción de alimentos

- 5.- En promedio a nivel nacional qué cantidad de residuos genera una persona al día
- Menos de medio kilogramo (<500g)
 - Entre medio kilogramo y un kilogramo (500g-1kg)
 - Entre un kilogramo y un kilogramo y medio (1kg-1.5kg)
 - Más de dos kilogramos (>2kg)
- 6.- ¿Qué nivel de gobierno está encargado del manejo de los residuos sólidos urbanos?
- El gobierno municipal y delegacional
 - El gobierno estatal
 - El gobierno federal
 - Todos los anteriores
- 7.- ¿Cuáles son las principales afecciones para el ser humano y su entorno debido al mal manejo de los residuos?
- La degradación de la capa de ozono, el cambio climático y el deterioro de la calidad del aire en las zonas urbanas
 - Contaminación ambiental y calentamiento global
 - Smog, inundaciones, incendios y contaminación de la tierra
 - Generación de enfermedades y fauna nociva (como mosquitos y ratas), gases de efecto invernadero
- 8.- ¿Cuál es la principal fuente de producción de residuos sólidos?
- ser humano
 - animales
 - industria
 - naturaleza
- 9.- ¿Qué porcentaje de los residuos puede ser aprovechado para producir algo diferente?
- menos del 25%
 - entre 25 y 50%
 - entre 51 y 75 %
 - más del 75 %
- 10.- Para su mejor aprovechamiento todos los materiales y desechos se deben de separar en:
- residuos sólidos y de manejo especial
 - residuos domiciliarios e industriales
 - residuos peligrosos y no-peligrosos
 - residuos orgánicos e inorgánicos
- 11.- Los residuos biodegradables se les conoce con el nombre de:
- inorgánicos
 - urbanos
 - orgánicos
 - de manejo especial

12.- El material que se desecha y que puede ser aprovechado a través de diferentes métodos de tratamiento como el reciclaje se le conoce cómo residuo:

- a) orgánico
- b) peligroso
- c) inorgánico
- d) biodegradable

13.- De las siguientes opciones, ¿cuál no es un sitio de disposición final?

- a) tiradero a cielo abierto
- b) relleno sanitario
- c) planta de biodigestión
- d) estación de transferencia

14.- Los residuos que se pueden reciclar o reusar son:

- a) inorgánicos
- b) orgánicos
- c) urbanos
- d) de manejo especial

15.- La composta se obtiene de residuos:

- a) inorgánicos
- b) urbanos
- c) de manejo especial
- d) orgánicos

A continuación se presentan dos columnas los enunciados (A y B) del lado izquierdo y los ejemplos del lado derecho. Para responder esta parte deberá anotar la letra correcta en cada paréntesis no importando que repita letras en cada uno de ellos.

Enunciados	Ejemplos
A) Señale cuáles son ejemplos de residuos orgánicos:	16 () Plásticos y aluminio
	17 () Sobrantes de alimentos
	18 () Cartón, papel y ropa
B) Señale cuáles son ejemplos de residuos inorgánicos:	19 () Empaques y pañales desechables
	20 () Restos de jardinería

Respuestas

1	c	6	a	11	c	16	b
2	a	7	a	12	c	17	a
3	d	8	a	13	d	18	b
4	a	9	d	14	a	19	b
5	b	10	d	15	d	20	a

*Tabla 33. Respuestas de la sección de conocimientos
Fuente: Elaboración propia, (2017)*

Sección 2: Interés del medio ambiente

El cuestionario consta de una serie de afirmaciones que deberá contestar leyendo cuidadosamente cada una de las mismas, escogiendo sólo una de las cinco opciones de respuesta, esto es, aquella que describa mejor su opinión de acuerdo a la escala siguiente, poniendo una "X" en la casilla que corresponda con el enunciado y su respuesta. NO dejando de contestar ninguna.

5=muy de acuerdo, 4=de acuerdo, 3 ni de acuerdo ni desacuerdo, 2= desacuerdo, 1= muy en desacuerdo.

	PERCEPCIÓN DE RESPONSABILIDAD	5	4	3	2	1
1	El problema de la generación de residuos es solo responsabilidad del gobierno					
2	El problema de la generación de residuos es solo responsabilidad de las empresas					
3	El problema de la generación de residuos es solo responsabilidad de la ciudadanía					
4	La separación de residuos es responsabilidad del gobierno					
5	La separación de residuos es responsabilidad de las empresas					
6	La separación de residuos es responsabilidad de la ciudadanía					
7	La contaminación del medio ambiente es responsabilidad del gobierno					
8	La contaminación del medio ambiente es responsabilidad de las empresas					
9	La contaminación del medio ambiente es responsabilidad de la ciudadanía					
10	El cuidado del medio ambiente es responsabilidad del gobierno					
11	El cuidado del medio ambiente es responsabilidad de las empresas					
12	El cuidado del medio ambiente es responsabilidad de la ciudadanía					

*Tabla 34. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de la responsabilidad de los RSU.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).*

	AL TOMAR ACCIONES PARA PRESERVAR EL MEDIO AMBIENTE:	5	4	3	2	1
13	Se crean insoportables campañas a favor del medio ambiente					
14	Evitamos daños irreversibles al mismo					
15	Se resguarda su valor esencial					
16	Se crean métodos alternativos peores que la contaminación en sí misma					
17	Se evita la sobreexplotación de los recursos no-renovables					
18	Seguiremos contando con los recursos naturales suficientes					
19	Se crean soluciones tecnológicas peores que la contaminación en sí misma					
20	Se evita la alteración de la naturaleza					
21	Se fortalece nuestra calidad de vida					
22	Los individuos vamos en contra del progreso					
23	No contaminamos más el ambiente					
24	Lo conservamos para seguir utilizándolo					

Tabla 35. Encuesta de percepción de la sociedad acerca del cuidado del medio ambiente.

Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

	LOS RESIDUOS DEBEN SEPARARSE EN ORGÁNICOS E INORGÁNICOS:	5	4	3	2	1
25	Para aprovechar los mismos a través del reciclamiento					
26	Para evitar la acumulación de los mismos					
27	Para contribuir a una mejor reutilización					
28	Para que haya menos residuos en los sitios de disposición final					
29	Para elaborar abonos con los orgánicos					
30	Para mandarlos a los lugares indicados					

Tabla 36. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de la separación de residuos.

Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

	EL INCONVENIENTE DE SEPARAR LA BASURA EN ORGÁNICA E INORGÁNICA ES:	5	4	3	2	1
31	Que hay pocos lugares donde se pueden procesar los residuos					
32	La falta de lugares específicos y adecuados (contenedores) para cada tipo de residuo					
33	Que no hay suficientes camiones para trasladarla de manera separada					

34	Que en los camiones se revuelve todo nuevamente (solo tiene un contenedor)					
35	La falta de infraestructura para los procesos de reciclamiento					
36	La falta de respeto al trabajo de la ciudadanía en la separación de residuos porque los recolectores la revuelven					

Tabla 37. Encuesta de percepción de la sociedad acerca de los inconvenientes ante la separación de residuos.

Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

Sección 3: Gestión integral de los RSU

El cuestionario consta de una serie de afirmaciones que deberá contestar leyendo cuidadosamente cada una de las mismas, escogiendo sólo una de las cinco opciones de respuesta, esto es, aquella que describa mejor su comportamiento de acuerdo a la escala siguiente, poniendo una "X" en la casilla que corresponda con el enunciado y su respuesta. NO dejando de contestar ninguna.

100%=Siempre, 75%=casi siempre, 50%=algunas veces sí y otras no, 25%=casi nunca y 0%=Nunca

37.- Separo en un bote o bolsa los siguientes productos (orgánicos)

Productos	100%	75%	50%	25%	0%
Residuos de comida					
Residuos de jardinería					
Madera					
Huesos					
Cuero					

*Tabla 38. Porcentaje de separación de residuos orgánicos.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).*

38.- Separo en un bote o bolsa los siguientes productos (inorgánicos)

Productos	100%	75%	50%	25%	0%
Plástico					
Cartón					
Papel					
Vidrio					
Aluminio (latas)					
Envase multiempaque (tatrapack)					
Hule					
Metal					

*Tabla 39. Porcentaje de separación de residuos inorgánicos reciclables o reusables.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).*

39.- Separo en un bote o bolsa los siguientes productos (otros)

Productos	100%	75%	50%	25%	0%
Pañal desechable					
Toallas sanitarios					
Papel higiénico					
Tela					
Material de curación					
Medicamento caduco					

Tabla 40. Porcentaje de separación de residuos inorgánicos no reciclables ni reusables.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

40.- Acostumbro reusar algunos de los siguientes materiales u objetos:

Productos	100%	75%	50%	25%	0%
Hojas de papel					
Frascos					
Botes					
Bolsas de plástico					
Botellas					
Ropa					

Tabla 41. Porcentaje de reutilización de residuos inorgánicos reciclables o reusables.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

DATOS GENERALES

SEXO	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino	EDAD:	
ESCOLARIDAD	<input type="checkbox"/> Primaria	<input type="checkbox"/> Secundaria	<input type="checkbox"/> Preparatoria	
	<input type="checkbox"/> Licenciatura	<input type="checkbox"/> Posgrado	Otro:	
OCUPACIÓN				
DELEGACIÓN / MUNICIPIO				
1.- En donde vivo se separan los residuos que se generan diferenciando los orgánicos de los inorgánicos				
<input type="checkbox"/> Sí				
<input type="checkbox"/> No				
2.- En mi colonia existe una recolección de residuos selectiva, es decir, un día orgánicos y otro inorgánicos				
<input type="checkbox"/> Sí				
<input type="checkbox"/> No				
3.- En mi colonia el servicio de recolección separa los residuos o los mezcla				
<input type="checkbox"/> Separa				
<input type="checkbox"/> Mezcla				
4.- El servicio de limpia en mi colonia recolecta los residuos				
<input type="checkbox"/> De manera alternada (un día orgánicos y otro inorgánicos)				
<input type="checkbox"/> Al mismo tiempo				
NOMBRE:				
TELEFONO:				
CORREO ELECTRONICO:				

Tabla 42. Formato para datos generales del entrevistado.
Fuente: Adaptada de Carranza López, (2008).

NOTA: Estos datos son únicamente con el fin de validar que la encuesta fue contestada por personas diferentes al encuestador. Por lo que le reiteramos la confidencialidad de sus respuestas.

REFERENCIAS

- Agrowaste. (2014). *Agrowaste*. Obtenido de Pirólisis: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>
- Barrientos Verjel, W. A., & Blanco Peñarete, A. (2010). *Estudio de factibilidad técnica y financiera del uso del biogás obtenido del excremento de ganado para suplir necesidades energéticas en el sector rural*. Bucaramanga, Colombia: Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Universidad Industrial de Santander.
- Carranza López, E. (2008). *Modelo explicativo de la intención y conducta pro-ambiental ante la problemática de los residuos sólidos domésticos*. Distrito Federal, México: UNAM.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. (Febrero 2012). *Reporte CESOP, número 51*. México.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2013). *Manual para el Diseño y la Construcción de Indicadores. Instrumentos principales para el monitoreo de programas sociales de México*. México, DF: CONEVAL.
- Durán Moreno, A., Garcés Rodríguez, M., Velasco, A. R., Marín Enriquez, J. C., Gutiérrez Lara, R., & Moreno Gutiérrez, A. (2013). Mexico city's municipal solid waste characteristics and composition analysis. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29 (1), 39-46.
- Filomen, S., Bron, W., Sosa, B., & Win van, N. (Abril, 2010). *Estudio de factibilidad para un programa de biogás en Honduras*. Tegucigalpa, Honduras.
- German Biogas Association. (May 2016). *Biogas Journal, English Issue*. Alemania.
- Gobierno de México. (2017). *Comisión Nacional del Agua*. Obtenido de Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

- Honorable Congreso de la Unión. (1 de febrero de 2008). *Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>
- Honorable Congreso de la Unión. (11 de agosto de 2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIElec_110814.pdf
- Honorable Congreso de la Unión. (24 de diciembre de 2015). *Ley de Transición Energética*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lte/LTE_orig_24dic15.pdf
- Honorable Congreso de la Unión. (28 de enero de 1988). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_130516.pdf
- Honorable Congreso de la Unión. (6 de junio de 2012). *Ley del Cambio Climático*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_010616.pdf
- Honorable Congreso de la Unión. (8 de octubre de 2003). *Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México: Diario Oficial de la Federación. Obtenido de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf
- INAFED. (2006). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM09DF/delegaciones/09015a.html>
- INECC, SEMARNAT. (2012). *Diagnostico Básico para la Gestión Integral de Residuos 2012, Versión Extensa*. Ciudad de México.
- INEGI. (2011). *Censo Nacional de Gobierno 2011 Gobiernos Municipales y Delegacionales Módulo 6: Residuos Sólidos Urbanos*. México.

- INEGI. (2013). *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Delegacionales 2013. Residuos Sólidos Urbanos. Tabulados básicos*. México.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas. (2015). *Guía de usuario. Generación de electricidad mediante residuos sólidos urbanos*. México: Comisión Federal de Electricidad.
- Loredo Galván, V. J. (2014). *Estudio de la valorización de los residuos orgánicos contenidos en los residuos sólidos urbanos generados en el Distrito Federal*. México: Instituto Politecnico Nacional.
- Mullier, R., & Gascoigne, J. (2013). *Anaerobic Digestion Feasibility Study – Final Report. Agri Digestore, small-scale AD– Marches Biogas Ltd*. Reino Unido: WRAP.
- Muzenda, E. (2014). *Bio-methane Generation from Organic Waste: A Review*. San Francisco, USA: Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014 Vol II.
- Rissetto, M. Á., Sánchez, G., Sozzani, L., & Longo, G. (2013). Evaluación de un proyecto ambiental para la implementación de un nuevo modelo de gestión de los residuos sólidos urbanos. *VI Congreso de Ingeniería Industrial COINI 2013*. Avellaneda, Buenos Aires, Argentina.
- Salas Casasola, I., Cortés Islas, I., & Caballero Castrillo, A. (2016). *Fuentes de recursos financieros para proyectos de aprovechamiento energético de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos de Manejo Especial (RME) en México*. México.
- Santiago Atilano, M. L. (2010). *Desarrollo del Procedimiento de Cálculo para la Cuantificación de toneladas de CO₂ de gases de Desecho Recuperados y su Equivalente Económico de acuerdo a Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)*. México: Facultad de Química, UNAM.
- SEMARNAT. (2010). *Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México*. México.

- SEMARNAT. (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012.* México.
- SEMARNAT. (2015). *Guía de Diseño para la Identificación Gráfica del Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos.* México.
- SEMARNAT; SAGARPA; Firco. (Enero 2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México.* México.
- Stippel, F., Findeisen, C., Hufmann, F., Wagner, L., & Wilken, D. (2016). *Biowaste to Biogas.* Germany: Fachverband Biogas e.V.
- Subsecretaría de Normatividad, Fomento Ambiental, Urbano y Turístico. (2008). *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012.* México.
- Vera Romero, I. (2011). *Desarrollo metodológico para el análisis de la viabilidad de un proyecto de microgeneración.* Mexico: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Zanin, A., & Bagatini, F. M. (2012). *The Economic and Financial Feasibility of a Biodigester: A Sound Alternative for Reducing the Environmental Impact of Swine Production.* Brasil: Universidade Comunitária da Região de Chapecó .