



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

**DIMENSIONAMIENTO DE POTENCIAL ENERGETICO DE LA BIOMASA
RESIDUAL EN HONDURAS**

PREVIO A LA OBTENCIÓN AL TÍTULO DE

INGENIEROS EN ENERGÍA

PRESENTADO POR:

11751188 KAREN LIZETH MEJÍA MOLINA

11751109 NELSON FRANCISCO PADILLA SORIANO

ASESOR METODOLÓGICO: ING. RAFAEL AGUILAR

ASESOR TEMÁTICO: ING. EMILIO MEDINA

CAMPUS TEGUCIGALPA; ABRIL, 2021

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedicamos primeramente a Dios, por habernos permitido culminar con un largo camino de logros y obstáculos juntos, nos permitió apoyarnos mutuamente y se mantuvo a nuestro lado haciéndonos un mejor equipo.

A nuestros padres, que con gran sacrificio y amor nos brindaron su apoyo incondicional a lo largo de estos arduos y placenteros años de trabajo, que con su ejemplo de perseverancia y trabajo duro nos motivaron a seguir adelante aun en los momentos más difíciles con el objetivo de lograr cada una de nuestras metas.

A nuestros hermanos, por cada una de las palabras de aliento que nos brindaron, por cada momento de incertidumbre que estuvieron presentes dándonos su mano y por cada uno de esos consejos de vida que han sido de gran impacto en cada uno de los aspectos de nuestra vida.

Y a nuestros lindos sobrinos, que nos muestran cada día la alegría de la vida en sus pequeñas sonrisas.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos ampliamente al Ingeniero Emilio Medina, por su mentoría y el tiempo que nos dedicó, por cada uno de sus consejos y por demostrarnos que con esmero una persona es capaz de lograr cualquier cosa.

Si no cambiamos urgentemente nuestro modo de vida, ponemos en peligro la vida misma.

Antonio Guterres.

RESUMEN EJECUTIVO

Debido al bajo crecimiento en el aprovechamiento de la biomasa dentro del sector energético y considerando que Honduras es un país en vía de desarrollo, cuya economía se ve sustentada principalmente por actividades agrícolas y pecuarias, se decidió abordar el tema desde la perspectiva de la biomasa residual que se genera a raíz de los sectores agropecuario y de Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

Se utilizó el Modelo Mexicano para la generación de biogás y estimar así el potencial energético que ofrecen los RSU, donde se ha obtenido un potencial atractivo para proyectos de generación eléctrica a partir de biogás en el Departamento de Cortes, ubicado en la zona norte del país. Dentro del sector agropecuario, se ha estimado la energía disponible que presentan los residuos generados por cultivos como el café, caña de azúcar y residuos del estiércol de ganado a partir de su poder calorífico y la implementación de factores de conversión. Dentro del sector agrícola se obtienen los datos más prometedores para la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa residual de los cultivos, principalmente en los Departamentos de Choluteca, Santa Barbara, Cortes, Yoro y Francisco Morazán.

La implementación de los factores de emisión del IPCC, 2006 permiten cuantificar el ahorro estimado en emisiones equivalentes de CO₂ al aprovechar este tipo de materia prima para la generación de energía.

ABSTRACT

Due to the low growth in the use of biomass within the energy sector and considering that Honduras is a developing country, whose economy is supported mainly by agricultural and livestock activities, it was decided to address the issue from the perspective of residual biomass that is generated as a result of the agricultural and Urban Solid Waste (MSW) sectors.

The Mexican Model was used for the generation of biogas and thus estimate the energy potential offered by the MSW, where an attractive potential has been obtained for electricity generation projects from biogas in the department of Cortes, located in the north of the country. Within the agricultural sector, the available energy presented by residues generated by crops such as coffee and sugar cane, and residues from livestock manure, has been estimated based on their calorific value and the implementation of conversion factors. Within the agricultural sector, the most promising data are obtained for the generation of electrical energy from the residual biomass of the crops, mainly in the departments of Choluteca, Santa Barbara, Cortes, Yoro and Francisco Morazán.

The implementation of the emission factors of the IPCC, 2006 allow to quantify the estimated savings in CO₂ equivalent emissions by taking advantage of this type of kill premium for power generation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	2
II.	Planteamiento del Problema	4
	2.1. Precedentes del Problema.....	4
	2.2. Definición del Problema.....	5
	2.3. Justificación.....	6
	2.4. Preguntas de Investigación.....	7
	2.5. Objetivos.....	8
	2.5.1. Objetivo General.....	8
	2.5.2. Objetivos Específicos.....	8
III.	Marco Teórico.....	9
	3.1. Panorama Energético Nacional	9
	3.1.1. Sub sector Eléctrico.....	9
	3.1.2. Subsector Leña	10
	3.1.3. Sub sector de Hidrocarburos y Biocombustibles	11
	3.1.4. Honduras ante el Cambio Climático.....	11
	3.2. Sector Agropecuario de Honduras	12
	3.2.1. Emisiones de GEI dentro del Sector Agropecuario.....	14
	3.3. Residuos Sólidos Urbanos en Honduras.....	15
	3.4. ¿Qué es la Biomasa?	19
	3.5. Clasificación de la Biomasa	20
	3.5.1. Clasificación de la Biomasa según su Origen.....	21
	3.5.2. Clasificación de la Biomasa según su Estado	22

3.6.	Propiedades Químicas de la Biomasa	24
3.6.1.	Composición Química de la Biomasa	24
3.6.2.	Contenido de Humedad	25
3.6.3.	Poder Calórico	26
3.6.4.	Porcentaje de Cenizas.....	28
3.6.5.	Densidad Aparente	28
3.7.	La Biomasa como Combustible.....	28
3.7.1.	Biocombustibles líquidos.....	29
3.7.2.	Biocombustibles Solidos.....	32
3.7.3.	Biocombustibles Gaseosos	34
3.8.	Procesos de la Transformación de la Biomasa	36
3.8.4.	Procesos Termoquímicos.....	36
3.8.5.	Procesos bioquímicos	39
3.9.	Tecnologías	42
3.9.1.	Calderas de combustión	42
3.9.2.	Gasificadores	44
3.9.3.	Biodigestores.....	44
3.10.	Métodos de Estimación del Potencial de BIOMASA.....	46
3.10.1.	Metodología para la estimación del potencial energético del sector agropecuario 46	
3.10.2.	Modelo mexicano para la estimación de generación de biogás a partir de RSU	46
IV.	Metodología.....	52
4.1.	Enfoque	52

4.2.	Variables de Investigación.....	52
4.3.	Técnicas e Instrumentos Aplicados.....	53
4.4.	Metodología de Estudio.....	53
4.5.	Cronograma de Actividades	54
V.	Resultados y Análisis.....	55
5.1.	Obtención De Datos.....	55
5.2.	Producción Y Clasificación De La Biomasa Residual De Cada Sector	55
5.2.1.	Sector Agrícola	55
5.2.2.	Sector Pecuario.....	58
5.2.3.	Residuos Sólidos Urbanos.....	61
5.2.4.	Clasificación De La Biomasa	63
5.3.	Procesos de Transformación De Biomasa Aplicables	64
5.3.1.	Sector Agrícola	66
5.3.2.	Sector Pecuario.....	72
5.3.3.	Sector De RSU.....	72
5.4.	Potencial Energético De Cada Sector.....	73
5.4.1.	Sector Agrícola	73
5.4.2.	Sector Pecuario.....	77
5.4.3.	Residuos Sólidos Urbanos.....	80
5.5.	Regionalización Del Potencial Energético De Biomasa Residual.....	88
5.5.1.	Sector Agrícola	88
5.5.2.	Potencial Energético De RSU	93
5.6.	Tecnologías Y Proyectos Aplicables.....	95

5.6.1.	Proyectos y Tecnologías Para Biomasa Solida.....	95
5.6.2.	Proyectos y Tecnologías Para Biogás.....	98
VI.	Conclusiones	104
VII.	Recomendaciones.....	106
VIII.	Aplicabilidad/Implementación	107
IX.	Bibliografía.....	108

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-Capacidad Instalada por Tecnologías, 2007-2019	9
Ilustración 2-PIB agropecuario en Honduras, 1960-2017	13
Ilustración 3-Índices de producción de cultivos, alimentos y productos pecuarios en Honduras, 1960-2016	13
Ilustración 4-Emisiones de CO2 equivalente por categoría en el sector Agricultura Honduras 2005-2015	14
Ilustración 5-Emisiones de CO2 equivalentes por categoría en el Sector de Agricultura Honduras	15
Ilustración 6-Characterización de los Residuos.....	16
Ilustración 7-Destino final de los Residuos Solidos	17
Ilustración 8-Porcentaje de emisiones de GEI. Año 2015	17
Ilustración 9-Emisiones de CO2 equivalente por categoría del Sector de Desechos Honduras 2015.....	18
Ilustración 10-Emisiones de CO2 equivalente por categoría en el Sector de Residuos Honduras	19
Ilustración 11-Proceso de obtención de energía.....	19

Ilustración 12-Clasificación de la Biomasa	20
Ilustración 13-Biomasa Sólida	23
Ilustración 14-a) Biodiesel b) Planta Generadora de Biogás	24
Ilustración 15-Valor Calorífico en función de la Humedad Relativa	26
Ilustración 16-Diagrama de flujo del proceso de obtención de bioetanol a partir de diferentes materias primas.....	30
Ilustración 17-Etapas en la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales.....	31
Ilustración 18-Proceso obtención biodiesel	32
Ilustración 19-Combustión de astillas en Caldera	33
Ilustración 20-Combustión de carbón vegetal en caldera.....	34
Ilustración 21-Proceso de conversión termoquímico de la Biomasa	37
Ilustración 22-Procesos de conversión bioquímicos de la biomasa	39
Ilustración 23-Cronograma de Actividades	54
Ilustración 24-Porcentaje de Generación de subproductos del café.	58
Ilustración 25-Generación de RSU en Honduras, 2019.....	63
Ilustración 26-Bagazo de caña de azúcar	66
Ilustración 27-Melaza de caña de azúcar	67
Ilustración 28-Cachaza de caña de azúcar	68
Ilustración 29-Pulpa del café	69
Ilustración 30-Cascarilla del café	70
Ilustración 31-Mucílago extraído del grano de café	71
Ilustración 32-Estírcol de Ganado Bovino	72
Ilustración 33-Ejemplo de RESA en Comayagua, Honduras	73

Ilustración 34-Distribución del potencial energético por biomasa residual sólida.....	89
Ilustración 35-Distribución del potencial energético por biomasa residual sólida....	89
Ilustración 36-Distribución del potencial energético por etanol	90
Ilustración 37-Distribución del potencial energético por etanol	91
Ilustración 38-Distribución del potencial energético por biogás.....	92
Ilustración 39-Distribución del potencial energético por biogás.....	92
Ilustración 40-Distribución del potencial energético por biogás a partir de RSU	93
Ilustración 41-Distribución del potencial energético por biogás a partir de RSU.....	94
Ilustración 42-Esquema de funcionamiento de la planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa	96
Ilustración 43-Emisiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oil	98
Ilustración 44-Emisiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oil	100
Ilustración 45-Emisiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oil.....	101
Ilustración 46-Esquema de funcionamiento de la planta de generación de energía eléctrica a partir del Biogás de RSU.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Ejemplos de Biomasa Residual	22
Tabla 2-Composicion Química de diferentes formas de Biomasa	25
Tabla 3-Poder Calorífico de algunos tipos de Biomasa	27
Tabla 4-Valores del Índice de generación de metano (k).....	48
Tabla 5-Valores de la Generación potencial de Metano (L0)	49
Tabla 6-Factor de corrección de metano (MCF)	50
Tabla 7-Generación de subproductos por ton de caña	56
Tabla 8-Producción de Subproductos de caña de azúcar, 2019.....	56
Tabla 9-Generación de subproductos del cultivo de café.....	57
Tabla 10-Producción de Estiércol de ganado bovino, 2019	60
Tabla 11-Producción de Estiércol de ganado porcino, 2019	61
Tabla 12-Producción de Estiércol de ganado porcino, 2019	61
Tabla 13-Generación de RSU por Departamento, 2019.....	62
Tabla 14-Clasificación de la Biomasa Residual según su Estado	64
Tabla 15-Procesos de Transformación de Biomasa	65
Tabla 16-Potencial de generación de combustibles a partir de biomasa residual de caña de azúcar	74
Tabla 17-Potencial de generación de combustibles a partir de biomasa residual del café	75
Tabla 18-Energía Disponible proveniente del sector agrícola de Honduras, 2019.....	77
Tabla 19-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado bovino.....	78
Tabla 20-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado porcino	78
Tabla 21-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado avícola.....	79

Tabla 22-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado bovino.....	79
Tabla 23-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado porcino.....	79
Tabla 24-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado avícola	80
Tabla 25-Precipitaciones anuales en los distintos departamentos del país	81
Tabla 26-Índice de degradación de Metano para Honduras	81
Tabla 27-Índice de generación de metano k modificados para Honduras.....	82
Tabla 28-Constantes para la generación de biogás	83
Tabla 29-Valor del parametro DOCF para cada departamento de Honduras.....	84
Tabla 30-Escenarios propuestos para la estimación de biogás.....	84
Tabla 31-Potencial de generación de metano y flujo de generación de biogás esperado para Honduras, 2019 (Escenario 1).....	85
Tabla 32-Potencial de generación de metano y flujo de generación de biogás esperado para Honduras, 2019 (Escenario 2).....	86
Tabla 33-Potencial energético estimada para cada caso (MJ/año)	87
Tabla 34-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por combustible sólido	97
Tabla 35-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de residuos agrícolas.....	100
Tabla 36-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de estiércol de ganado.....	101
Tabla 37-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de RSU	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-a) Humedad relativa base seca, b) Humedad relativa base húmeda.....	25
Ecuación 2-Poder Calorífico Interior.....	26
Ecuación 3-Flujo de biogás máximo esperado.....	46
Ecuación 4-Generación potencial de Metano	50
Ecuación 5-Carbono Orgánico Degradable	51
Ecuación 6-Fracción de carbono orgánica	51
Ecuación 7-Cálculo población futura Método Lineal	59
Ecuación 8-Tasa de cambio de la población	59
Ecuación 9-Energía Disponible	76
Ecuación 10-Producción de Biogás diario.....	78
Ecuación 11-Ajuste de índice de degradación de metano	82
Ecuación 12-Capacidad Instalada Disponible	96

LISTA DE SIGLAS

ICE	Índice de Cobertura Eléctrica
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica
BEP	Barriles Equivalentes de Petróleo
SEN	Secretaría de Energía
GEI	Gases de Efecto Invernadero
PIB	Producto Interno Bruto
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de Salud
INGIE	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
ARU	Aguas Residuales Urbanas
PCS	Poder Calorífico Superior
PCI	Poder Calorífico Inferior
ASTM	American for Testing Materils
INE	Instituto Nacional de Estadística
LPG	Gas Licuado de Petróleo
NAMA	Acción de Mitigación Nacional Apropriada

I. INTRODUCCIÓN

Buscando minimizar los impactos ambientales generados por el sector energético, las energías renovables representan al mejor aliado ante la lucha contra el cambio climático. Teniendo en cuenta que la tecnología ha ido avanzando, el uso de la biomasa ha vuelto a tomar partida como una fuente de energía alternativa y menos contaminante que los combustibles fósiles. Gracias a la creación de nuevas tecnologías y procesos, la biomasa se ha vuelto una fuente energética más eficiente y sostenible.

Una de las características que ha vuelto a la biomasa una propuesta atractiva contra la lucha ante el cambio climático, es el aprovechamiento de la biomasa residual que generan distintos sectores de un país, como fuente para la generación de energía.

En Honduras, según (García M. & Flores, 2019) el sector energético cuenta con una capacidad instalada del 63.9% que representa a energías renovables. Estos proyectos de generadoras renovables han ayudado a solventar los problemas de electrificación dentro del país. Sin embargo, a pesar de esta cifra, se posee una gran dependencia sobre el consumo de la leña para fines energéticos dentro del sector residencial. Por lo que el gobierno está promoviendo iniciativas que ayuden a minimizar su consumo, generar conciencia sobre el uso sostenible de la leña y a su vez implementar nuevas tecnologías que ayuden al sector energético a progresar, generando una menor dependencia de fuentes energéticas de este tipo.

La economía del país se sustenta principalmente de las actividades agrícolas y ganaderas, por lo que el sector agropecuario representa uno de los más grandes e importantes sectores a nivel nacional. Contando con una participación mayor al 12% del PIB, y el incremento en las actividades de exportación, este sector es uno de los mayores productores de residuos. Estos están constituidos principalmente por residuos de caña de azúcar, café, palma africana, maíz, residuos de estiércol animal, etc. los cuales poseen características primordiales para la obtención de distintos productos energéticos. A su vez, al igual que la actividad agropecuaria del país, el incremento en la producción de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) representa un problema tanto a nivel de contaminación ambiental como a la salud de la población. Sin embargo, este sector

podría verse favorecido si se aprovechara esa cantidad de residuos para generación de energía, logrando así mitigar sus impactos negativos.

Por lo que la elaboración de una base de datos regionalizada, que otorgue el potencial energético aprovechable de la biomasa residual presente en el país, generaría una herramienta útil, como base para la elaboración de estudios y proyectos, destinados al aprovechamiento energético del recurso.

El presente informe está dividido por las siguientes secciones: II. Planteamiento del Problema. En esta sección se define el la importancia, justificación y objetivos del tema abordado; III. Marco Teórico. Aquí se expone la base teórica del tema a tratar; IV. Metodología. En esta sección se detalla la perspectiva de la investigación y la metodología implementada; V. Resultados y Análisis. En esta sección se aborda el desarrollo de la investigación y el análisis de los resultados obtenidos; VI. Conclusiones. En esta sección se exponen las conclusiones obtenidas del estudio; VII. Recomendaciones. Esta sección cubre las recomendaciones y sugerencias referentes al tema.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA.

El uso de la biomasa como fuente de energía data desde los inicios de la humanidad, sin embargo, durante la revolución industrial, con la llegada de las máquinas de vapor, la demanda de fuentes de energía con un mayor poder calorífico aprovechable en espacios de menor tamaño, fue abriendo paso en el siglo XVIII a combustibles sustitutos como el carbón.

En países no industrializados, el uso de la biomasa representa más del 50% de su consumo energético, a diferencia de los países industrializados donde el consumo de energía de biomasa suele ser mucho menor debido al principal aporte de los combustibles fósiles. Sin embargo, en el momento de la primera crisis del petróleo en la década de 1970, esta situación dio un giro, lo que permitió vislumbrar la insostenibilidad de modelos basados en el uso casi exclusivo de recursos fósiles. Desde entonces, la sociedad ha presentado mayor interés en el ahorro y eficiencia energética, consumo de recursos renovables locales (como la biomasa, energía solar, etc.) con el objetivo de minimizar la dependencia energética y mitigar el impacto ambiental.

La primera integración de fuentes de energías renovables a la matriz energética de Honduras surge con el proyecto hidroeléctrico Francisco Morazán en el año 1985, que sirvió como herramienta para solventar la crisis energética que enfrentó el país en la década de los 90's; posteriormente con la creación del Plan de Visión de País 2010 – 2038 surgieron los 11 lineamientos estratégicos los cuales constituyen una base para los planes de gobiernos. Se plantea en sus objetivos el crecimiento del sector agropecuario ayudando a reducir los índices de pobreza y aumentando el número de familias campesinas con acceso a tierras por lo tanto suponer el crecimiento de la actividad agro-ganadera en el país es atinado. Desde el punto de vista energético la oportunidad de aprovechar la biomasa de segunda generación proveniente tanto del sector agropecuario y de RSU entra en contexto con el objetivo de minimizar la vulnerabilidad ambiental del país y la meta de alcanzar el 80% de integración de fuentes renovables en su matriz energética. Con la entrada de parques eólicos en el 2011 y la aparición de plantas fotovoltaicas en el 2015 la tendencia de generación de energía con fuentes renovables ha venido en aumento. Para el año 2016 Honduras contaba con la primera y única planta de energía eléctrica a base de

geotermia y abriéndose paso el mismo año la primera planta de generación a partir de biomasa que utiliza como materia prima el King Grass, el bagazo proveniente de la caña de azúcar y residuos de palma africana. Sin embargo, a pesar de este logro la creciente actividad agrícola y ganadera se hace cada vez más presente en el país, así como la poca regulación existente para el tratamiento de los RSU que presentan un potencial desconocido para la generación de productos energéticos.

2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

Dentro del sector energético de Honduras, los proyectos de generación de energía renovable han logrado expandirse y otorgar variedad a la matriz energética. Sin embargo, proyectos de generación y aprovechamiento de la biomasa no han alcanzado un crecimiento similar a pesar de su cualidad para aportar distintos productos energéticos como biocombustibles, electricidad, biogás etc. No por falta de un potencial considerable si no por la escasez de información que otorgue a los inversionistas las herramientas necesarias para el desarrollo y explotación de la biomasa existente en los sectores agrícola, pecuario y de RSU, donde la implementación de tecnologías que aprovechen la biomasa residual producida en cada uno de ellos puede llegar a generar beneficios tanto a nivel económico como ambientales.

2.3. JUSTIFICACIÓN.

Durante varios años, dentro de la matriz energética de Honduras, ha predominado el uso de la leña y combustibles fósiles para solventar la demanda de energía existente; con la integración de proyectos de generación de energía con fuentes renovables se ha logrado solucionar parcialmente la demanda relacionada al sector eléctrico. Para el 2019 Honduras cuenta con un Índice de Cobertura Eléctrica (ICE) del 85.02% donde, los departamentos con mayor nivel de electrificación son Islas de la Bahía y Cortes seguidos por los departamentos de Ocotepeque y Francisco Morazán, sin embargo departamentos como Gracias a Dios reportan el índice de cobertura más bajo con solo 1,436 viviendas conectadas a la red de distribución (Ordoñez Wolfovich & Deras, 2019). Desde la generación de energía de biomasa residual se podría sustentar gran parte de la demanda eléctrica en estas zonas; a su vez tanto en el Sector Transporte y Sector Residencial no se ha contado con la integración de proyectos de tecnologías sostenibles y renovables que ayuden a solventar la demanda energética que presentan y ayudar así a mitigar el impacto ambiental que estos generan, ya que la dependencia de combustibles derivados del petróleo y el uso de la leña son predominantes en estos sectores.

En el 2018 el consumo de leña represento el 38% del total de la matriz, donde esta cifra solo demuestra la falta y la necesidad de una regulación y planificación dentro del sector energético que tenga como objetivo implementar tecnologías de generación de energía que no presenten daños al medio ambiente y que ayuden revertir la dependencia de la leña en los hogares hondureños.

Tomando en cuenta esta situación, es imprescindible realizar estudios que demuestren el potencial energético presente en distintos sectores del país, con el fin de generar una herramienta que permita visualizar las regiones con mayor oportunidad de explotación de recursos energéticos y poder otorgar una base de datos que ayuden en la elaboración de estudios para la factibilidad de proyectos a futuro relacionados con el aprovechamiento de la biomasa residual para la generación de energía.

2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

1. ¿Honduras cuenta con bases de datos actualizadas y unificadas referente a la producción dentro de cada uno de los sectores considerados para el estudio?
2. ¿Qué procesos de transformación de biomasa pueden ser aplicados a cada uno de los sectores?
3. ¿Existe un potencial de biomasa residual considerable para la explotación como fuente de generación energética?
4. ¿Cómo impactaría en el medio ambiente la implementación de proyectos que aprovechen la biomasa residual proveniente de cada sector?
5. ¿Qué tipos de tecnologías pueden ser aplicadas para aprovechar el potencial energético tanto del sector agropecuario como los RSU?
6. ¿Cuáles son las regiones del país que presentan el mayor potencial de explotación de energía proveniente de la biomasa de segunda generación?

2.5. OBJETIVOS.

2.5.1. OBJETIVO GENERAL.

Dimensionar el potencial de biomasa residual presente en Honduras, analizando los sectores pecuario y agrícola, considerando a su vez los RSU generados a nivel nacional, con el fin de ofrecer una base de datos que sirva de herramienta para visualizar la oportunidad de inversión y la magnitud de explotación de la biomasa de segunda generación en cada uno de los sectores.

2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Obtener los datos de producción de cultivos, ganado y RSU a nivel nacional durante el periodo del 2019, con el fin de realizar la estimación de biomasa residual producida en sus respectivos sectores.
2. Realizar un análisis de la clasificación de los diferentes tipos de biomasa presentes en el país con el fin de determinar los procesos de transformación de la biomasa más acordes a cada sector.
3. Estimar el potencial energético aprovechable de la biomasa residual procedente de cada sector en relación a la escala de proyectos aplicables y los beneficios ambientales que se podrían obtener en ellos.
4. Investigar sobre tecnologías aplicables para los procesos de aprovechamiento de cada tipo de biomasa residual disponible en el territorio nacional.
5. Regionalizar la base de datos del potencial de biomasa de cada uno de los sectores, mostrando las zonas o departamentos que ofrezcan una mayor oportunidad de explotación del recurso.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. PANORAMA ENERGÉTICO NACIONAL

3.1.1. SUB SECTOR ELÉCTRICO

Según (Flores Castro, 2016) “El subsector electricidad en Honduras básicamente es la conformación del sistema eléctrico de potencia de Honduras, el cual se compone de la red de transmisión y distribución, y de los generadores y cargas que suplen y absorben la energía eléctrica, respectivamente” (pág. 54).

Con la entrada de la Ley Marco del Subsector Eléctrico en 1994 y el establecimiento de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) se crea la regulación para la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica junto con la apertura a la empresa privada dentro del sector. Hasta ese entonces la generación de energía eléctrica se basaba principalmente en energía térmica e hidroeléctrica, no fue hasta el 2016 que el sector privado se hizo presente abarcando el 78.5% de la capacidad total instalada, contando con plantas térmicas, hidroeléctricas, de biomasa, geotérmica, fotovoltaica y eólicas figurando así un 60.7% de participación de las plantas de generación de energía renovable. (CEPAL, 2018)

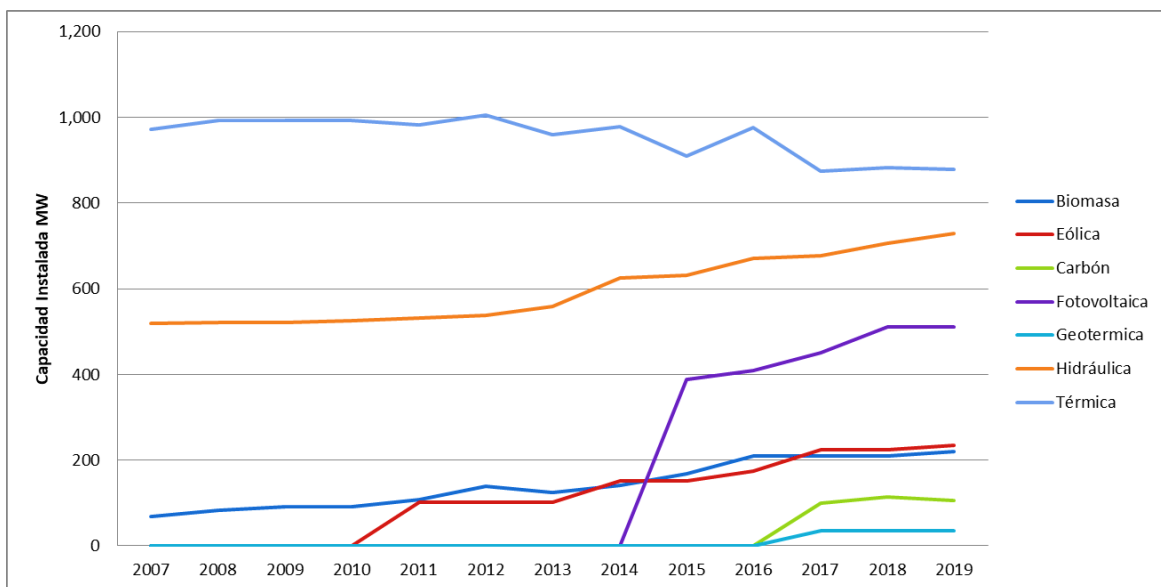


Ilustración 1-Capacidad Instalada por Tecnologías, 2007-2019

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Boletines Estadísticos de ENEE.

Esta diversificación dentro de la matriz energética ayuda a minimizar los riesgos que ocasiona la variabilidad y el cambio climático, así como los efectos que provoca a las generadoras de energía hidráulica. Otra aportación importante que ofrece la energía renovable es que disminuyen el efecto que produce el alza en los precios del petróleo sobre los precios de la electricidad. Sin embargo, la capacidad de plantas que brindan potencia firme al sistema no ha tenido un crecimiento parecido al de la demanda máxima del sistema. Esta situación se debe al incremento de generadoras eléctricas que son vulnerables a la variabilidad estacional, como generadoras hidráulicas de afluencia de agua. A raíz de esta situación, si se plantea un mayor crecimiento de generadoras renovables, debe contemplarse la instalación de plantas que puedan brindar potencia firme al sistema. Dentro de estas plantas podemos encontrar: biogás, residuos de bosques manejados, centrales de colección solar e hidroeléctrica con embalse, entre otras (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2018).

3.1.2. SUBSECTOR LEÑA

Para el 2019 Honduras presenta un consumo de leña equivalente a 11,085 miles de BEP (García M. & Flores, 2019). Durante los últimos años, se han elaborado proyectos e iniciativas orientadas a la reducción en el consumo de este energético, las cuales fueron dirigidas principalmente a zonas rurales y hogares vulnerables. Sin embargo, no fue hasta el 2014 que Honduras implementó el programa nacional de distribución masiva de fogones mejorados. Con el fin de minimizar el consumo de leña, a través de tecnologías sostenibles que logran mejorar la calidad de vida de los hogares beneficiados.

A pesar de los esfuerzos sostenidos durante este tiempo y de la inversión gestionada por diversos actores, no era posible identificar de manera precisa el impacto generado en el consumo de leña a nivel nacional por parte de estos esfuerzos e iniciativas. En vista de esta situación, la Secretaría de Energía, de la mano con otras instituciones nacionales, privadas e internacionales han tomado la iniciativa de desarrollar algunas aproximaciones, basadas en información existente, para estimar los impactos generados (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2018).

3.1.3. SUB SECTOR DE HIDROCARBUROS Y BIOCOMBUSTIBLES

En la actualidad el uso de hidrocarburos ha ido en aumento rápidamente, debido parcialmente al sector económico que cada vez se vuelve más exigente. A su vez, este aumento es propiciado debido a que las energías renovables no representan una alternativa viable dentro de muchos sectores del país, como por ejemplo el sector transporte (Salgado, Cárcamo, Montoya, Argueta, & Vinde, 2020)

En Honduras, el total de hidrocarburos utilizados en los sectores de industria y transporte se obtiene mediante importaciones. Estas importaciones provienen en un 90% de Estados Unidos y el 10% restante proviene de otros países, por lo que los precios dentro del subsector se ven principalmente afectados por el mercado estadounidense (Secretaría de Estado en el Despacho de Energía, 2018). Debido a proyecciones realizadas por la Secretaría de Energía (SEN) se estima que una reducción en la dependencia de hidrocarburos no se vería sino hasta el año 2040.

Por esta razón, en Honduras es importante promover el desarrollo del mercado de hidrocarburos y biocombustibles, particularmente, en temas de control de calidad, gobernanza y regulación. De esta manera, se logra fortalecer las acciones orientadas a la seguridad del suministro y que el mismo sea de calidad y que cumplan con los estándares internacionales de cada producto en específico. Asimismo, se fortalece la articulación entre los diversos actores que componen cada eslabón de la cadena de suministro, tanto de hidrocarburos como de biocombustibles (Salgado, Cárcamo, Montoya, Argueta, & Vinde, 2020).

3.1.4. HONDURAS ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Desde el tratado de Kyoto en el año 2000 y el acuerdo de París en el 2016, el sector energético de Honduras se ha hecho presente ante la lucha contra el cambio climático, con la integración a estos tratados el país ha buscado minimizar el volumen de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) referentes al sector. Según el Índice de Riesgo Climático Global de Germanwatch (2019), Honduras representa uno de los países con mayor vulnerabilidad al Cambio Climático, esta vulnerabilidad es resultado de la interacción de diferentes sectores a nivel nacional. Siendo el sector energía uno de los más significativos debido a la alta dependencia existente de fuentes energéticas como hidrocarburos, leña y centrales hidroeléctricas viéndose estas últimas

potencialmente perjudicadas por los efectos del cambio climático como sequías y alteraciones en los patrones de lluvia, por lo que a largo plazo se puede esperar un cambio en la generación y consumo de la energía en Honduras.

Teniendo en cuenta estos efectos, el subsector eléctrico se posiciona entre los más afectados del sector energético, debido tanto a la reciente integración de tecnologías renovables que dependen en su totalidad de factores climáticos para la generación de electricidad, como a la poca capacidad de las redes de transmisión y distribución de soportar cambios extremos en el medio ambiente.

Según la Agenda de Energía para el 2019-2021, se toma al sector energético como el principal actor para la elaboración de planes de acción destinados a la mitigación del cambio climático junto con alianzas estratégicas con los sectores de Transporte e Industria debido al alto consumo energético presentes en ellos. (Salgado, Cárcamo, Montoya, Argueta, & Vinde, 2020).

3.2. SECTOR AGROPECUARIO DE HONDURAS

Dentro de la economía nacional, el sector agropecuario representa uno de los sectores más importantes del país contando con mayor cobertura en departamentos como Olancho, La Ceiba, Valle, La Paz y El Paraíso entre otros. Durante el 2011 y 2012 el Producto Interno Bruto (PIB) del sector agropecuario conto con una tasa de crecimiento que iba desde un 6.5% a un 10.7% respectivamente. En el 2013 la tendencia creciente de la participación del sector dentro del PIB continuó representando un 12.2%. En 2017, el país registró una cosecha récord de café, que resultó en un crecimiento del PIB agrícola del 10.7%. En términos de empleo, en 2017 el sector empleó al 28.3% de la población económicamente activa. (Delagen , Paolo de Salvo, Egas , & Pierre, 2019).

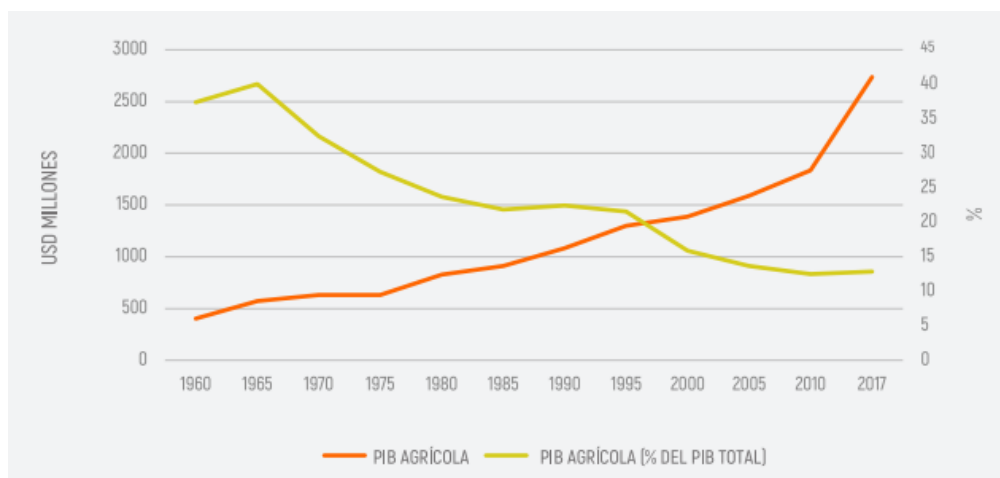


Ilustración 2-PIB agropecuario en Honduras, 1960-2017

Fuente: (Delagen , Paolo de Salvo, Egas , & Pierre, 2019)

Para el año 2019 el PIB del sector llegó a constituir el 12.87%, este desarrollo fue impulsado principalmente por los sectores exportadores, asociado al aumento en el cultivo como el café, fruta, palma africana y alzas en las actividades pesqueras, a su vez este sector representó un 35.6% de las exportaciones del país para el año 2019, contribuyendo con una generación de empleos del 35% a la población económicamente activa (Banco Central de Honduras, 2019).

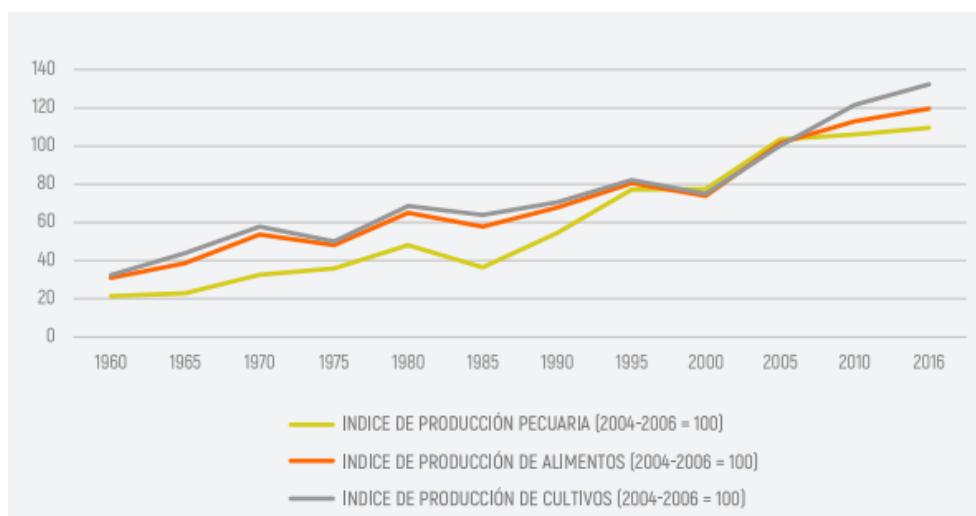


Ilustración 3-Índices de producción de cultivos, alimentos y productos pecuarios en Honduras, 1960-2016

Fuente: (Delagen , Paolo de Salvo, Egas , & Pierre, 2019)

Para el 2016, el crecimiento en la producción del sector fue visible en tanto en cultivos y alimentos como en productos pecuarios. Durante estos últimos años se puede observar que el índice de cultivos ha logrado superar en gran medida a los productos pecuarios. Este impulso fue principalmente promovido por el aumento en la producción de maíz.

3.2.1. EMISIONES DE GEI DENTRO DEL SECTOR AGROPECUARIO

Dentro del Sector se pueden encontrar las siguientes actividades, que generan emisiones de GEI:

- Fermentación entérica – ganado lechero, otros vacunos y porcinos (CH₄).
- Gestión del estiércol - ganado lechero, otros vacunos, porcinos y aves de corral (CH₄ y N₂O).
- Encalado (CO₂).
- Aplicación de Urea (CO₂).
- Emisiones directas de N₂O de los suelos gestionados (N₂O).
- Emisiones indirectas de N₂O de los suelos gestionados (N₂O).
- Emisiones indirectas de N₂O resultantes de la gestión del estiércol (N₂O).
- Cultivo de arroz (CH₄).

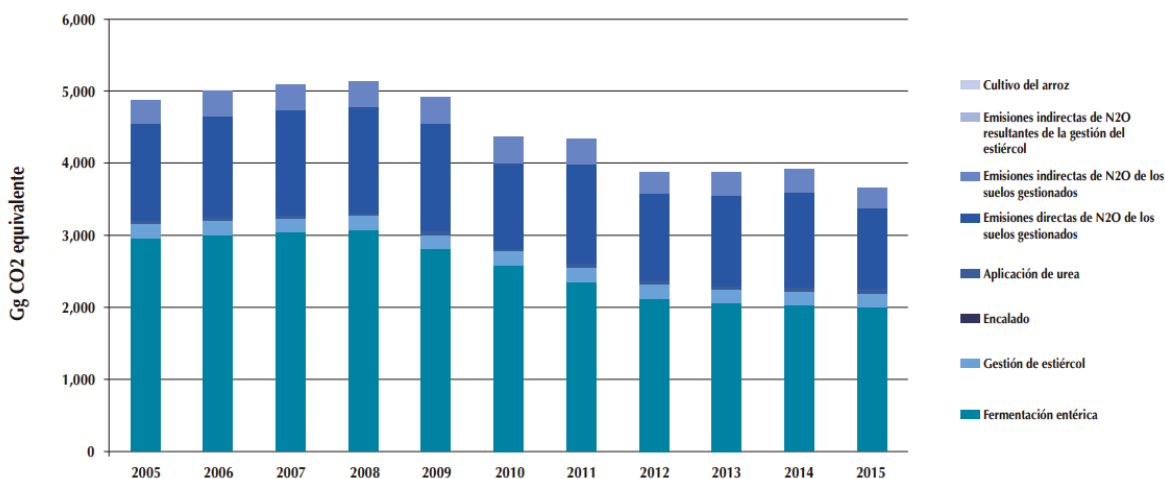


Ilustración 4-Emisiones de CO₂ equivalente por categoría en el sector Agricultura Honduras 2005-2015

Fuente: (MiAmbiente, 2018)

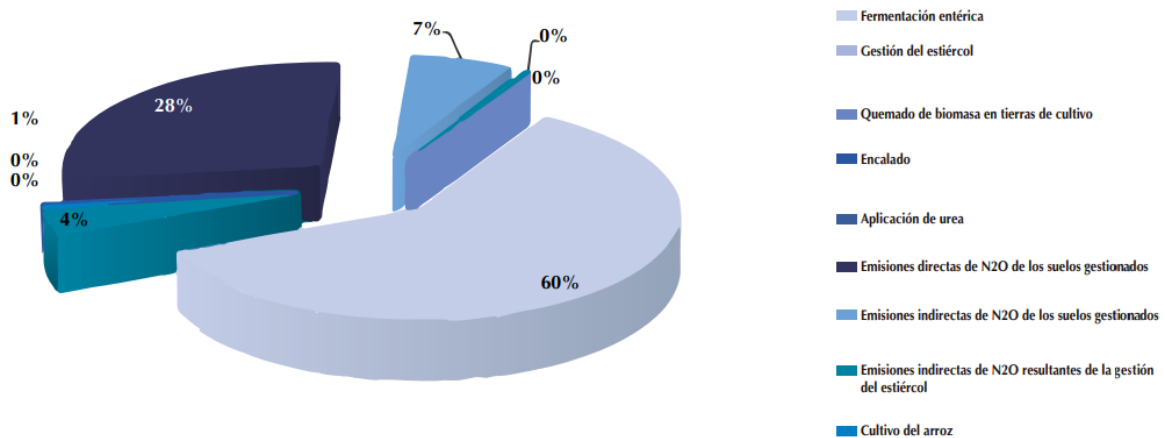


Ilustración 5-Emisiones de CO2 equivalentes por categoría en el Sector de Agricultura Honduras

Fuente: (MiAmbiente, 2018)

3.3. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN HONDURAS

Teniendo en cuenta que el sector de residuos sólidos urbanos (RSU) no es considerado formalmente un sector, esto genera dificultades para la correcta gestión y manejo de las actividades realizadas dentro del mismo. Ya que no están regidas por leyes y estrategias que exijan, faciliten y orienten a las municipalidades en el tratamiento de los RSU.

En el 2010 solamente el 3.7% de los municipios cuentan con infraestructura destinada al tratamiento de los RSU mientras que el 96.3% disponen de vertederos a cielo abierto. Para el 2019 según datos estadísticos proporcionados por MiAmbiente, 30 municipios cuentan con sitios de disposición final adecuados, 60 de ellos poseen un departamento encargado de los servicios de recolección de residuos sólidos y un total de 263 municipios solo disponen de botaderos a cielo abierto. Esta situación nos brinda una perspectiva de la problemática ambiental que se genera, a raíz de la poca gestión realizada al sector, lo que incurre en un grave peligro hacia la salud humana y el medio ambiente.

Existe una presencia de contaminación del recurso agua existente en las cercanías de estas zona y contaminación de playas como la desembocadura del río Chamelecón en el departamento de Copan. En Honduras se estima que el 54% de los RSU para el año 2010 es generado por 6 de las

ciudades más importantes, San Pedro Sula, Tegucigalpa, Choloma, La Ceiba, Choluteca y El Progreso (Daza, y otros, 2010). Tomando en cuenta una tendencia de generación en aumento, es importante notar que no existe una base de datos unificada que permita, una correcta integración de la información relacionada a su generación.

La falta de conciencia y gestión por parte de las empresas públicas y privadas, así como la del sector público, genera que los RSU presente un impacto negativo hacia el ambiente. A través de la generación de malos olores, pérdidas en la fauna marina e incluso problemas de salud a las comunidades cercanas. La mala disposición de estos residuos genera que además de la liberación de gases tóxicos y humos resultantes de las quemas, sea un ambiente positivo para la proliferación de vectores transmisores de enfermedades como el zancudo del Dengue. (OPS, 2019)

Para el 2019 en Honduras se celebró el primer “Foro Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos” a través de la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (MiAmbiente+) con apoyo de ONU y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). El objetivo fue crear conciencia sobre el manejo adecuado de los RSU. Estudios expuestos en esta jornada demostraron que el 57.9% de los residuos sólidos son de origen orgánico. Esta cifra expone el incremento en la producción de desechos, ya que para el 2010 la fracción de residuos orgánicos representaba el 47.2% lo cual ofrece una tendencia favorable para el aprovechamiento de estos residuos dentro del sector energético del país. (Martínez , 2019)

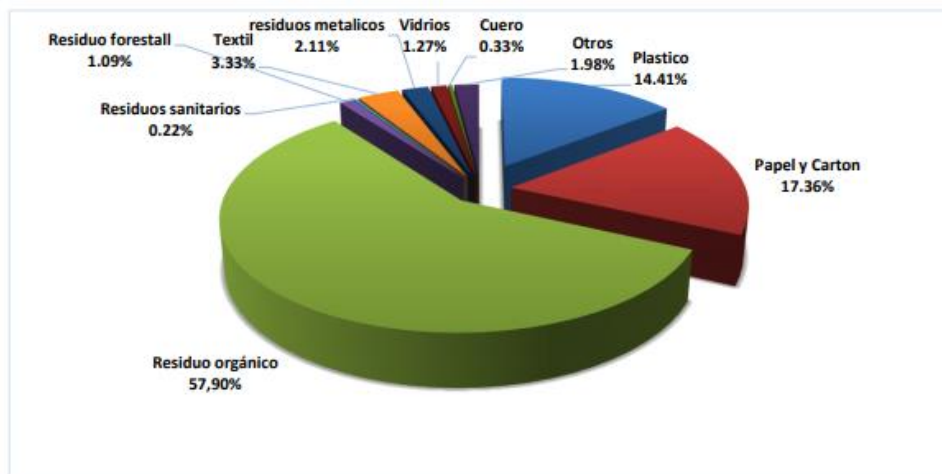


Ilustración 6- Caracterización de los Residuos

Fuente: (CNP-LH, 2018)

En el país solamente el 20% de las municipalidades, poseen servicios de recolección de residuos. Esta cifra solamente infiere, en la falta de control que poseen las generadoras de residuos sólidos, la falta de conciencia en la sociedad, servicios insuficientes más la falta de integración a zonas marginales a lo largo del país.

La fase final de los residuos representa el mayor problema dentro del sector ya que la mayoría de los residuos se dispone en quemas informales, representando el 59% de los RSU generados para el 2019, un total de 1,133, 496 ton/año. (Martínez , 2019)

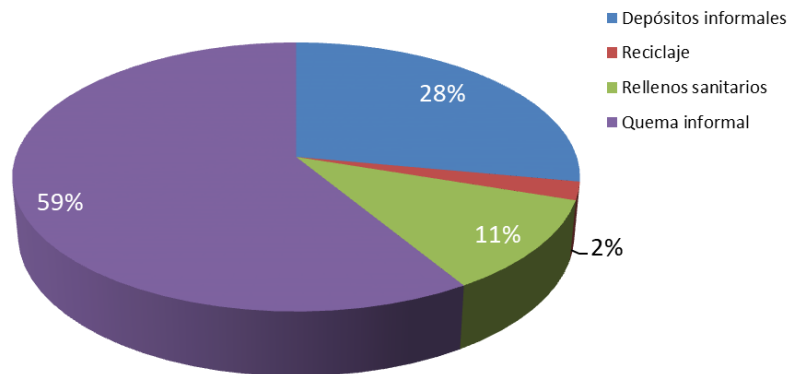


Ilustración 7-Destino final de los Residuos Solidos

Fuente: Elaboración propia con datos de MiAmbiente.

Este dato es alarmante desde el punto de vista de las emisiones liberadas a la atmosfera, ya que representa un enorme índice de contaminación atmosférico.

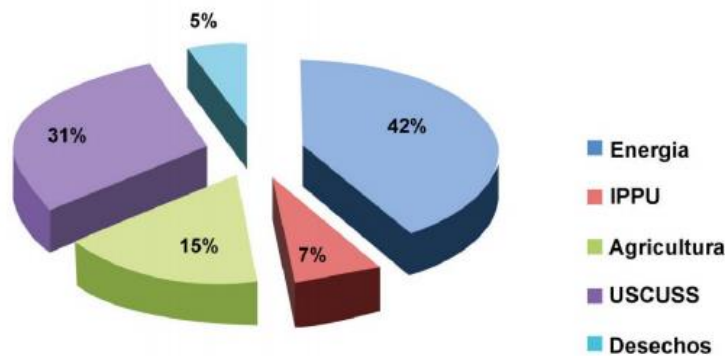


Ilustración 8- Porcentaje de emisiones de GEI. Año 2015

Fuente: (Martínez , 2019).

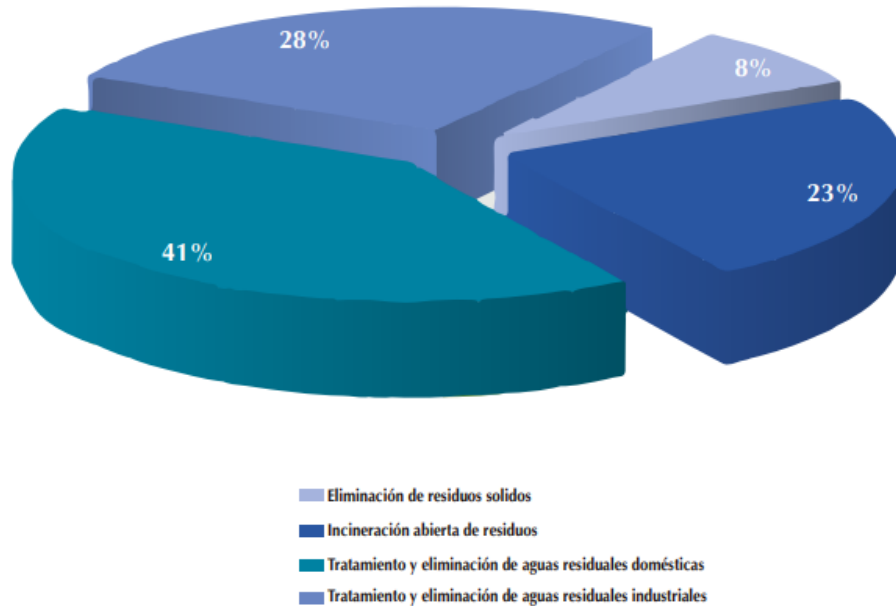


Ilustración 9-Emisiones de CO2 equivalente por categoría del Sector de Desechos Honduras 2015

Fuente: (MiAmbiente, 2018).

En Honduras no se realiza el tratamiento biológico de residuos sólidos en escala comercial/industrial y no se realizaba la combustión de residuos sólidos en instalaciones para la incineración controlada en el periodo de elaboración del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI). Debido a la ausencia información específica sobre los volúmenes de residuos y efluentes en el país, todas las categorías de este sector fueron estimadas utilizando la población de Honduras como uno de los principales datos de actividad. Consecuentemente, las variaciones observadas son debido al crecimiento de la población y no de cambios en los sistemas de tratamiento. Para la categoría Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales la variación es consecuencia del crecimiento de la producción industrial. (MiAmbiente, 2018)

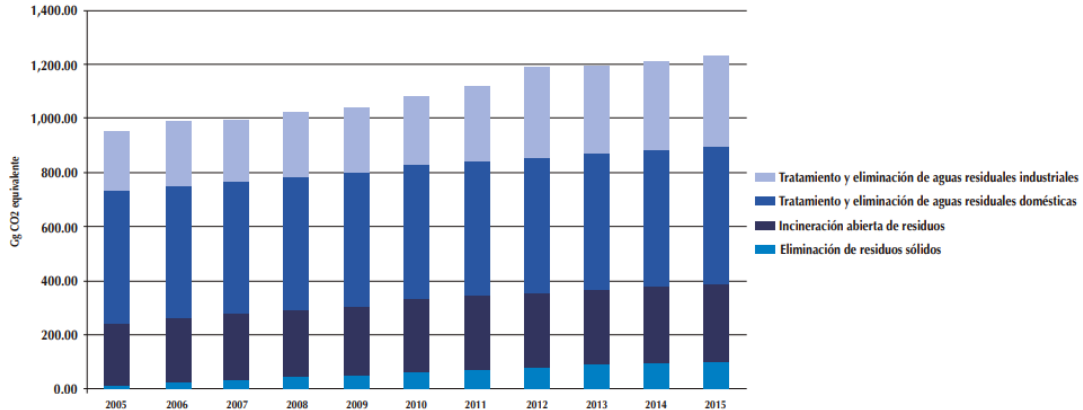


Ilustración 10-Emissiones de CO2 equivalente por categoría en el Sector de Residuos Honduras

Fuente: (MiAmbiente, 2018)

3.4. ¿QUÉ ES LA BIOMASA?

Según la Unión Europea “La Biomasa es la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales” (QUINTERO GONZÁLEZ & QUINTERO GONZÁLEZ, 2015).

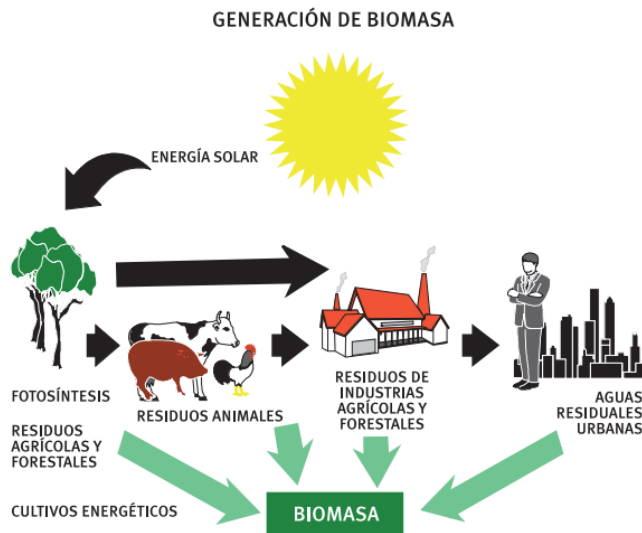


Ilustración 11-Proceso de obtención de energía

Fuente: (IDAE, 2007)

La energía presente en la biomasa es obtenida a partir del proceso de fotosíntesis, donde las plantas absorben la energía lumínica proveniente del sol, el agua presente en el suelo y el dióxido de carbono (CO₂) de la atmósfera, durante este proceso los organismos absorben una gran cantidad de sustancias orgánicas. En este sentido energía, los animales posteriormente absorben dicha energía al consumir las plantas como alimento, por lo que los residuos resultantes de esta interacción también pueden considerarse como fuentes potenciales de energía.

3.5. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

Existen diferentes tipos para clasificación de la biomasa, sin embargo, las más comunes son las que relacionan con su origen y estado.

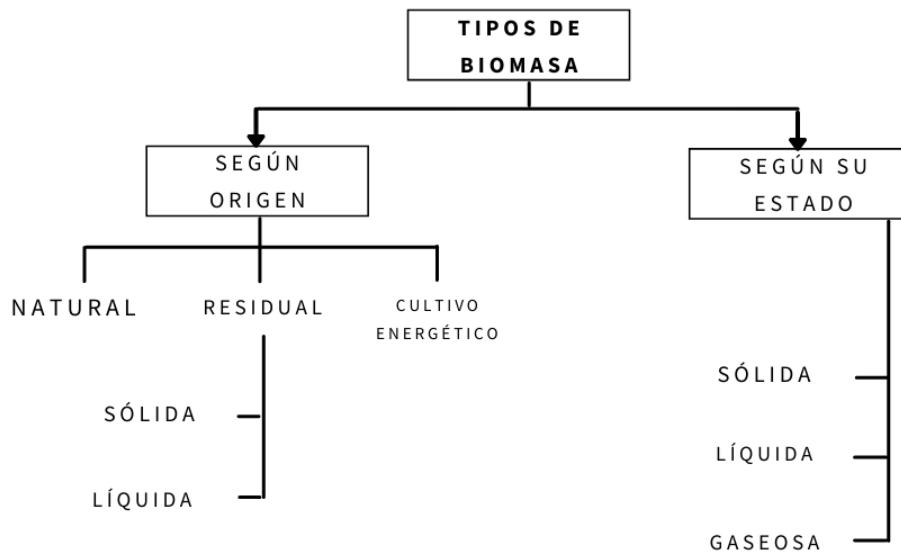


Ilustración 12-Clasificación de la Biomasa

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA SEGÚN SU ORIGEN

3.5.1.1. *Biomasa Natural*

La biomasa natural es aquella que crece y se reproduce dentro de un ecosistema sin ningún rastro de intervención humana. Esta biomasa no suele utilizarse para fines energéticos debido a los altos costos relacionados de adquisición y transporte. Suelen ser fuentes principalmente destinadas al consumo alimenticio de la zona, pilares económicos de regiones y en algunos casos pueden llegar a ser utilizados como fuente de energía en países en vías de desarrollo.

3.5.1.2. *Biomasa Residual*

La biomasa residual suele catalogarse como aquella que proviene de los residuos generados por distintas actividades humanas, teniendo en cuenta siempre el carácter orgánico de la materia generada. La biomasa residual se puede dividir en dos subcategorías, haciendo referencia al estado en la que esta suele estar presente, los cuales son la biomasa residual sólida y la biomasa residual líquida. (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012)

Existen diferentes sectores que generan cantidades importantes de materia orgánica como residuos, por ejemplo, actividades agrícolas, industriales o ganaderas. Como resultado de estas acciones los subproductos obtenidos como residuos, pueden llegar a incurrir en impactos ambientales considerables como emisiones de gases y fluidos contaminados. Dichos impactos pueden ocasionar daños al ecosistema de la zona, por lo que su aprovechamiento para la generación y utilización dentro del sector energético en la actualidad, además de ser una de las fuentes de energía más estudiada en muchos países a lo largo del mundo. Debido a su potencial de generación, es empleado gracias a su ayuda para mitigar el impacto ambiental que genera en cada uno de los sectores. En la Tabla 1 se muestran algunos ejemplos de biomasa residual y sus características físicas.

Tabla 1-Ejemplos de Biomasa Residual

Recursos de biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.	Polvo, sólido, HR ² >50% Polvo sólido, HR 30 - 45% Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales. Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café). Estiércol. Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	Sólido, alto contenido humedad Polvo, HR < 25% Sólido, alto contenido humedad Sólido HR >55%
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido humedad Líquido Líquido, grasoso
Residuos urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales). Basura orgánica (madera).	Líquido Sólido, alto contenido humedad Sólido alto contenido humedad

Fuente: (BUN-CA, 2002).

3.5.1.3. *Cultivos Energéticos*

Estos son extensas plantaciones de árboles o plantas destinadas principalmente al objetivo de producir energía en lugar de poseer un fin alimentario. Estos cultivos energéticos son seleccionados debido a su rápido crecimiento, su volumen de biomasa producida y su bajo mantenimiento lo cual influye en gran medida en los bajos costos de producción. El suelo destinado a estos cultivos se considera de bajo valor productivo lo cual también ayuda a bajar los costos de la materia prima.

3.5.2. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA SEGÚN SU ESTADO

3.5.2.1. *Biomasa Sólida*

La biomasa sólida es la más conocida debido a su abundancia y a su vez es la más utilizada con fines de generación de energía en forma de calor. En ella se encuentra englobada la madera obtenida de tratamientos silvícolas forestales, residuos de las industrias que laboran con cualquier tipo de biomasa como las carpinterías, empresas papeleras etc. También en esta clasificación se encuentran los residuos obtenidos en las podas y limpiezas de parques y jardines, los subproductos o residuos de naturaleza agrícola, cultivos energéticos, turba, residuos

agroindustriales como el orujo, serrín, huesos de aceituna, etc. y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.



Ilustración 13-Biomasa Sólida

Fuente: (IDAE, 2007).

3.5.2.2. Biomasa Líquida

Dentro de esta clasificación se encuentran englobados los residuos producidos por actividades ganaderas, industriales, biodegradables y aguas residuales urbanas (ARU). A esta clasificación también suelen atribuirse los aceites y biocarburantes como el bioetanol y el biodiesel. (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012)

3.5.2.3. Biomasa Gaseosa

La biomasa gaseosa es principalmente el metano o biogás proveniente de residuos animales, agroalimentarios o vertederos, luego de ser sometidos a distintos procesos los cuales pueden ser termoquímicos, microbiológicos, etc.



Ilustración 14-a) Biodiesel b) Planta Generadora de Biogás

Fuente: (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

3.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA BIOMASA

3.6.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA BIOMASA

Sin importar los distintos tipos de biomasa que existen, cada uno de ellos está compuesto por una parte orgánica, una parte inorgánica y otra parte de agua. Durante el proceso de combustión se quema la parte orgánica y, a su vez, la parte inorgánica influye durante este proceso y forma las cenizas o residuos sólidos, que es el restante del proceso de combustión.

Dentro de los elementos químicos más importantes presentes en la biomasa se puede encontrar al carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), y azufre (S) y, en algunos casos, cloro (Cl). Además, contiene oxígeno (O), lo cual no se determina directamente, sino que se calcula como diferencia entre el peso total y la suma de los otros elementos, más la ceniza. La tabla 2 se muestra la composición para varios tipos de biomasa donde se incluye el carbón mineral como punto de comparación (BUN-CA, 2002).

Tabla 2-Composicion Química de diferentes formas de Biomasa

Tipo de biomasa	Porcentaje del peso (sin humedad)						
	C	H	N	O	S	Cl	Ceniza
Madera							
Sauce	47,66	5,2	0,3	44,70	0,03	0,01	1,45
Madera suave	52,10	6,10	0,20	39,90	-	-	1,70
Corteza de madera dura	50,35	5,83	0,11	39,62	0,07	0,03	3,99
Madera dura	50,48	6,04	0,17	42,43	0,08	0,02	0,78
Eucalipto	50,43	6,01	0,17	41,53	0,08	0,02	1,76
Roble	49,89	5,98	0,21	42,57	0,05	0,01	1,29
Corteza de pino	52,30	5,80	0,29	38,76	0,03	0,01	2,90
Aserrín pino	52,49	6,24	0,15	40,45	0,03	0,04	0,60
Sub-productos agrícolas							
Brizna de trigo	39,07	4,77	0,58	50,17	0,08	0,37	4,96
Caña de azúcar	44,80	5,35	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Bagazo de caña	46,95	5,47	0,38	39,55	0,01	0,12	9,79
Paja de arroz	39,65	4,88	0,92	35,77	0,12	0,50	18,16
Cascarilla de arroz	38,68	5,14	0,41	37,45	0,05	0,12	18,15
Paja de maíz	46,91	5,47	0,56	42,78	0,04	0,25	3,99
Olote de maíz	47,79	5,64	0,44	44,71	0,01	0,21	1,2
Fibra de coco	50,29	5,05	0,45	39,63	39,63	0,28	4,14
Carbón mineral	71,70	4,70	1,3	8,30	0,64	0,060	20,70

Fuente: (BUN-CA, 2002)

3.6.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

Esta propiedad es también conocida como humedad relativa, y representa la cantidad de agua presente en un kilogramo de materia seca. Para el caso de la biomasa esta suele medirse en base seca (h) o en base húmeda (H), ya que se puede considerar el peso de la leña húmeda (P_h) y el peso seco (P_0) el cual es obtenido luego de someter a la leña a un proceso de secado en horno para eliminar el agua, por lo que la ecuación resultante es:

$$h = \frac{P_h - P_0}{P_0} \qquad H = \frac{P_h - P_0}{P_h}$$

Ecuación 1-a) Humedad relativa base seca, b) Humedad relativa base húmeda

Fuente: (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

Entre menor es el valor obtenido mejor será el valor calorífico de la biomasa estudiada y mejor será su proceso de combustión. Debido a que en estos métodos primero se necesita evaporar el agua presente en la biomasa para poder obtener el calor requerido. Un valor <30% es aceptable

en procesos de conversión de energía, ya que superar este límite volvería necesario la implementación de operaciones de acondicionamiento y secado, previas al proceso de conversión (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

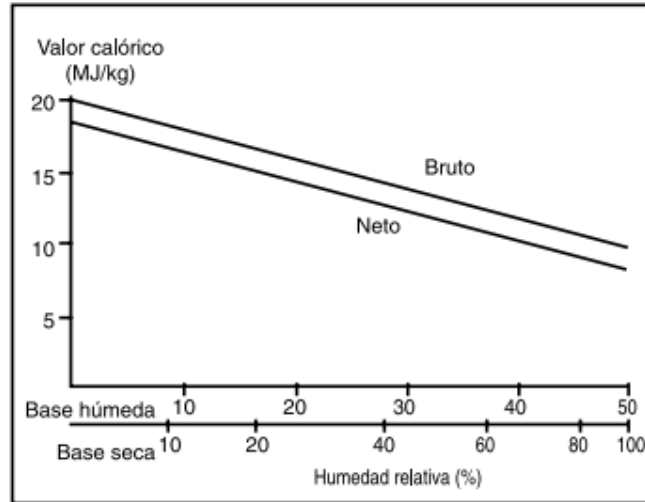


Ilustración 15-Valor Calórico en función de la Humedad Relativa

Fuente: (BUN-CA, 2002)

3.6.3. PODER CALÓRICO

El poder calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa y se expresa como la cantidad de energía por unidad física. Es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente. De manera más concreta, el poder calórico superior (PCS) es aquel calor que verdaderamente se produce en la reacción de combustión, y el inferior (PCI) el realmente aprovechable, producido sin utilizar la energía de la condensación del agua y de otros procesos. El PCI de un combustible se determina a partir del PCS, extrayendo el calor latente del agua formada:

$$PCI = PCS - 2.5 (9H + H_2O)$$

Ecuación 2-Poder Calórico Interior

Fuente: (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012)

Dónde:

PCI Poder calorífico inferior (MJ/Kg)

PCS Poder calorífico superior (MJ/Kg)

2,5 calor de condensación del agua a 0°C (MJ/kg agua)

9 kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

H Tanto por uno de hidrógeno en el combustible

H₂O Tanto por uno de humedad del combustible

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para alguno de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

Tabla 3-Poder Calorífico de algunos tipos de Biomasa

Tipo de Biomasa	Valor calorífico bruto (MJ/kg)
Madera	
Astilla de madera	20,89
Corteza de pino	20,95
Desechos industriales de madera	19,00
Sub-productos agrícolas	
Paja de trigo	18,94
Caña	18,06
Bagazo	18,09
Cáscara de coco	18,60
Olote de maíz	17,72
Paga de arroz	15,61
Cascarilla de arroz	15,58
Aserrín	19,34

Fuente: (BUN-CA, 2002).

3.6.4. PORCENTAJE DE CENIZAS

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada. Por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado (BUN-CA, 2002).

3.6.5. DENSIDAD APARENTE

Se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta. Los combustibles que presentan una densidad aparente elevada favorecen la relación de energía por unidad de volumen, ya que se requieren menores tamaños de los equipos y se aumenta el tiempo que transcurre entre cargas del equipo. Por el contrario, las materias primas de baja densidad aparente necesitan un mayor volumen de almacenamiento y transporte (de Lucas Herguedas, del Peso Taranco, Rodríguez García, & Prieto Paniagua, 2012).

3.7. LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE

El proceso y manipulación de las grandes industrias de elaboración y consumo necesitan grandes cantidades de energía para funcionar. Por ello, en nuestra sociedad, los países pobres tienen un consumo menor de energía que en los países ricos o desarrollados esto debido a los sectores industriales que son los que más consumen energía, aun cuando sus procesos sean mucho más eficientes y existan importantes campañas de concienciación para el ahorro de energía. Esto significa que el desarrollo de un país implica un crecimiento exponencial en su consumo energético (Serrano, 2018).

Honduras es un país en vías de desarrollo por ende la demanda energética ha ido aumentada con el transcurso de los años, con esto el país está buscando otras formas de generar energía renovable. Desde el 2015 ha aumentado el uso de energía renovable, pero solo se ha enfocado en el sector fotovoltaico, eólico e hidroeléctrico, dejando fuera la producción de energía a partir de la biomasa y no solo para producir electricidad también se puede producir biodiesel, bioetanol y biogás, dependiendo del tipo de biomasa que se utilice o la aplicación que se necesite.

3.7.1. BIOCOMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Los biocombustibles son aquellos combustibles líquidos de origen biológico por sus propiedades físicas. Los productos químicos son adecuados para reemplazar completamente la gasolina o el diésel en una mezcla de estos por último o como una adición (Serrano, 2018). Actualmente en el mercado de combustibles solo son comerciales los de primera generación como ser el biodiesel y el bioetanol, el primero se emplea en motores de gasoil y el segundo en motores de combustión de gasolina. Su transporte y almacenamiento es más seguro, debido al mayor punto de ignición y a la menor inflamabilidad que los convencionales (Salvador, 2010).

3.7.1.1. *Bioetanol*

El bioetanol se obtiene mediante el proceso de fermentación de azúcares extraídas especialmente de la caña de azúcar y el maíz. Por la facilidad de la obtención de la materia prima para la elaboración, el bioetanol es uno de los biocombustibles más producidos en el mundo. Uno de los problemas al momento de producir este biocarburante, es que después de la fermentación queda una gran cantidad de agua por lo cual es precisa eliminarla antes de utilizar este producto.

Se emplean tres familias de materias primas para la obtención del etanol:

- Azúcares procedentes de la caña o de la remolacha.
- Almidones procedentes de cereales como maíz, cebada o trigo,
- Celulosa y hemicelulosa procedentes del material lignocelulósico de los vegetales.

En la ilustración 16 se muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de bioetanol, en el que pueden observarse las etapas específicas y las comunes a los productos de las tres familias (Salvador, 2010).

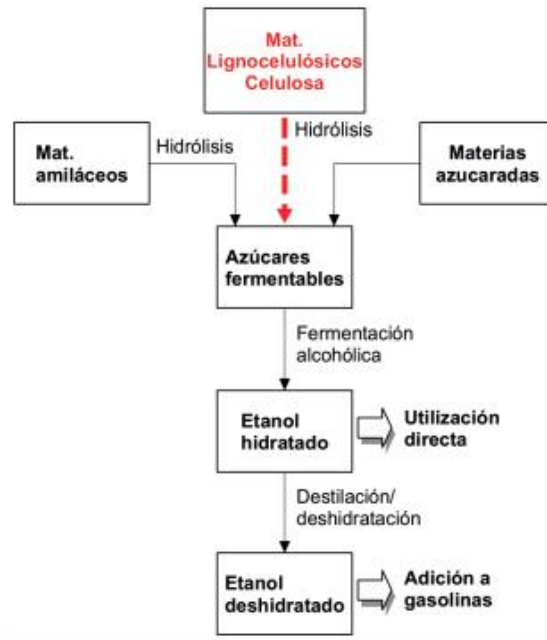


Ilustración 16-Diagrama de flujo del proceso de obtención de bioetanol a partir de diferentes materias primas.

Fuente: (Salvador, 2010).

3.7.1.2. Biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido compuesto por ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga, derivados de lípidos renovables, como aceites vegetales o grasas animales, y utilizado en motores de encendido por compresión. También es un combustible de automoción muy similar al gasóleo, lo que no ocurre con el aceite sin modificar.

En la producción de biodiesel se ha utilizado aceite procedente de una gran variedad de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas) y de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Además del uso de aceites extraídos de semilla se utilizan grasas animales para la producción de biodiesel (Salvador, 2010).

La obtención de biodiesel se basa en la reacción de moléculas de triglicéridos (el número de átomos de carbono en los ácidos está entre 14 y 24, el más común es 18) con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol), para producir ésteres y glicerina. La ilustración 17 muestra el diagrama de flujo del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales.

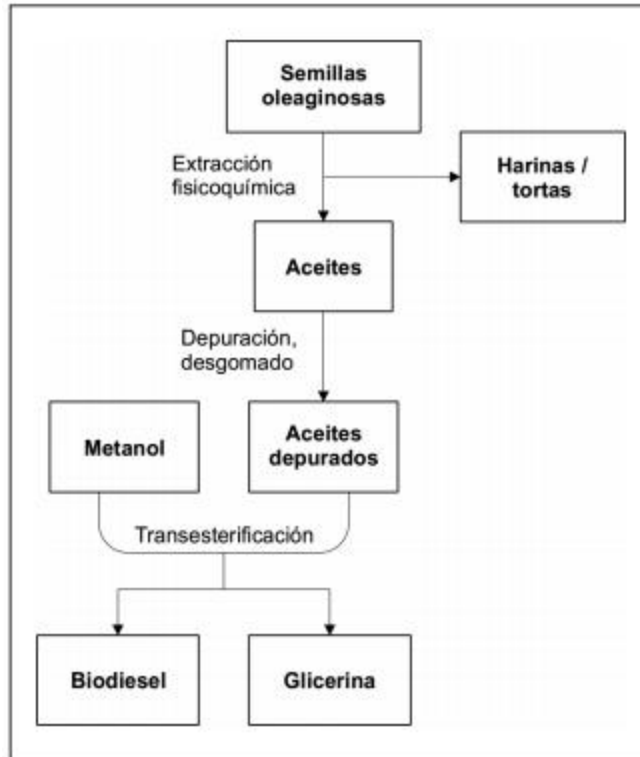


Ilustración 17-Etapas en la obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales

Fuente: (Salvador, 2010).

En una primera etapa se prensan las semillas calientes en presencia de un disolvente para separar el aceite de la pulpa. De este modo se logran rendimientos de extracción próximos al 100% (Serrano, 2018). Una vez obtenida la materia prima, el proceso de fabricación de este producto resulta bastante sencillo desde el punto de vista técnico. Este proceso se realiza en presencia de un catalizador, y a una temperatura moderada de unos 60 °C aproximadamente. En realidad, se trata de algo muy parecido a la elaboración del jabón casero con el que el aceite era reciclado antiguamente. De hecho, durante la elaboración del biodiesel se obtiene el principal compuesto de estos jabones: la glicerina, que es un subproducto de gran valor añadido y con múltiples salidas comerciales en los sectores químico, agrario y alimentario (Salvador, 2010).



Ilustración 18-Proceso obtención biodiesel

Fuente: (Serrano, 2018).

3.7.2. BIOCOMBUSTIBLES SOLIDOS

Los principales biocombustibles sólidos, son los que están hechos de material lignocelulósicos estos tienen su procedencia de las industrias agrícolas, forestales y manufactureras que producen este tipo de residuos. Actualmente la mayor parte de este tipo de biomasa es consumido directamente, como por ejemplo la leña procedente de los bosques es utilizada en los hogares, para la cocción de los alimentos. También se utiliza en países fríos como forma de calefacción en chimeneas (Salvador, 2010).

3.7.2.1. Leña y Astillas

Son materiales de madera, por ende, son sólidos, los cuales se utilizan en la cocción de alimentos o para calefacción. También se utilizan para la combustión directa de calderas las cuales se pueden utilizar para la producción de energía o para un sistema de calefacción, como se puede observar en la ilustración 19 (Salvador, 2010).

Este tipo de biomasa se obtiene de los bosques y residuos de los cultivos agrícolas leñosos. Se denomina leña a pedazos de madera de una dimensión de entre 25 cm y 50 cm y las astillas se les denomina a trozos de madera con una dimensión de entre los 3 y 15 cm. La obtención de este tipo de biomasa es muy sencilla desde un punto de vista técnico, ya que se extrae de la tala de los bosques y después es extraída o pasa por un proceso de trituración y de secado que puede ser natural o artificial (Velazques Marti, 2017).

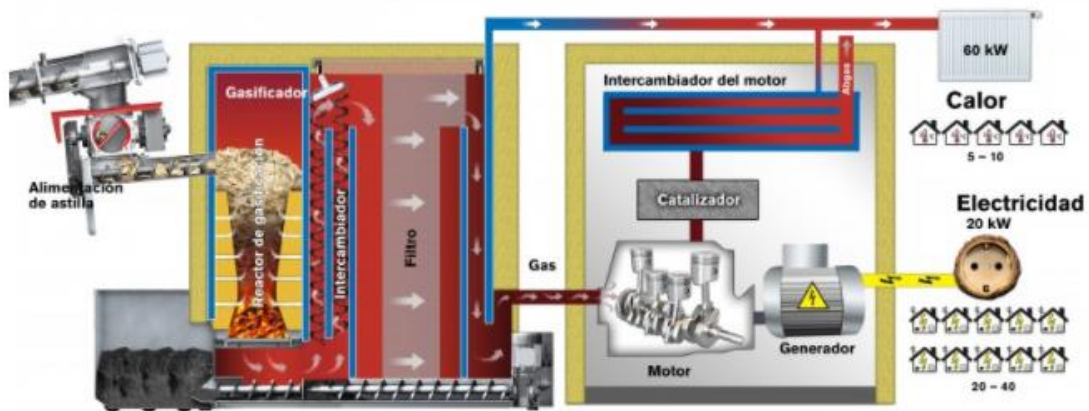


Ilustración 19-Combustión de astillas en Caldera

Fuente: (Hargassner, 2016).

3.7.2.2. Carbón Vegetal

El carbón vegetal que procede de un tratamiento térmico de la biomasa leñosa en atmósferas de bajo contenido en oxígeno. Al ser el resultado de una alteración termoquímica de la biomasa primaria, se considera un biocombustible de naturaleza secundaria. El carbón vegetal se obtiene mediante la combustión lenta y parcial de biomasa leñosa con un cierto contenido en humedad a una temperatura variable entre 250 y 600°C. El poder calorífico del producto obtenido varía entre 6.000 y 8.000 kcal/kg, dependiendo del contenido en cenizas de la madera. Este combustible es utilizado para la combustión directa en calderas (Velazques Marti, 2017).

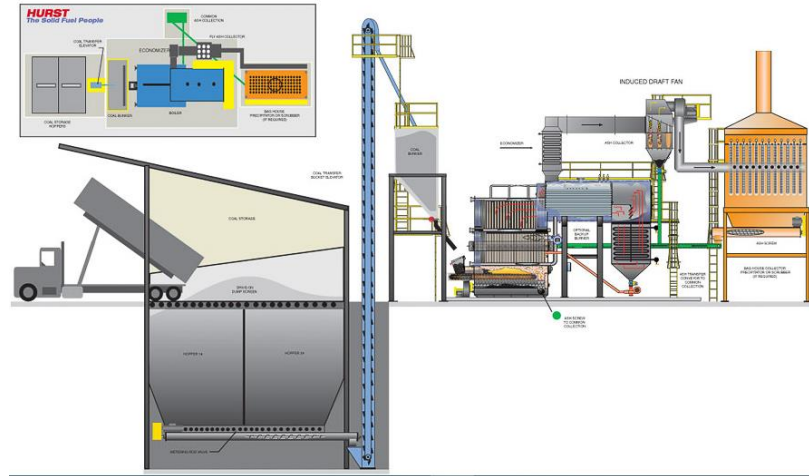


Ilustración 20-Combustión de carbón vegetal en caldera

Fuente: (Candinasa , s.f.).

3.7.2.3. Pellets y Briquetas

Los pellets son similares a las briquetas, pero más pequeños. Estos cilindros se preparan con prensas de granulación, similares a las utilizadas para la fabricación de piensos para animales. La compactación se consigue de forma natural o mediante la adición de compuestos químicos que no contengan aquellos elementos que pueden originar problemas ambientales, porción de contaminantes en la corriente de gases de escape ajenos a los propios de la biomasa, durante el proceso de combustión.

La materia prima, al igual que en el caso de las briquetas, debe tener poca humedad y baja granulometría. Este producto puede manejarse con facilidad y puede emplearse en instalaciones automatizadas de pequeño o mediano tamaño. Y este tipo de biomasa también se emplea para la alimentación de calderas y así producir energía eléctrica o para la calefacción Aprovechamiento de la Biomasa para el uso Energético.

3.7.3. BIOCOMBUSTIBLES GASEOSOS

De la biomasa se pueden obtener diferentes combustibles gaseosos como biogás, gas de síntesis e hidrogeno. Estos se pueden producir con biomasa residual proveniente de sectores RSU, agrónomo y de la ganadería. Se produce mediante métodos de gasificación y fermentación anaeróbica de la materia orgánica (Salvador, 2010).

3.7.3.1. *Hidrogeno*

El hidrógeno es un Vector energético representado como alternativa sobre la estructura energética actual principalmente por sus beneficios ambientales y su aplicación en Celdas de combustible. Su combustión produce agua y una gran cantidad de energía (27.000 kcal/kg) por lo que resulta idóneo para múltiples aplicaciones industriales, domésticas y de transporte.

El hidrógeno se produce a partir de compuestos orgánicos, a través de un proceso conocido como "reformado" consiste en descomponer las moléculas hidrocarbonadas mediante reacciones con vapor de agua en presencia de un catalizador. Este combustible de hidrógeno presenta importantes problemas logísticos debido a su inflamabilidad y baja densidad. La alternativa de licuar el gas tropieza con el elevado consumo energético y las grandes inversiones necesarias para la distribución directa (Salvador, 2010).

3.7.3.2. *Fermentación anaeróbica: biogás*

La digestión anaeróbica es un proceso que se utiliza en la depuración de aguas residuales y efluentes orgánicos de industrias agrarias o la ganadería. Este tipo de transformación se produce de manera espontánea en pantanos o fondos de lagunas y lagos en los que haya depósitos de materia orgánica. El metano también se produce en RSU, pudiéndose extraer mediante perforaciones y redes de transporte adecuadas. La aplicación de este procedimiento a la biomasa da lugar al biogás, en cantidades de unos 300 m³ por tonelada de materia seca, con un poder calorífico de unas 5.500 kcal/m³ (Salvador, 2010).

El biogás se puede utilizar para las mismas aplicaciones que el gas natural, generación de energía térmica, electricidad (destino principal), combustible para vehículos, baterías o aplicaciones integradas en redes de gas natural. En cuanto a vertederos, su uso con fines energéticos tiene las siguientes ventajas: Una ventaja adicional es la combustión de metano y su conversión en dióxido de carbono y agua.

Previamente a cualquiera de sus aplicaciones energéticas, el biogás debe someterse a un proceso de refinado cuya complejidad depende de su procedencia y de su uso. El objetivo de la purificación es la eliminación de ciertos compuestos que acompañan al metano en cantidades variables como CO₂, SH₂, NH₃, H₂O, partículas sólidas, etc. (Salvador, 2010).

3.7.3.3. *Gasificación: gas de síntesis*

La gasificación es un proceso termoquímico que convierte un combustible sólido, por oxidación parcial a elevada temperatura, en un gas portador de energía. Al someter la biomasa a altas temperaturas y con defecto de oxígeno se producen reacciones de pirolisis, de oxidación y de reducción que originan productos gaseosos, N₂, CO, H₂, CH₄, CO₂, cuyo poder calorífico es bajo (algo mayor de 1.000 kcal/Nm³) y su destino, la producción de calor por combustión directa en un quemador y la generación de energía eléctrica o mecánica por medio de un motor o una turbina (Salvador, 2010).

3.8. PROCESOS DE LA TRANSFORMACIÓN DE LA BIOMASA

La Biomasa se puede transformar en combustibles o productos químicos por medios de procesos termoquímicos o bioquímicos y así poder ser aprovechados energéticamente. El tipo de proceso de conversión va a depender del estado de la biomasa que esté disponible para utilizar, del tipo de combustible que se desea obtener (sólido, líquido y gaseoso), de los requerimientos ambientales, condiciones económicas y factores específicos del proyecto (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

3.8.4. PROCESOS TERMOQUÍMICOS

Los procesos termoquímicos se basan en el uso de altas temperaturas para convertir la biomasa en energía. Son procesos en los cuales se encuentran implicadas reacciones químicas irreversibles que se llevan a altas temperaturas y en un amplio espectro de condiciones de oxidación.



Ilustración 21-Proceso de conversión termoquímico de la Biomasa

Fuente: Elaboración propia con datos.

3.8.4.1. *Combustión directa de biomasa*

Desde un largo periodo de tiempo la biomasa se ha usado para la producción de energía en forma de calor, mediante el uso de pequeñas calderas domésticas. La combustión es el quemado de la biomasa en presencia de aire. Este proceso consiste en la transformación de la energía almacenada dentro de la biomasa sólida que se convierte en calor, energía mecánica o eléctrica. Esto va a depender del tipo de equipo que se emplea para la obtención de dicha energía, estos pueden ser: hornos, calderos, turbinas de vapor, turbogeneradores, etc.

En general se basan en sistemas poco eficientes, si se va emplear en grandes industrias, la biomasa tiene que tener un tratamiento previo para su aprovechamiento. Por ende, es necesario recurrir a grandes instalaciones, basadas en la generación de vapor a altas temperaturas y presión que por medio de turbinas generan electricidad (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

3.8.4.2. *Gasificación de biomasa*

Es la transformación de la biomasa en una mezcla de gases combustibles, que se da por medio de la oxidación parcial a altas temperaturas, que están dentro de un rango de 800 a 900 °C. Para poder realizar este proceso se necesita un recipiente cerrado, llamado gasógeno, en la cual se introduce combustible y un poco de aire, este tiene que ser menor a la cantidad necesaria para que haga una combustión completa. Este proceso de conversión da como resultado diferentes tipos de gases como ser: CO , CO_2 , H_2 , CH_4 , hidrocarburos de cadena corta, pequeñas cantidades de carbón y ceniza. En distintas proporciones esto va a depender de la materia prima y las condiciones del proceso.

Para realizar este tipo de proceso de gasificación, se requieren dos etapas una es el secado y otra es el calentado de la biomasa que se desea transformar, en la cual se adiciona calor externo al proceso. Este puede ser adicionar directamente en forma de combustión o indirectamente en forma de transferencia de calor. En el proceso de gasificación es necesario tener en cuenta el estado de equilibrio termodinámico, químico, y todas las variables relacionadas con: (a) Tipo de biomasa, (b) porcentaje de humedad y (c) poder calorífico. Las reacciones en la gasificación se llevan a cabo a presión atmosférica elevada de hasta 33 bar (480 psi) (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

3.8.4.3. *Pirolisis de biomasa*

Según la American Society for Testing Materials (ASTM), la pirolisis de la biomasa consiste en la degradación fisicoquímica de la materia orgánica, con la aplicación de calor y ausencia de un medio oxigenante. La pirolisis es un proceso térmico de transformación en el que usa la biomasa de alto contenido de carbón, para producir compuesto más denso y con un poder calorífico mayor que se puede usar como combustible, antes de un proceso de tratamiento.

El proceso generalmente comienza con temperaturas iniciales de 200 °C y después se aumentan hasta los 600-700°C. Después de este proceso se obtienen una mezcla de varios combustibles entre los que están: Combustibles sólidos (biochar), líquido (bio-oil) y gaseosos (biogás). Estas cantidades relativas dependen de las propiedades de la biomasa a tratar y de los parámetros de operación.

3.8.5. PROCESOS BIOQUÍMICOS

Los procesos bioquímicos se emplean en agentes biológicos (microorganismos), para transformar la biomasa en fuente de energía que se pueda almacenar, normalmente en forma de combustibles líquidos y gaseosos. Al mismo tiempo a estos productos obtenidos se le puede dar un valor agregado explotando su potencial al momento de convertirlos en electricidad, calor, biocombustibles y bioproductos. Este tipo de proceso se divide en dos grupos uno de ellos es el que se produce en ausencia de aires (anaeróbico) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos) (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

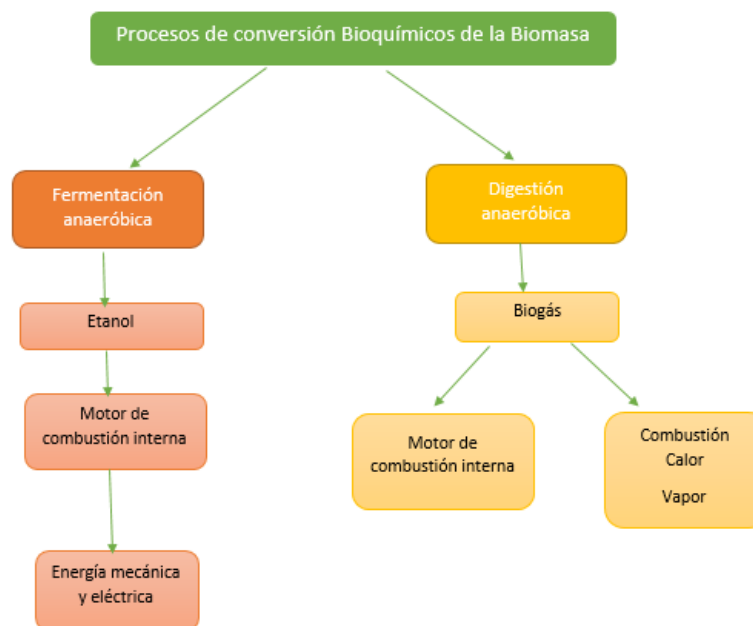


Ilustración 22-Procesos de conversión bioquímicos de la biomasa

Fuente: Elaboración propia.

3.8.5.1. Fermentación de biomasa

Esta es una de las opciones para producir etanol a partir de materias prima ricas en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa, etcétera) de las frutas y vegetales como la caña de azúcar, la remolacha, los cereales (trigo, maíz, sorgo), los tubérculos (papas, yuca) y en general, biomasa lignocelulosa.

El biodiesel tiene un potencial muy alto para producir energía, debido que puede sustituir un 25% de la gasolina usada como combustible en el año 2025.

El etanol es producido por fermentación, a además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo. El proceso de obtención de biodiesel y etanol tiene 3 procesos para poder obtenerlos: la primera etapa consiste en triturar y moler la materia prima para obtener una pasta homogénea, la segunda etapa consiste en fermentar y destilar la pasta homogénea y la última etapa es refinar el producto obtenido para poder utilizarlo como combustible (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

3.8.5.2. *Digestión anaeróbica de biomasa*

Este método se realiza por medio de un proceso anaeróbico (bacterias cuyo metabolismo se realiza en ausencia de oxígeno). Estas bacterias se desarrollan muy bien a temperaturas de 30 °C, es un proceso en cadena donde se degrada la materia orgánica en tres tipos de etapas: Hidrólisisacidogénesis, homoacetogénesis-acetogénesis y metanogénesis (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

En la primera etapa actúan bacterias formadoras de ácidos que emplean como materia prima hidratos de carbono. En la segunda etapa están las bacterias formadoras de ácido acético, las cuales pueden ser inhibidas por H₂. En la tercera etapa están las acetofílicas y las hidrogenofílicas que emplean ácido acético, monóxido de carbono e hidrógeno para generar el producto de la digestión que es el biogás. Esta es una mezcla formada por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), pequeñas cantidades de hidrógeno (H₂), sulfuro de hidrógeno (SH₂) y nitrógeno (N₂).

La materia prima que necesita para este proceso generalmente es: residuos animales o vegetales de baja relación carbo/nitrógeno, empleado en un recipiente cerrado conocidos como biodigestores. Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas (Afanasjeva, Castillo, & Sinisterra, 2017).

3.8.5.3. *Transesterificación*

Es una reacción la cual se puede catalizar con catalizadores homogéneos (ácido o base) o heterogéneo (ácido, base o una enzima). Este proceso consiste en la transformación de los triglicéridos en alquilésteres usando un alcohol de cadena corta. Comúnmente se utilizan catalizadores alcalinos homogéneos especialmente hidróxido de sodio y potasio, esto se debe a que proporcionan una mayor velocidad a la reacción que la conversión de los catalizadores ácidos para la transesterificación de triglicéridos.

La principal biomasa utilizada en el proceso de transesterificación es: aceites de semillas oleaginosas como el girasol, colza, coco, entre otros. También se pueden utilizar materias primas de segunda generación a partir de aceites residuales. El energético que se puede producir de este método es el biodiesel, aunque si no se realiza de manera adecuada, se producen reacciones secundarias como la saponificación lo cual da como resultado el jabón en ves del biodiesel (Medina Villadiego, Ospino Roa, & Tejeda Benítez, 2014).

3.8.5.4. *Hidrolisis*

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos complejos. Por tanto, es el proceso de hidrólisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido de sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), del tamaño de partículas, del nivel de pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis. La materia orgánica utilizada es el proceso de hidrolisis son las proteínas, carbohidratos y lípidos (Ministerio de Energía Chile, 2011).

3.9. TECNOLOGÍAS

Para tener el máximo aprovechamiento de la biomasa, se tendrá en cuenta el tipo de biomasa con el cual se quiere trabajar. Debido a esto surgen diferentes tipos de tecnología que aprovechan el potencial de la biomasa. Los dos grandes grupos de conversión de la biomasa en energía son los "procesos termoquímicos" y los "procesos bioquímicos". Para cada uno de los grupos anteriores existen tipos de tecnologías para poder generar energía en forma: electricidad, calefacción, biocombustibles, biogás, etanol etc. (Masera, Aguillón, & Gamino, 2005).

3.9.1. CALDERAS DE COMBUSTIÓN

Este tipo de tecnología se emplea en la conversión de energía denominado combustión directa. La combustión directa se define como la reacción química entre un combustible y el comburente (aire) con la finalidad de producir energía calorífica. Las partes de un equipo de combustión son el horno y quemador.

La combinación de ambos da a conocer los cuatro elementos básicos de la combustión directa: mezcla de combustibles y carburantes, admisión de cantidades suficientes de comburente para quemar por completo los combustibles, combustible suficiente para encender la mezcla de combustibles y aire, y el tiempo necesario para que se complete la combustión (Masera, Aguillón, & Gamino, 2005).

3.9.1.1. Descripción General

Los métodos habituales de combustión de los biomas particularmente siempre son: residuos de madera y bagazo de caña de azúcar. Estos se utilizan para producir vapor que han consistido en la utilización de caldera pirotubulares o acuotubulares, que utiliza un método de quema de pilas de residuos sobre una parrilla.

3.9.1.2. Tipos de caldera

Existen varios tipos de calderas de combustión de biomasa. Generalmente el tipo de caldera empleado son las tradicionales como parrillas fijas o móvil (temperaturas menores de 1000 °C); a continuación, se describen las más comunes:

- **Calderas pirotubulares:** Se emplean principalmente cuando se necesitan presiones de vapor de no más de 20 kg/cm² en operaciones pequeñas o medianas.
- **Calderas acuotubulares:** Las calderas acuotubulares constan de tubos soldados de tal suerte que constituyen paredes completas que encierran la cámara de combustión, a través de la cual fluye el agua que se va a calentar.
- **Quemadores de pilas:** como su propio nombre indica, queman el combustible en pilas sobre un pavimento o parrilla refractarios.
- **Quemadores en suspensión:** como su nombre indica, queman las partículas finas en suspensión, ya sea en unas cámaras especiales de combustión o en unos hogares de caldera, dentro de un ambiente muy turbulento provocado por el aire forzado de la combustión.
- **Quemadores de ciclón:** Estos quemadores funcionan igualmente que los quemadores en suspensión, la diferencia entre ambos radica en que emplean un tamaño máximo de partículas.
- **Calderas de astillas:** El pellet es un combustible de madera virgen seca y prensada en pequeños cilindros, sin aditivos.
- **Calderas de lecho fluidizado:** Estas son capaces de quemar combustible desmenuzado sin tratar, con niveles de humedad de hasta un 55-60 por ciento, en una zona mezcladora turbulenta encima de un lecho fluidizado de arena de sílice inerte.

(Maserá, Aguillón, & Gamino, 2005).

3.9.2. GASIFICADORES

Bajo el contexto de gasificadores se engloban las tecnologías en los métodos de combustión en las condiciones de defecto de oxígeno. En proporciones diversas según la composición de biomasa a utilizar y las características del proceso (Masera, Aguillón, & Gamino, 2005).

3.9.2.1. *Tipos de Gasificadores*

- **Gasificador de corriente ascendente o tiro directo:** La toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba. Cerca de la parrilla, en el fondo, tienen lugar las reacciones de combustión, que van seguidas de reacciones de reducción algo más arriba, en el gasificador.
- **Gasificadores de corriente descendente o tiro invertido:** Se ha encontrado una solución al problema del arrastre de alquitrán con la corriente de gas, diseñando gasificadores de tiro invertido o corriente descendente, en los cuales el aire de primera gasificación se introduce en la zona de oxidación del gasificador o por encima de ésta.
- **Gasificador de lecho fluidizado:** El funcionamiento de los gasificadores de tiro directo y de tiro invertido se ve afectado por las propiedades morfológicas, físicas y químicas del combustible.
- **Gasificados de tiro transversal:** Los gasificadores de tiro transversal, son una adaptación para el empleo de carbón vegetal.

(Masera, Aguillón, & Gamino, 2005).

3.9.3. BIODIGESTORES

Es un depósito cerrado de cualquier forma, tamaño y en el que se almacenan residuos orgánicos mezclados con agua que, al descomponerse en un ambiente anaeróbica, genera biogás. Definido por el diseño de la planta de acuerdo con el proceso ambiental y el uso del sistema.

3.9.3.1. Tipos de Digestores

Si tomamos en cuenta la forma de los digestores, existen 3 tipos que son los principalmente utilizados en plantas de producción de biogás.

- Plantas de globo: Este tipo de planta como su nombre lo menciona tiene forma de globo debido que su estructura en la parte superior tiene un digestor de bolsa y cuando se produce gas este se tiende a inflar y la entrada y la salida se encuentran en la superficie. Algunas de sus ventajas son, bajo costo, poca sofisticación de construcción, altas temperaturas de digestión, fácil limpieza, mantenimiento y vaciado. Aunque también tiene desventajas en las cuales tenemos, corto tiempo de vida útil, alta susceptibilidad a ser dañado y baja generación de empleo.
- Plantas de Domo Fijo: Las plantas de domo fijo consta de un recipiente fijo e inmóvil que se coloca en la parte superior del digestor. La mayor parte de la construcción del digestor es subterránea, solo queda en la superficie el domo, la entrada de la mezcla, la salida de biogás y la salida de la materia resultante de la biomasa. Algunas de las ventajas de este biodigestor son costos de construcción relativamente bajos y larga vida útil. Y sus principales desventajas son, problemas con la permeabilidad con los gases del recipiente de ladrillo, el mantenimiento lo tienen que hacer un técnico.
- Planta de Tambor Flotante: Las plantas de tambor flotante consisten es un digestor subterráneo y un recipiente móvil. El depósito flota encima de la materia orgánica cuando este, se encuentra lleno de gas y cuando está vacío el recipiente este tiende a bajar. Sus ventajas son, un fácil operación y manejo, su construcción es relevantemente fácil. Sus desventajas son las siguientes, altos costos de material para el tambor de acero, la susceptibilidad a la corrosión de las partes de acero y su vida útil es más corta.

3.10. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOMASA

3.10.1. METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DEL SECTOR AGROPECUARIO

Para la estimación del potencial energético de la biomasa residual del sector agropecuario, se utilizaron factores de conversión junto con el poder calorífico de cada uno de los subproductos obtenidos, tomando en cuenta también su densidad.

3.10.2. MODELO MEXICANO PARA LA ESTIMACIÓN DE GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RSU

Este modelo requiere que los usuarios ingresen datos específicos, como el año de apertura del vertedero, año de clausura, índice de disposición, precipitación promedio anual y la eficiencia del sistema de recolección (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

El modelo entrega automáticamente valores para el índice de producción de metano (k) y la generación potencial de metano (L0). El método utiliza una ecuación de deterioro de primer orden, que asume la producción de biogás después de cierto tiempo antes de la generación de CH₄. El modelo asume que: (a) el período es de un año desde la colocación de los residuos y el inicio de la Producción de biogás y (b) para cada unidad de los residuos después de un año disminuyen la producción exponencialmente, mientras que la parte orgánica de los residuos se consumen (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F)$$

Ecuación 3-Flujo de biogás máximo esperado

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

Dónde: Q_{LFG} : El flujo de biogás máximo esperado ($m^3/año$).

I = es el incremento en tiempo de 1 año

n = es el año de cálculo o año inicial de disposición de residuos.

j = es el incremento del tiempo en 0.1 años.

k =índice de generación de metano ($1/año$).

L_0 = es la generación potencial de metano (m^3/Mg).

M_i = es la masa de residuos disponibles en el año i (Mg).

t_{ij} = es la edad de las secciones j de la masa de residuos M_i .

Después del año i (años decimales).

MFC = es el factor de corrección del metano.

F = es el factor por incendios.

Con la ecuación 3 se puede estimar que Generación de biogás utilizando cantidades de residuos acumulado durante un año. Se están desarrollando proyecciones multianuales de variaciones de la proyección anual y posterior la iteración del Ecuación. El año de máxima generación suele ocurrir en el último año o el año siguiente (dependiendo del índice de disposición en los años Final) (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

A excepción de los otros valores k y L_0 requieren datos específicos del relleno sanitario en cuestión de producir las proyecciones, aunque el modelo mexicano tiene algunos valores que los provee automáticamente y estos pueden ser modificados con las características del sitio.

3.10.2.1. Índice de generación de metano (k)

Representa la tasa de biodegradación de primer orden a la cual el CH_4 es generado luego de la disposición de residuo en el sitio y está relacionado con el período de vida de los residuos de acuerdo con la ecuación: período = $\ln(2) / k$. Conforme el valor de k aumenta es cuando el relleno

sanitario está en sus primeros años y le siguen ingresados residuos y cuando clausuran el vertedero el valor de k disminuye gradualmente hasta que se acaban los residuos orgánicos.

La constante k depende de tres parámetros los cuales son: temperatura, disponibilidad de nutrientes, pH y humedad, siendo la humedad uno de los parámetros más importante dentro de RESA's ya que tiene mucha incidencia en la tasa de generación del gas y es el medio por el cual se transporta las bacterias y nutrientes cuando se da la infiltración de la lluvia a través de la cobertura del relleno. La presencia de la humedad en el relleno depende mucho del promedio anual de lluvia en el sitio y de la cobertura e impermeabilidad del RESA's, el sistema de recolección de lixiviado y la profundidad de los residuos.

En el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 se han asignado valores de k para las cuatro categorías de degradación: En el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0 se han asignado valores de k para las cuatro categorías de degradación: degradación de residuos muy rápida (DRR), degradación de residuos moderadamente rápida (DRMR), degradación de residuos moderadamente lenta (DRML), y degradación de residuos muy lenta (DRL), en cada una de las 5 regiones climáticas de México (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

Tabla 4-Valores del Índice de generación de metano (k)

Categoría de Residuo	Sureste	Oeste	Centro / Interior*	Noroeste	Noroeste & Interior Norte
DRR	0.300	0.220	0.160	0.150	0.100
DRMR	0.130	0.100	0.075	0.070	0.050
DRML	0.050	0.040	0.032	0.030	0.020
DRL	0.025	0.020	0.016	0.015	0.010

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

También hay rango de valores para k dependiendo la humedad del lugar. En sitios secos el de valor de k es 0.02 y en lugares húmedos es de 0.047. Las tasas más rápidas (k = 0,2 o una vida media cercana a los 3 años) están asociados a condiciones de gran humedad y de materiales altamente degradables, tal como, residuos alimenticios. Las tasas más lentas (k = 0,02 o una vida

media de cercana a los 35 años) están asociados a condiciones de sequedad y de materiales lentamente degradables, tales como la madera o el papel (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

3.10.2.2. Potencial de generación de metano (L0)

Este parámetro describe la cantidad total de metano que se puede generar por unidad de masa de residuo en caso de descomposición y depende casi exclusivamente de la composición de los residuos en la RESA, en particular de la fracción orgánica presente. Su valor se estima en base al contenido de carbono del residuo, la fracción de carbono biodegradable y el factor de conversión estequiométrico. Los valores teóricos de L0 varían entre 6.2 y 270 m3/Mg de residuos y los valores típicos de este parámetro están en el rango entre 125 y 310 m3/Mg de residuo.

Igual que la variable k a la variable Lo, en el Modelo Mexicano de Biogás Versión 2.0, se han asignado cuatro categorías de degradación en cada una de las 5 regiones climáticas de México. Estos varían de acuerdo a las características de los residuos de los sitios y se asume que permanecen constantes para todos los climas, excepto en la categoría 2 donde existe una variación con el clima debido a las diferencias en el tipo de vegetación local (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

Tabla 5-Valores de la Generación potencial de Metano (L0)

Categoría de Residuo	Sureste	Oeste	Centro / Interior*	Noroeste	Noroeste & Interior Norte
DRR	69	69	69	69	69
DRMR	115	126	138	138	149
DRML	214	214	214	214	214
DRL	202	202	202	202	202

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

Si se tiene información del lugar donde se instalará el RESA's, se puede estimar el valor de Lo con empleando la siguiente ecuación:

$$L_o = MCF * DOC * DOC_F * F * \frac{16}{12}$$

Ecuación 4-Generación potencial de Metano

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011)

L_o = Es el potencial de generación

MCF = Es el factor de corrección para el método

DOC = Es el carbón orgánico degradable

DOC_F = Es la fracción de carbono orgánica

F = Es la fracción de metano en el biogás

$\frac{16}{12}$ = Es la constante estequiométrica.

3.10.2.3. Factor de corrección de metano (MCF)

Se trata de un ajuste a la producción de biogás estimada en el modelo que tiene en cuenta el grado de degradación anaeróbica de los residuos. Su valor depende de la profundidad y naturaleza de la RESA según lo definido por las prácticas de gestión. La Tabla 3 resume los valores de MCF usados por el modelo (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

Tabla 6-Factor de corrección de metano (MCF)

Manejo del Sitio	Profundidad < 5 m	Profundidad \geq 5 m
Sin Manejo	0.4	0.8
Con Manejo	0.8	1.0
Semi-aeróbico	0.4	0.5
Condición Desconocida	0.4	0.8

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

3.10.2.4. Carbón orgánico degradable (DOC)

Su valor depende de la composición de los residuos, por lo que puede variar de ciudad en ciudad.

$$DOC = 0.40(A) + 0.17(B) + 0.15(C) + 0.30(D)$$

Ecuación 5-Carbono Orgánico Degradable

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

A= Es el porcentaje de los residuos que corresponde al papel, cartón y los textiles.

B= es el porcentaje de los residuos que corresponde a los desechos de jardín y de los parques u otros desechos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos).

C= es el porcentaje de los residuos que corresponde a los desechos de jardín y de los parques u otros desechos orgánicos putrescibles (excluidos los alimentos).

D= es el porcentaje de los residuos que corresponde a madera y paja.

3.10.2.5. Fracción de carbono orgánica (DOCF)

Esta es una porción de DOC que es convertida.

$$DOC_F = 0.014T + 0.28$$

Ecuación 6-Fracción de carbono orgánica

Fuente: (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

T= es la temperatura en °C

3.10.2.6. Fracción de metano en el biogás (F)

Su valor se asume en un 0.5, debido a que el biogás se compone principalmente en un 50% de CH₄ y un 50% de CO₂ con menos del 1% de otras constituyentes trazas (Aguilar, Gonzalez, & Benitez, 2011).

IV. METODOLOGÍA

4.1. ENFOQUE

El enfoque implementado para esta investigación es de carácter cuantitativo, ya que se sustenta de datos estadísticos para la estimación del potencial energético de biomasa de segunda generación. La información de los datos de producción de residuos proviene de los sectores de RSU y agropecuario. El enfoque cuantitativo de la investigación ayudara a la proyección de potencial energético de la biomasa residual, con el cual se pretende dimensionar la escala de posibles proyectos para su aprovechamiento, que pueden ser aplicables dentro de cada sector. A su vez servirá de base para implementar un análisis de emisiones de GEI, que ayudará a cuantificar los beneficios ambientales que podría generar el aprovechamiento de la biomasa residual dentro del sector energético.

4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

- Cifras de producción de sector agrícola
- Cifras de producción del sector pecuario
- Cifras de producción de RSU
- Procesos de transformación de la biomasa
- Potencial energético de biomasa residual
- Impacto ambiental por aprovechamiento de la biomasa residual
- Tipos de tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa
- Regiones del país con potencial energético a partir de biomasa residual

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para la elaboración de la investigación se implementó cada uno de los siguientes instrumentos y técnicas:

- Conocimientos adquiridos en las clases de Energía de Biomasa y Biocombustibles, Evaluación de Impacto Ambiental y Nuevas tecnologías Renovables.
- Modelo mexicano para la estimación de generación de biogás a partir de RSU, con el cual se realizó la proyección del potencial dentro del sector de RSU nacional.
- Microsoft Excel para el levantamiento de datos, creación de tablas y creación de gráficos.
- Microsoft Word para la redacción de avances del proyecto.

4.4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El proceso de la investigación comenzó con la obtención de los datos de producción, referentes a los sectores agrícola, pecuario y de RSU. Posterior a la obtención de la información requerida de cada sector, se procedió a la separación y reagrupación de los tres sectores. De esta manera se llegó a aplicar las metodologías para el cálculo de potencial energético, más afines con cada uno de ellos.

Para la estimación energética del sector de RSU, se implementó el Modelo mexicano para la estimación de generación de biogás a partir de RSU. En cuanto al sector agropecuario, se procesaron los datos de producción a través de factores de conversión, para poder obtener finalmente el potencial energético que este sector ofrece. Se implementó la herramienta de Microsoft Excel, que permitió la centralización de la base de datos obtenida y de la misma manera logro realizar la regionalización del potencial energético de los tres sectores.

Luego de dimensionar el potencial de energía de la biomasa residual presente en cada sector, se realizó una estimación de la escala de posibles proyectos y tecnologías aplicables dentro de cada uno de ellos, considerando la energía disponible en los departamentos con mayor potencial para su explotación.

Posterior al análisis técnico, se procede a la cuantificación de emisiones de GEI que se verán mitigadas, debido al aprovechamiento de la biomasa residual para la generación de energía eléctrica dentro del sector energético.

4.5. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

		Año 2021											
Mes		Enero				Febrero				Marzo			
Semana		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Actividades	Inicio de Periodo		■										
	Reunión de Introducción al PG			■									
	Portada			■									
	Autorización			■									
	Hoja de Firmas			■									
	Planteamiento del Problema			■									
	Reunión con Asesor Temático				■								
	Correcciones del Primer Avance				■								
	Reunión con Asesor Temático				■								
	Entrega del Primer Avance				■								
	Introducción				■								
	Marco Teórico					■	■						
	Reunión con Asesor Metodológico						■	■					
	Reunión con Asesor Temático						■	■					
	Metodología						■	■					
	Reunión con Asesor Temático						■	■					
	Correcciones del Segundo Avance						■	■					
	Entrega del Segundo Avance							■					
	Elaboracion de Analisis y Resulatdos								■	■			
	Reunion con Asesor Tematico									■	■		
	Reunion con Asesor Metodologico									■	■		
	Elaboracion de Tabla de coherencia metodologica									■	■		
	Desarrollo de Conclusiones										■		
	Desarrollo de Recomendaciones										■		
	Entrega del Tercer Avance										■		
	Dedicatoria y agradecimientos y Epígrafe											■	
Resumen Ejecutivo, Indices, Lista de siglas y glosario											■		
VIII. Aplicabilidad/Implementación, Bibliografía, Anexos												■	
Reunion con Asesor Tematico												■	
Entrega del Cuarto Avance												■	
Reunion con Asesor Tematico												■	
Entrega del Quinto Avance												■	

Ilustración 23-Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia.

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos utilizados para la elaboración de la investigación fueron obtenidos de fuentes nacionales como el Instituto Nacional de Estadística (INE), el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) y la Asociación de Productores de Azúcar de Honduras (APAH). Las bases de datos utilizadas fueron del período del 2019, exceptuando los datos de ganado obtenidos del INE que fueron utilizados para el periodo del 2008.

5.2. PRODUCCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA RESIDUAL DE CADA SECTOR

5.2.1. SECTOR AGRÍCOLA

5.2.1.1. *Cultivo de Caña de Azúcar*

En Honduras, la agroindustria relacionada con el cultivo de caña de azúcar genera anualmente más de 540 mil toneladas métricas de azúcar. De acuerdo con (APAH, 2018), el periodo de zafra del 2018-2019 obtuvo una producción de 10.9 millones de sacos de 50kg de azúcar procesada, lo que equivale aproximadamente a 4.5 millones de ton de caña cultivadas.

Es importante tomar en cuenta que el rubro azucarero de Honduras es una de las agroindustrias más importantes del país. Su actividad aporta el 4% del PIB agrícola, 3% del PIB industrial y 20% del PIB agroindustrial. Desde la perspectiva ambiental, la actividad azucarera es uno de los mayores productores de residuos, procedentes del proceso de fabricación del azúcar. El residuo del bagazo y la chaza, generan emisiones de gases tóxicos durante su fase de descomposición que pueden incurrir en daños a la salud humana.

Teniendo en cuenta que, por cada tonelada de caña cultivada, se estima una producción de 0.275 ton de bagazo y 0.0255 ton de cachaza (Tabla 7) para fines de este proyecto se decidió agregar la melaza a los subproductos generados por la caña de azúcar, debido al grado de sacarosa presente en ella.

Tabla 7-Generación de subproductos por ton de caña

Subproducto	Producción por ton de caña de azúcar	Unidad
Bagazo	0.2750	Toneladas
Melaza	0.0350	Toneladas
Cachaza	0.0255	Toneladas

Fuente: (SNV, 2008)

Como se observa en la Tabla 8 alrededor del 28% de la producción anual de caña corresponde al bagazo, el cual representa un potencial considerable para su aprovechamiento energético.

Tabla 8-Producción de Subproductos de caña de azúcar, 2019

Empresa	Toneladas de caña	Toneladas de azúcar	Toneladas de Bagazo	Toneladas de Melaza	Toneladas de Cachaza
CAHSA/AYSA	1,341,014.98	147,526.40	368,779.12	46,935.52	34,195.88
SER CHUBAGUA	694,127.40	76,361.65	190,885.03	24,294.46	17,700.25
AZUNOSA	626,720.05	68,946.10	172,348.01	21,935.20	15,981.36
LA GRECIA	1,002,689.27	110,306.85	275,739.55	35,094.12	25,568.58
ACHSA	445,286.38	48,986.40	122,453.75	15,585.02	11,354.80
CATV	829,785.20	91,285.50	228,190.93	29,042.48	21,159.52
Produccion Total	4,939,623.26	543,412.90	1,358,396.40	172,886.81	125,960.39

Fuente: Elaboración propia con datos de APAH.

5.2.1.2. *Cultivo de Café*

Honduras ocupa el primer lugar como productor de café a nivel Centroamericano, su cosecha se lleva a cabo en 15 de los 18 departamentos del país, contando con más de 105 mil productores a nivel Nacional. Según (IHCAFE, 2019) genera un aporte del 30% al PIB agrícola y un 5% al PIB total, y es uno de los sectores con mayor exportación con 8.9 millones de sacos distribuidos a más de 60 destinos a lo largo del mundo.

El cultivo de café tiene un periodo de cosecha de aproximadamente 2 meses, durante el cual es sometido a distintos procesos como el despulpado, lavado, secado y trillado. Durante estos procesos el café genera una gran cantidad de residuos tales como la pulpa, la cascarilla, el mucilago y el agua resultante del proceso de lavado, o comúnmente conocidas como aguas mieles.

Tabla 9-Generación de subproductos del cultivo de café

DEPARTAMENTO	PRODUCCION Kg	PULPA (kg)	CASCARILLA (kg)	MUCILAGO (kg)	AGUAS MIELES (kg)
Atlántida	1,207,467.00	219,079.19	50,713.61	2,738,486.9	4,177,835.8
Comayagua	148,416,831.00	26,928,304.57	6,233,506.90	336,603,436.0	513,522,235.3
Copan	141,229,940.00	25,624,336.62	5,931,657.48	320,303,854.7	488,655,592.4
Francisco Morazán	22,629,070.00	4,105,750.57	950,420.94	51,321,825.6	78,296,582.2
Ocotepeque	92,883,733.00	16,852,545.86	3,901,116.79	210,656,591.1	321,377,716.2
Yoro	34,088,533.00	6,184,921.16	1,431,718.39	77,311,429.3	117,946,324.2
El Paraiso	121,329,044.00	22,013,577.76	5,095,819.85	275,169,418.6	419,798,492.2
Cortes	12,371,025.00	2,244,561.66	519,583.05	28,056,989.9	42,803,746.5
Colon	728,987.00	132,265.21	30,617.45	1,653,313.4	2,522,295.0
Choluteca	433,245.00	78,606.67	18,196.29	982,582.3	1,499,027.7
Intibuca	55,685,000.00	10,103,319.35	2,338,770.00	126,291,352.6	192,670,100.0
Lempira	124,195,215.00	22,533,607.22	5,216,199.03	281,669,779.8	429,715,443.9
La Paz	57,374,791.00	10,409,909.95	2,409,741.22	130,123,731.0	198,516,776.9
Olancho	35,852,876.00	6,505,038.26	1,505,820.79	81,312,888.7	124,050,951.0
Santa Barbara	76,629,378.00	13,903,404.46	3,218,433.88	173,792,364.1	265,137,647.9
Producción Total	925,055,135.00	167,839,228.53	38,852,315.67	2,097,988,043.97	3,200,690,767.10

Fuente: Elaboración propia con datos del IHCAFE.

Como se observa en la tabla 9, la producción de café en Honduras para el 2019 fue de aproximadamente 925 millones de kg. Esto produjo alrededor de 5,505 mil millones de kg en subproductos como la pulpa, el mucilago del café, la cascarilla y aguas mieles. Esta cantidad de residuos representa un alto grado de contaminación ambiental debido a las emisiones de gases y sustancias generadas en la etapa de degradación.

Las aguas mieles son los subproductos con mayor volumen dentro del proceso de producción del café (ilustración 24), representando alrededor del 58.16% de los residuos generados. Al igual que el mucilago son de los subproductos más delicados, ya que su mal tratamiento genera un impacto ambiental altamente considerable.

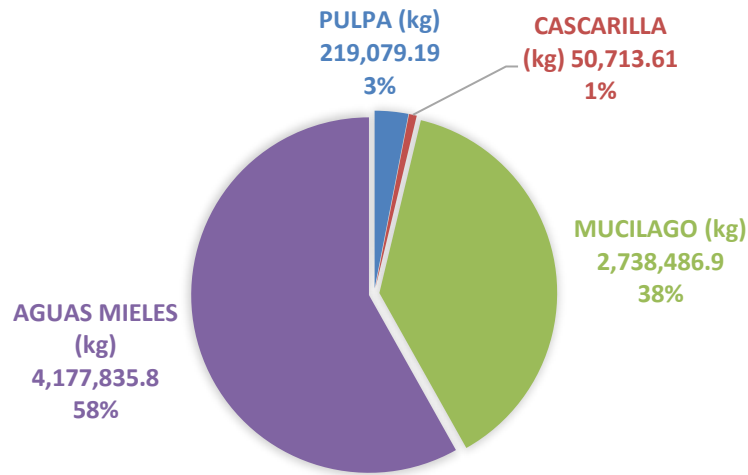


Ilustración 24- Porcentaje de Generación de subproductos del café.

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2. SECTOR PECUARIO

Debido a que no existe una base de datos actualizada, referente a la producción de ganado dentro del sector pecuario, para fines del estudio se trabajó con la base de datos del INE. En este informe se presentan datos hasta el año 2008, por lo cual se decidió implementar un método de estimación para poder estimar la producción de ganado para el 2019, para realizar esta estimación se decidió utilizar el método de estimación aritmética.

5.2.2.1. Método de Estimación Aritmético

Este método consiste en agregar un cierto número de residentes a la población en el último censo de cada período futuro. De hecho, este procedimiento de estimación de la población futura corresponde a una línea recta, donde la pendiente pertenece a la tasa de crecimiento aritmético del último período intercultural.

Lo primero que se realizó para la estimación de los datos, fue obtener cada una de las variables de la ecuación 7 que se muestra más adelante.

$$P_f = P_o + Ka (t_f - t_o)$$

Ecuación 7-Cálculo población futura Método Lineal

Fuente: (Cumbal Sánchez, 2013)

Dónde:

P_f = Es el dato del periodo deseado.

P_o = Es el dato del último censo.

t_f = Año del último censo.

t_o = Periodo deseado.

Ka = Pendiente de la recta.

Cada uno de los parámetros necesarios para la aplicación del método de estimación se tomaron de la "Encuesta agrícola nacional 2007-2008. Ganadería y otras especies animales".

Para el cálculo de la tasa de crecimiento aritmética se utiliza la ecuación 8.

$$Ka = \frac{P_f - P_o}{t_f - t_o}$$

Ecuación 8-Tasa de cambio de la población

Fuente: (Cumbal Sánchez, 2013)

P_o = Es el dato del primer censo.

t_o = Año del primer censo.

5.2.2.2. Ganado Bovino

En Honduras, el sector de ganado bovino ha mostrado una varianza en el número de cabezas de ganado a lo largo de los últimos años. Esto se debe a que se ha exportado de manera no oficial a países como Guatemala y México, lo cual ha venido a disminuir la producción dentro del sector nacional para el año 2019.

En la tabla 10 se presenta la producción de estiércol por cabezas de ganado bovino, este tipo de ganado es uno de los mayores generadores de estiércol, lo cual está directamente relacionado a su masa corporal. Una vaca promedio pesa alrededor de 356.6 kg, (Fundación Energía sin Fronteras, 2012) estima un promedio de 0.07kg de estiércol diario, lo cual otorga una media de 24.75 kg de estiércol diario por cabeza. Para el 2019, se estima una población de 1,860,367 cabezas de ganado bovino, con un total generado de 44,768,402.57 kilogramos de estiércol al día. Los residuos orgánicos producidos por el ganado liberan una gran cantidad de contaminantes a la atmosfera, esta contaminación se produce en la etapa de degradación de la materia, ya que el estiércol, durante su proceso descomposición genera emisiones de gas metano, el cual es de 21 a 30 veces más perjudicial que el CO2.

Tabla 10-Producción de Estiércol de ganado bovino, 2019

Departamento	Cabezas de Ganado	Produccion de Estiercol (Kg/dia)
La Mayor parte de Olancho	441,312.08	10,923,356.72
El Paraiso, partes de Olancho y Francisco Morazan	211,890.54	5,244,714.76
Ocatepeque, Copan, parte de Santa Barbara y Lempira	201,387.70	4,984,748.29
Choluteca y Valle	270,919.60	6,705,801.92
Comayagua, La Paz, parte de Francisco Morazan	117,622.56	2,911,393.51
Cortes Parte de Santa Barbara, Atlantida y Yoro	292,838.20	7,248,331.23
Colon, parte de Atlantida y Yoro	272,707.50	6,750,056.14
Total		44,768,402.57

Fuente: Elaboración Propia.

5.2.2.3. *Ganado Porcino*

Para el año 2019, el ganado porcino experimento un incremento en la producción de carne en un 11% a nivel nacional, este incremento se debe a la cantidad de cabezas de ganado de cerdo que se ha estado importando estos últimos años, como iniciativa del gobierno para el beneficio de los productores. En su totalidad todos los cerdos criados en el país se utilizan para el destazo y consumo de la carne a nivel nacional.

Tabla 11-Producción de Estiércol de ganado porcino, 2019

Año	Porcino	Producción de estiércol (kg/día)
2019	478,238.00	1,817,304.40

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 11, se puede observar la cantidad estimada de ganado porcino en el país para el año 2019 y la producción de estiércol generado para el mismo año, que es de 1,817,304.40 kilogramos día.

5.2.2.4. *Ganado Avícola*

En el país el ganado avícola es uno de los que mayor nivel de crianza, debido a que está destinado para el consumo de la carne y producción de huevos. Un aspecto importante es que es un aganado de menor tamaño, en relación con el ganado bovino y porcino, por lo que, debido a su baja masa corporal, su generación de estiércol es menor en comparación. Al ser aves pequeñas, producen 0.1kg estiércol al día, también se debe de considerar que la recolección del estiércol suele complicarse, debido a su volumen.

Tabla 12-Producción de Estiércol de ganado porcino, 2019

Año	Aves	Produccion de estiércol (Kg/dia)
2019	25,571,341.60	2,557,134.16

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 12 se muestra la producción total del ganado avícola y estiércol generado, para el 2019 se produjeron un total de 25,572,341.60 aves y se obtuvo una producción de 2,557,134.16 kilogramos de estiércol diario.

5.2.3. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Honduras cuenta con una tasa de crecimiento poblacional del 1.6 % lo cual representa un incremento de 9,023,838 habitantes para el 2018 a 9,151,940 para el 2019. Este incremento en la población trae consigo un alza en la generación de RSU. Para el 2016, el Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras realizo un diagnóstico sobre la situación de la gestión de

RSU en el país, en este informe se calcula que cada individuo genera diariamente alrededor de 0.65 kg de residuos, aproximadamente 19.5 kg al mes.

Tabla 13-Generación de RSU por Departamento, 2019

Departamento	Población	Promedio de Generación de RS (Kg/Habitante/ Persona)	Estimación por generación (t/año) de RS	Estimación por generación (t/año) de RS Organicos	Estimación por generación (t/año) de RS Papel, Carton y Textiles	Estimación por generación (t/año) de RS Forestales
Atlántida	471,575	0.65	111,881.17	64,779.20	23,148.21	1,219.50
Choluteca	464,372	0.65	110,172.26	63,789.74	22,794.64	1,200.88
Colón	335,233	0.65	79,534.03	46,050.20	16,455.59	866.92
Comayagua	541,711	0.65	128,520.93	74,413.62	26,590.98	1,400.88
Copán	400,947	0.65	95,124.68	55,077.19	19,681.30	1,036.86
Cortés	1,718,881	0.65	407,804.52	236,118.82	84,374.75	4,445.07
El Paraíso	480,700	0.65	114,046.08	66,032.68	23,596.13	1,243.10
Francisco Morazán	1,625,663	0.65	385,688.55	223,313.67	79,798.96	4,204.01
Gracias a Dios	100,304	0.65	23,797.12	13,778.53	4,923.62	259.39
Intibucá	255,685	0.65	60,661.27	35,122.87	12,550.82	661.21
Islas de la Bahía	71,296	0.65	16,914.98	9,793.77	3,499.71	184.37
La Paz	217,204	0.65	51,531.65	29,836.82	10,661.90	561.69
Lempira	351,652	0.65	83,429.44	48,305.64	17,261.55	909.38
Ocatepeque	159,816	0.65	37,916.35	21,953.56	7,844.89	413.29
Olancho	562,626	0.65	133,483.02	77,286.67	27,617.64	1,454.96
Santa Bárbara	455,891	0.65	108,160.14	62,624.72	22,378.33	1,178.95
Valle	185,227	0.65	43,945.11	25,444.22	9,092.24	479.00
Yoro	613,473	0.65	145,546.47	84,271.41	30,113.56	1,586.46

Fuente: Elaboración Propia con Datos de Mi Ambiente.

Para la elaboración del cálculo de producción promedio de RSU en el país (tabla 13), para el año 2019, se realizó un ajuste a los promedios de generación de residuos expuesto en el informe de la ONU. El ajuste del valor promedio se basó en las cifras de generación de cada uno de los municipios estudiados, y se obtuvo un promedio de generación para cada uno de los 18 departamentos.

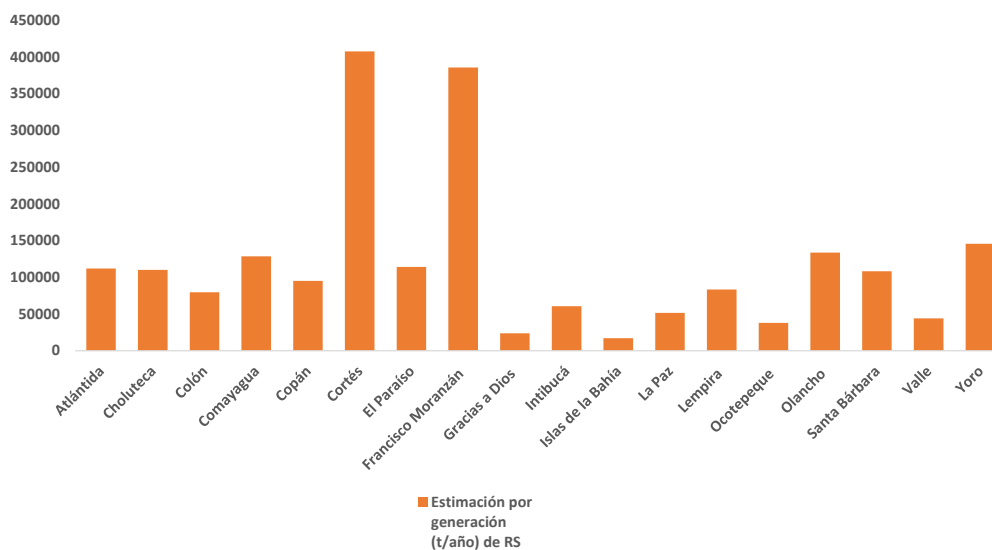


Ilustración 25-Generación de RSU en Honduras, 2019

Fuente: elaboración Propia.

Como se puede observar en la Ilustración 25, los departamentos con mayor generación de RSU son los departamentos de Cortés y Francisco Morazán. Este comportamiento se debe al nivel de actividad industrial, densidad poblacional y grado de actividad de las zonas.

5.2.4. CLASIFICACIÓN DE LA BIOMASA

El objetivo general del estudio se basa principalmente en determinar el potencial energético que presenta la biomasa residual de tres de los sectores con mayor relevancia a nivel nacional, por lo que la clasificación se estructuró en relación a su origen. Como se definió en la sección 3, la biomasa residual suele subclasificarse por el estado en la cual se presenta, que puede ser en estado sólido o líquido.

En la tabla 14 encontramos la clasificación de la biomasa residual de los tres sectores seleccionados para el análisis. Como se puede observar, en su mayoría se presenta en estado sólido a excepción de la melaza de caña de azúcar y las aguas mieles resultantes del lavado del café.

Tabla 14-Clasificación de la Biomasa Residual según su Estado

Sector	Residuo	Tipo de Biomasa
Agrícola	Pulpa de café	Sólida
	Casacarilla de café	Sólida
	Mucílago	Sólida
	Aguas Mieles	Líquida
	Bagazo de caña de azúcar	Sólida
	Melaza de caña de azúcar	Líquida
	Cachaza de caña de azúcar	Sólida
Pecuario	Estiércol Bovino	Sólida
	Estiércol Porcino	Sólida
	Estiércol Avícola	Sólida
RSU	Orgánico	Sólida
	Textil	Sólida
	Pales	Sólida
	Cartón	Sólida
	Forestales	Sólida

Fuente: Elaboración Propia.

5.3. PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE BIOMASA APLICABLES

Para determinar los procesos de transformación de la biomasa residual, que presenta cada uno de los diferentes sectores, se consideró tanto la clasificación de la biomasa como su composición química.

Para el sector agrícola, se tuvo en consideración el hecho de que cada uno de los cultivos genera dos o más tipos de residuos, donde estos pueden dar como resultado de distintos procesos, una gran variedad de productos energéticos. En la tabla 15 se muestra una síntesis de los procesos de transformación de la biomasa residual provenientes de los sectores considerados, junto con el poder calorífico que presenta cada uno de los productos finales obtenidos.

Tabla 15-Procesos de Transformación de Biomasa

Sector	Residuos	Proceso de Transformación	Producto Final	Poder Calorífico	Referencias
Agrícola	Bagazo de caña de azúcar	Combustión	Calor	7.74 MJ/kg	(SNV, 2008)
		Hidrólisis	Bioetanol	26.773 MJ/kg	(Zumalacárregui-De Cárdenas, Rodríguez-Ramos , Pérez-Ones , & Lombardi , 2015)
	Melaza de caña de azúcar	Fermentación anaeróbica	Bioetanol	26.773 MJ/kg	
	Cachaza	Combustión	Calor	8.00 MJ/kg	(Garcés Paz & Martinez Silva)
	Pulpa de café	Combustión	Calor	15.88 MJ/kg	(Rodriguez Valencia & Zambrano Franco, 2010)
		Digestión anaeróbica	Biogás	21.46 KJ/L	
		Fermentación anaeróbica	Bioetanol	21.98 MJ/L	
	Cascarilla de café	Combustión	Calor	17.9 MJ/kg	
Aguas Mieles	Digestión anaeróbica	Biogás	2.00 MJ/kg		
Mucílago de café	Fermentación anaeróbica	Bioetanol	1.30 MJ/kg		
Pecuario	Estiércol	Digestión anaeróbica	Biogás	18.852 MJ/m3	
RSU	Orgánicos	Digestión anaeróbica	Biogás	21.34 MJ/kg	(MADRIGAL PÉREZ, QUISPE SAAVEDRA, & VARGAS HUAMAN, 2018)
	Papel y cartón				
	Textil				
	Forestal				

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, dentro de los residuos derivados del sector agrícola se dispone de una mayor variedad de biomasa con potencial aprovechable en diferentes tipos de productos finales. Esta variedad está relacionada directamente al tipo de biomasa que genera cada uno de los cultivos, y las propiedades físicas y químicas de cada uno de ellos como se discute en las secciones posteriores. Sin embargo, no todos los productos generados ofrecen altos niveles de energía por lo cual fue necesario seleccionar aquellos procesos, que generan el mayor potencial energético posible para su aprovechamiento.

5.3.1. SECTOR AGRÍCOLA

5.3.1.1. *Bagazo de Caña de Azúcar.*

En el caso del cultivo de caña de azúcar, uno de los residuos con mayor volumen de generación es el bagazo. Este tiene potencial para la generación tanto de calor como para la síntesis de bioetanol.

Este subproducto de la caña de azúcar posee una composición química de 47%C, 6.5% H y 44% O, contando con un grado de humedad del 50%. Esto otorga al bagazo la cualidad de ser una buena opción para la generación de calor, por procesos de combustión directa debido al alto contenido de oxígeno y carbono en su estructura.



Ilustración 26-Bagazo de caña de azúcar

Fuente: (APAH, s.f.).

Sin embargo, luego de la última molienda, dentro de su composición aún queda presente entre el 2% y 4% de azúcar, lo que puede otorgarle un potencial para la generación de bioetanol. Considerando que el bagazo es una biomasa sólida, para poder obtener bioetanol, tiene que someterse a un proceso de hidrólisis para acelerar su periodo de degradación. Sin embargo, a pesar de poseer un mayor poder calorífico para el bioetanol, hay que considerar el rendimiento del proceso. Para una tonelada de biomasa, destinada a la producción de etanol solamente se obtienen 186 L de este producto, un equivalente de 146.75 kg de etanol.

Esto nos da como resultado un aprovechamiento únicamente del 14.68%, a diferencia del proceso de combustión directa el cual nos permite un aprovechamiento total de la biomasa disponible.

5.3.1.2. *Melaza de caña de azúcar*

Este subproducto contiene un alto nivel de sacarosa que varía desde un 30 a un 40 por ciento, por lo que es una biomasa óptima para la generación de bioetanol mediante procesos de fermentación alcohólica. De igual manera posee hasta un 83% de materia sólida, de un 2.5 a 4.5% de compuestos nitrogenados y alrededor de 0.4 a 1.5% de nitrógeno.

En la actualidad, el aprovechamiento de la melaza para fines energéticos se lleva a cabo únicamente por este método.



Ilustración 27-Melaza de caña de azúcar

Fuente: (APAH, s.f.).

En Honduras, la melaza es ampliamente utilizada para alimento de ganados, esta se mezcla junto con el zacate de corta o el tallo de maíz, aportando una gran cantidad de nutrientes. De igual manera, la melaza es utilizada en el sector alimenticio ya que de ella se elaboran los cubos de panela compacta o granulada.

5.3.1.3. *Cachaza*

La cachaza es un subproducto obtenido de la industrialización de la caña de azúcar, este subproducto de la caña es recolectado de los filtros al vacío y filtros de prensas, después del proceso de clarificación del jugo de la caña de azúcar. La cachaza está compuesta principalmente

de sacarosa, azúcares simples, coloides coagulados, cera, fibra de caña, partículas de suelo y una importante presencia de elementos minerales.

Como lo indica la tabla 15, la cachaza posee un poder calorífico de 8 MJ/Kg, el cual se puede aprovechar en producir energía por medio combustión directa, debido que tiene un mayor poder calorífico que el bagazo.



Ilustración 28-Cachaza de caña de azúcar

Fuente: (APAH, s.f.).

En Honduras, la cachaza se utiliza como fertilizantes, ya que les ofrece mucho nutriente a los cultivos en los que se implementa, como ser: fósforo, calcio, nitrógeno y en menos proporción de potasio. Además, contiene más del cincuenta por ciento de materia orgánica por lo que a menudo se utiliza para rellenar tierras bajas.

5.3.1.4. Pulpa de Café

La pulpa de café es uno de los residuos con menor volumen de generación, sin embargo, constituye aproximadamente el 44% del peso del fruto. La pulpa se genera durante el proceso de despulpado, el cual consiste en separar el grano de la pulpa en un medio húmedo.

Este subproducto del café posee un alto grado de humedad, el cual va desde el 76% al 80%, y en base seca está constituida hasta en un 89% de materia orgánica. Gracias a estas propiedades, la pulpa del café posee el potencial de generación de calor por procesos de combustión directa,

producción de biogás por procesos como la digestión anaeróbica, al igual de un potencial para la generación de etanol por procesos de fermentación anaeróbica.



Ilustración 29-Pulpa del café

Fuente: (Zamorano, 2016).

Como se muestra en la tabla 15, la pulpa ofrece una mayor generación de energía a través de procesos de combustión directa debido al alto poder calorífico que este posee. Sin embargo, hay que tener en cuenta que para poder utilizar la pulpa del café como combustible directo se necesita someterlo a un proceso de secado previo a su utilización. Según (Rodríguez, 2013) el secado mecánico de la pulpa del café consume alrededor de 36.92 MJ.kg^{-1} . Si se considera que el poder calorífico de la pulpa es de $15.883 \text{ MJ.kg}^{-1}$ esto nos otorga un flujo negativo de energía de $21.077 \text{ MJ.kg}^{-1}$, por lo cual su aprovechamiento a partir de este proceso resulta poco factible desde el punto de vista de la generación energética.

Sin embargo, si se considera la producción de biogás a partir de este subproducto del café, se puede observar que se puede obtener 21.46 kJ por cada litro de biogás obtenido, considerando que de 1 kg de pulpa en base húmeda obtenemos 25 L de biogás, la energía total generada por cada kilogramo es de 536.5 kJ .

En el caso de la producción de etanol, obtenemos un poder calorífico de 21.98 MJ/L lo que cual es bastante alto en relación con los productos obtenidos de los demás procesos. Para la producción de etanol, se implementa el proceso de fermentación anaeróbica de los medios

azucarados de la pulpa, a través de este proceso se obtienen alrededor de 20 L de etanol por 1 libra de café.

5.3.1.5. *Cascarilla de Café*

Según (CNP+LH, 2010) la cascarilla del café es la capa delgada que se separa del grano de café después de secarlo y trillarlo. Esta parte del fruto corresponde al 4.2% del peso total, al final del proceso se obtiene un producto completamente seco, con excelentes propiedades que lo hacen un buen combustible.

En Honduras, este residuo se dispone en vertederos por lo cual su potencial está siendo desperdiciado por los cafetaleros. Una de las maneras más recomendables para el aprovechamiento de este residuo, es su quema a través de calderas ya que cuenta con un alto poder calorífico.



Ilustración 30-Cascarilla del café

Fuente: (GOMEZ POSADA, 2019).

Por cada kg de cascarilla quemado, se obtienen alrededor de 17.9 MJ, tomando en cuenta que por cada tonelada de café se generan 42 kg de cascarilla se calcula una producción alrededor de los 752 MJ por cada tonelada de café producida.

5.3.1.6. *Mucílago de Café*

El mucílago es una sustancia viscosa, de mayor o menor transparencia que se encuentra normalmente entre los espacios de la semilla del café. Este es considerado un residuo sólido del

proceso de tratamiento del café, y es removido en un medio húmedo a través de un proceso de desmucilaginado, que consiste en separar la semilla de la fina capa de esta membrana.

Este residuo está compuesto principalmente por una parte de agua, azúcares, sustancias pécticas y levaduras, lo cual lo vuelve una excelente opción para la elaboración de bioetanol. La obtención del bioetanol es a través del proceso de fermentación anaeróbica.



Ilustración 31-Mucílago extraído del grano de café

Fuente: (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010).

5.3.1.7. Aguas Mieles del Café

Las aguas mieles se consideran como residuo líquido, este residuo es uno de los que generan un mayor impacto ambiental en el procesamiento del café, por consecuencia del alto consumo de agua en los beneficios de café. Las aguas mieles son una serie de combinación de agua y fracciones de pulpa y mucilago.

Se generan principalmente en las etapas de despulpado y lavado o desmucilago del café, de acuerdo a estadísticas de productores hondureños, se producen 2.2 kg de pulpa por cada kilogramo de café oro y un promedio de volumen de 2 m³ de aguas mieles por TM de pulpa.

5.3.2. SECTOR PECUARIO

Dentro de este sector, se consideraron tanto los desechos provenientes de estiércol de ganado bovino, porcino y avícola. Debido a las concentraciones de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo, y al alto índice de la comunidad bacteriana que posee este tipo de biomasa, el proceso de digestión anaeróbica resulta ser el más óptimo para su aprovechamiento energético.

Como se muestra en la tabla 15, el poder calorífico del biogás que se extrae de este proceso es de 18.852 MJ/Kg. Sin embargo, hay que considerar que por cada kg de estiércol introducido al biodigestor se extrae un equivalente de 0.02158 m³ de biogás.



Ilustración 32-Estiércol de Ganado Bovino

Fuente: (INMACORE, 2021).

Actualmente en el país, parte del estiércol de los diferentes tipos de ganado que existen, son utilizados en forma de abono orgánico para el crecimiento de distintos cultivos. Por otra parte, existen muchas granjas que no cuentan con un sistema de recolección de estiércol en sus establos.

5.3.3. SECTOR DE RSU

Para el análisis de procesos de transformación de los RSU en energía, se tomó en cuenta la composición de la fracción de desechos considerados para la investigación. Como se mencionó en la sección 5.2.3. dentro de los residuos tenemos desechos orgánicos (que incluyen desechos de alimentos), residuos de papel, cartón y la industria textil, así como residuos forestales.



Ilustración 33-Ejemplo de RESA en Comayagua, Honduras

Fuente: (El Heraldo, 2014).

Teniendo en cuenta que el proceso más utilizado para el aprovechamiento energético de los RSU es la digestión anaeróbica, debido a alta fracción orgánica existente en los vertederos. Se considera que más del 70% de la composición de los RSU del país tiene un alto grado de degradación que favorece a la producción de biogás. Para la obtención del biogás a partir de RSU se utiliza el proceso de digestión anaeróbica que promueve la degradación natural de la fracción de biomasa orgánica de los RSU.

5.4. POTENCIAL ENERGÉTICO DE CADA SECTOR

5.4.1. SECTOR AGRÍCOLA

5.4.1.1. Potencial de generación de productos

Para realizar el cálculo del potencial energético del sector agrícola, se consideraron los productos finales obtenidos por la biomasa residual de cada uno de los cultivos. Como se mencionó, de los residuos de la caña de azúcar, se pueden obtener tanto combustibles sólidos como el bagazo y la cachaza, los cuales son aprovechados para quema directa obteniendo calor como fuente de energía. Combustibles líquidos como el bioetanol utilizado ampliamente en motores de combustión adaptados y sistemas de calefacción, y combustibles gaseosos como el biogás utilizado como sustituto del gas licuado de petróleo (LPG) o para la generación de electricidad.

Para determinar el potencial de cada uno de los combustibles mencionados, se tomó en cuenta el rendimiento del proceso de obtención. Para el caso de la melaza, se define que, por cada tonelada de melaza obtenida del proceso, se obtienen 9 litros de etanol por lo que se estima un rendimiento del proceso es de 0.9%. Para el bagazo, el proceso de combustión directa permite aprovechar al máximo la energía contenida en la biomasa, sin embargo, para la obtención de etanol tenemos un rendimiento del 18.6%, debido a que por cada tonelada de bagazo al 50% de humedad obtenemos 186 L de etanol. En cuanto al residuo de la cachaza, al igual que el bagazo es destinado a procesos de combustión donde toda su energía es aprovechada.

Tabla 16-Potencial de generación de combustibles a partir de biomasa residual de caña de azúcar

Empresa	Melaza	Bagazo		Cachaza
	Bioetanol (L)	Kg de Bagazo	Lts de Bioetanol	Kg de Cachaza
CAHSA/AYSA	422,419.72	368,779,118.40	68,592,916.02	34,195,881.89
SER CHUBAGUA	218,650.13	190,885,034.59	35,504,616.43	17,700,248.66
AZUNOSA	197,416.82	172,348,013.48	32,056,730.51	15,981,361.25
LA GRECIA	315,847.12	275,739,548.29	51,287,555.98	25,568,576.30
ACHSA	140,265.21	122,453,753.40	22,776,398.13	11,354,802.59
CATV	261,382.34	228,190,928.63	42,443,512.72	21,159,522.47
Produccion Total	1,555,981.33	1,358,396,396.78	252,661,729.80	125,960,393.16

Fuente: Elaboración Propia.

Como se observa en la tabla 16, uno de los combustibles finales con mayor generación son los combustibles sólidos (bagazo y cachaza). Esto se debe al grado de obtención que presenta el bagazo, ya que es el residuo con mayor volumen de producción a lo largo del proceso de generación de azúcar, debido a que representa el 28.5% del peso total de la caña. Otro de los factores que influye, es que los combustibles como el etanol y el biogás son combustibles obtenidos de procesos aplicados a la biomasa de segunda generación, en este caso el bagazo y la melaza. La producción de estos combustibles depende de la generación de los residuos y el rendimiento del proceso físico-químico al cual se somete la biomasa residual.

Para el cultivo del café, se consideraron los combustibles directos como la cascarilla del café, y combustibles como el etanol y el biogás como resultado de los procesos de transformación aplicados a la pulpa, mucílago y aguas mieles.

En el caso de la pulpa del café, solo se consideró su potencial para la generación de etanol y biogás debido a la alta demanda de energía necesaria en el proceso de secado de esta. Sin embargo, los rendimientos obtenidos para los procesos de obtención de etanol y biogás son de 1.98% y 3.13% respectivamente. Para el cálculo referente a la producción de calor a partir de la cascarilla del café, al igual que el bagazo, se consideró el total de kg de cascarilla originada.

Para el cálculo del rendimiento del mucílago, se tomó en cuenta que, por cada kilogramo de mucílago fresco se obtienen alrededor de 58.37 ml de etanol, lo cual nos genera un rendimiento del proceso de 4.61%. Y finalmente para las aguas mieles, que contienen concentraciones principalmente de mucílago y pulpa de café, obtenemos un rendimiento para la generación de biogás del 15.87%.

Tabla 17-Potencial de generación de combustibles a partir de biomasa residual del café

DEPARTAMENTO	PULPA		CASCARILLA	MUCÍLAGO	AGUAS MIELES
	Biogás (L)	Etanol (L)	Combustible sólido (kg)	Etanol (L)	Biogás (L)
Atlántida	5,476,979.75	5,514.22	50,713.61	159,845.48	530,501,592.42
Comayagua	673,207,614.15	677,785.43	6,233,506.90	19,647,542.56	65,207,053,433.31
Copan	640,608,415.59	644,964.55	5,931,657.48	18,696,136.00	62,049,487,122.95
Francisco Morazán	102,643,764.34	103,341.74	950,420.94	2,995,654.96	9,942,100,007.76
Ocotepeque	421,313,646.61	424,178.58	3,901,116.79	12,296,025.22	40,808,542,400.54
Yoro	154,623,029.05	155,674.47	1,431,718.39	4,512,668.13	14,976,824,244.38
El Paraiso	550,339,443.91	554,081.75	5,095,819.85	16,061,638.97	53,306,012,544.64
Cortes	56,114,041.57	56,495.62	519,583.05	1,637,686.50	5,435,219,730.57
Colon	3,306,630.36	3,329.12	30,617.45	96,503.90	320,281,021.64
Choluteca	1,965,166.83	1,978.53	18,196.29	57,353.33	190,346,537.35
Intibuca	252,582,983.63	254,300.55	2,338,770.00	7,371,626.25	24,465,249,298.00
Lempira	563,340,180.60	567,170.89	5,216,199.03	16,441,065.05	54,565,267,066.42
La Paz	260,247,748.87	262,017.43	2,409,741.22	7,595,322.18	25,207,660,325.68
Olancho	162,625,956.57	163,731.81	1,505,820.79	4,746,233.31	15,751,989,752.90
Santa Barbara	347,585,111.40	349,948.69	3,218,433.88	10,144,260.29	33,667,178,527.80
Producción Total	4,195,980,713.22	4,224,513.38	406,585,025,484.16	122,459,562.13	406,423,713,606.36

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 17 se muestra que el mayor grado de producción de biocombustibles está representado en la producción de residuos de cascarilla de café, y el biogás generado a partir de las aguas mieles. Como se sabe la cascarilla del café representa el 4.2% del peso del fruto, a pesar de que el cisco supera este valor, el rendimiento del proceso aplicado a cada tipo de residuo aporta al incremento en la generación de cada uno. Esto mismo sucede para la generación de biogás por digestión anaeróbica de las aguas mieles, y esto se debe a que el agua ayuda a acelerar el proceso de degradación y activar las bacterias presentes en este tipo de biomasa residual.

5.4.1.2. *Energía Total Disponible en el Sector Agrícola*

Para realizar el cálculo de la energía disponible dentro del sector agrícola, se procedió a utilizar el poder calorífico de cada uno de los productos finales de los procesos de transformación considerados en la *sección 5.3*.

Donde:

$$ED = PC * Q$$

Ecuación 9-Energía Disponible

Fuente: (BASÉS, 2016).

Siendo:

ED: Energía Disponible.

PC: Poder calorífico del Producto energético.

Q: El flujo de biomasa residual disponible.

En la tabla 18 se muestra la energía disponible para el sector agrícola, proveniente de la biomasa residual generada por los cultivos de café y caña de azúcar. Como se puede observar, el mayor potencial de energía se encuentra a través del proceso de combustión directa, aplicado a la biomasa sólida del bagazo y la cachaza de la caña de azúcar en conjunto con la cascarilla del café. Para la producción de biogás se consideró la biomasa sólida de la pulpa de café y las aguas mieles generadas durante el proceso. Para la energía disponible por producción de bioetanol se consideró la biomasa sólida proveniente del mucilago y pulpa de café, el bagazo y la melaza de

la caña de azúcar. A través del aprovechamiento de esta biomasa residual, se obtiene un potencial de energía de alrededor de los 12,217 millones de MJ para el 2019.

Tabla 18-Energía Disponible proveniente del sector agrícola de Honduras, 2019

Departamento	Combustible Sólido (MJ)	Biogás (MJ)	Etanol (MJ)
Atlántida	907,773.69	1,326,400.90	259,911.38
Choluteca	3,377,888,177.04	475,919.06	1,576,242,591.14
Colón	548,052.43	800,791.25	156,916.93
Comayagua	111,579,773.55	163,035,692.38	31,947,227.90
Copán	106,176,668.89	155,140,902.13	30,400,225.16
Cortés	3,137,365,479.76	13,589,554.59	1,462,383,496.40
El Paraíso	91,215,175.28	133,279,794.22	26,116,489.58
Francisco Morazán	1,952,577,778.53	24,858,003.44	908,108,127.13
Gracias a Dios	-	-	-
Intibucá	41,863,983.00	61,169,898.78	11,986,385.73
Islas de la Bahía	-	-	-
La Paz	43,134,367.87	63,026,131.96	12,350,119.00
Lempira	93,369,962.64	136,428,279.27	26,733,442.64
Ocotepeque	69,829,990.47	102,032,657.74	19,993,539.59
Olancho	26,954,192.18	39,384,336.82	7,717,453.56
Santa Bárbara	1,676,738,477.40	84,177,270.29	772,065,756.78
Valle	-	-	-
Yoro	1,487,521,212.61	37,446,208.37	689,534,498.86

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2. SECTOR PECUARIO

5.4.2.1. *Potencial de generación de productos*

Para realizar la estimación del biogás generado a partir de estiércol animal, se consideraron valores promedios para la masa volátil (MV) y la masa seca (MS), estos parámetros definen la cantidad de materia orgánica real y el porcentaje de sólidos presentes en el estiércol animal respectivamente. La producción de biogás se define por la cantidad de masa volátil ya que esta es la que lo produce al degradarse. La masa volátil se mide en porcentajes en relación con la masa seca.

Por lo tanto, la producción de biogás por estiércol animal se ve presentada por la siguiente ecuación:

$$\text{Biogás generado} = \frac{\text{Estiercol}}{\text{día}} \times \%MS \times \%MV \times \frac{m^3 \text{ biogás}}{kg \text{ MV}}$$

Ecuación 10-Producción de Biogás diario

Fuente: (BASÉS, 2016).

En el caso de la estimación de biogás para el ganado bovino (Tabla19) se consideraron valores de 8% y 83% para MS y MV respectivamente. De la misma manera, para la emisión de m³ de biogás por kg de MV se utilizó un valor promedio de 0.325, con lo cual se estimó una generación de 0.534 m³ de biogás por cabeza de ganado.

Tabla 19-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado bovino

Departamento	Cabezas de Ganado	Biogas producida (m3/dia)
La Mayor parte de Olancho	441,312.08	235,726.04
El Paraiso, partes de Olancho y Francisco Morazan	211,890.54	113,180.94
Ocotepeque, Copan, parte de Santa Barbara y Lempira	201,387.70	107,570.87
Choluteca y Valle	270,919.60	144,711.21
Comayagua, La Paz, parte de Francisco Morazan	117,622.56	62,827.87
Cortes Parte de Santa Barbara, Atlantida y Yoro	292,838.20	156,418.99
Colon, parte de Atlantida y Yoro	272,707.50	145,666.21
Total		966,102.13

Fuente: Elaboración Propia.

Para la estimación de biogás por estiércol de ganado porcino (tabla 20), se utilizaron valores para MS de 22.47% y para MV de 90.43%, en el caso de la generación de biogás por MV se mantuvo el valor de 0.325. Considerando estos parámetros se obtuvo una producción de 0.251 m³ de biogás por cabeza.

Tabla 20-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado porcino

Año	Porcino	Biogas Producido (m3/dia)
2019	478,238.00	120,012.54

Fuente: Elaboración Propia.

Para la estimación de biogás por estiércol de ganado avícola (tabla 21), se utilizaron valores para MS de 11% y para MV de 80%, en el caso de la generación de biogás por MV se mantuvo el valor de 0.325. Considerando estos parámetros se obtuvo una producción de 0.00286 m³ de biogás por cabeza.

Tabla 21-Potencial de generación de biogás por estiércol de ganado avícola

Año	Aves	Produccion de Biogas (m3/dia)
2019	25,571,341.60	73,134.04

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.2.2. *Energía Disponible en el sector Pecuario*

Para el cálculo de la energía disponible se utilizó la ecuación 10, considerando un poder calorífico para el biogás de 18.852 MJ/m³.

Tabla 22-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado bovino

Departamento	Cabezas de Ganado	Biogas (MJ/Año)
La Mayor parte de Olancho	441,312.08	1,622,026,152.87
El Paraiso, partes de Olancho y Francisco Morazan	211,890.54	778,795,815.85
Ocotepeque, Copan, parte de Santa Barbara y Lempira	201,387.70	740,192,991.30
Choluteca y Valle	270,919.60	995,754,910.10
Comayagua, La Paz, parte de Francisco Morazan	117,622.56	432,317,330.83
Cortes Parte de Santa Barbara, Atlantida y Yoro	292,838.20	1,076,315,928.28
Colon, parte de Atlantida y Yoro	272,707.50	1,002,326,287.89
Total		6,647,729,417.11

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado porcino

Año	Porcino	Biogás (MJ/Año)
2019	478,238.00	825,803,915.78

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24-Energía Disponible por generación de biogás por estiércol de ganado avícola

Año	Aves	Biogás (MJ/Año)
2019	25,571,341.60	503,233,845.75

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.3. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para la estimación del Potencial Energético de la biomasa proveniente de los RSU, se utilizó como herramienta el Modelo Mexicano para la estimación de biogás. Este método permite dimensionar la cantidad de biogás esperado anualmente.

La estimación del biogás se obtiene mediante la ecuación 3.

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left[\frac{M_i}{10} \right] (e^{-kt_{ij}})(MCF)(F)$$

El primer paso es definir el índice de degradación del metano (k), el cual depende principalmente de las características de la zona donde se realiza el análisis. El modelo mexicano ha definido valores de k estándar, determinados para 5 regiones de México, sin embargo, para el análisis de Honduras existen valores de k ya definidos (Tabla 26).

Este valor depende de las precipitaciones de las diferentes zonas del país (Tabla 25), así como del clima del lugar donde se encuentran los rellenos sanitarios. Para fines de la investigación se determina el valor de k para cada uno de los departamentos de Honduras.

Tabla 25-Precipitaciones anuales en los distintos departamentos del país

Depto	Precipitacion Anual (mm)
Atlantida	2,040.00
Choluteca	1,292.00
Colón	1,872.00
Comayagua	992.20
Copán	1,278.40
Cortés	1,404.00
El Paraiso	955.90
Francisco Moranzán	990.60
Gracias a Dios	2,616.00
Intibucá	1,096.00
Islas de la Bahía	2,496.00
La Paz	1,008.00
Lempira	1,130.50
Ocatepeque	1,093.50
Olancho	1,092.00
Santa Bárbara	1,500.00
Valle	1,238.00
Yoro	1,260.00

Fuente: (Weather Spark, s.f.)

En la tabla 26 se muestran los valores asignados para la variable k dentro del modelo, estos son valores sugeridos para cada una de las zonas, tomando en cuenta el grado de degradación de cada categoría de RSU.

Tabla 26-Índice de degradación de Metano para Honduras

Clima	Precipitación Anual	Tipo de Degradacion	k
Clima Húmedo	>= 1000mm	Degradación Lenta	0.030
		Degradación Rápida	0.230
Clima Moderdo	750mm-999mm	Degradación Lenta	0.026
		Degradación Rápida	0.200
Clima Seco	500mm-749mm	Degradación Lenta	0.230
		Degradación Rápida	0.180

Fuente: (Stege , 2007).

Sin embargo, se realizó un reajuste al valor estándar tomando en cuenta el porcentaje de residuos según su categoría dentro del total de generación para cada departamento. Para este ajuste se utilizó la siguiente ecuación:

$$k_{ponderada} = \sum_{i=1}^n (\%r_i)(vp)$$

Ecuación 11-Ajuste de índice de degradación de metano

Fuente: (AGUILAR-VIRGEN, OJEDA-BENÍTEZ, TABOADA-GONZÁLEZ, & QUINTERO-NÚÑEZ, 2012).

Donde:

$\%r_i$ = Es el porcentaje de residuos en cada categoría.

vp = Es valor de k predeterminado por el modelo.

Los datos obtenidos para k están reflejados en la tabla 27.

Tabla 27-Índice de generación de metano k modificados para Honduras

Índice de generación de metano k para Honduras				
Clima Húmedo	Sub Producto de RSU	Categoría de Degradación	Valor modificado	Valor Ponderado
	Orgánico	DRR	0.133	0.051
	Papel, Carton y Textil	DRMR	0.021	
	Forestales	DRL	0.0003	
Clima Moderdo	Sub Producto de RSU	Categoría de Degradación	Valor modificado	Valor Ponderado
	Orgánico	DRR	0.116	0.046
	Papel, Carton y Textil	DRMR	0.021	
	Forestales	DRL	0.0003	
Clima Seco	Sub Producto de RSU	Categoría de Degradación	Valor modificado	Valor Ponderado
	Orgánico	DRR	0.104	0.040
	Papel, Carton y Textil	DRMR	0.016	
	Forestales	DRL	0.0003	

Fuente: Elaboración Propia.

El siguiente paso para el cálculo de generación de biogás es determinar el potencial de generación (L_0). Esta variable representa la generación de biogás generado por unidad de masa de RESA's, y depende principalmente de la fracción orgánica presente. Este parámetro se calcula con la ecuación 4.

$$L_o = MCF * DOC * DOC_F * F * \frac{16}{12}$$

Donde se definieron las siguientes constantes:

DOC: Es la fracción de carbono presente. Esta constante se calculó tomando en cuenta el porcentaje de las categorías de los residuos generados en el país (57.9% para la parte orgánica, 20.69% para la parte de papel, cartón y textil y un 1.09% para la fracción de residuos forestales).

F: Es la fracción de CH₄ en el biogás y es un valor asignado de manera estándar.

16/12: Es la constante estequiométrica.

Tabla 28-Constantes para la generación de biogás

MCF < 5m	0.4
MCF >5m	0.8
F	0.5
DOC	0.173
Constante Estequiometrica	1 1/3

Fuente: Elaboración Propia.

Para el valor del factor de corrección de metano (MCF) se tomaron en cuenta ambos valores propuestos por el modelo, para así poder obtener una estimación de la generación de biogás para dos escenarios.

En el caso de la fracción de carbono orgánica asimilada (DOC_F) este parámetro depende de la temperatura de la zona analizada. Para nuestro análisis se procedió a estimar el potencial de generación de biogás ante la temperatura promedio de cada departamento (Tabla 29).

Tabla 29-Valor del parametro DOCF para cada departamento de Honduras

Departamento	Temperatura Promedio	DOCF
Atlantida	30.45	0.71
Choluteca	30.00	0.70
Colón	27.20	0.66
Comayagua	25.50	0.64
Copán	22.85	0.60
Cortés	27.90	0.67
El Paraiso	24.00	0.62
Francisco Moranzán	22.45	0.59
Gracias a Dios	27.60	0.67
Intibucá	17.50	0.53
Islas de la Bahía	28.40	0.68
La Paz	25.50	0.64
Lempira	23.50	0.61
Ocatepeque	23.50	0.61
Olancho	26.40	0.65
Santa Bárbara	26.00	0.64
Valle	30.50	0.71
Yoro	23.50	0.61

Fuente: Elaboración Propia.

Como resultado, se obtuvieron 2 escenarios para el cálculo del flujo de biogás esperado. Cada escenario posee condiciones de temperatura de la zona y profundidad del vertedero (tabla 30). Con el fin de otorgar un panorama de generación bajo distintas condiciones.

Tabla 30-Escenarios propuestos para la estimación de biogás

Escenarios	Características	
	Profundidad del vertedero	Temperatura
Escenario 1	< 5m	Prom.
Escenario 2	> 5m	Prom.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.3.1. Escenario 1

El escenario 1 sugiere una profundidad de los RESA's menor a los 5m. En la tabla 31 se aprecian los resultados para el flujo de biogás máximo esperado bajo estas condiciones.

Tabla 31-Potencial de generación de metano y flujo de generación de biogás esperado para Honduras, 2019 (Escenario 1).

Departamento	L01 < 5m	QLFG1 (m ³ /año)
Atlantida	32.54	13,186.87
Choluteca	32.25	12,869.62
Colón	30.44	8,770.38
Comayagua	29.35	11,973.68
Copán	27.64	9,522.86
Cortés	30.89	45,636.37
El Paraiso	28.38	10,274.85
Francisco Morazán	27.38	33,524.08
Gracias a Dios	30.70	2,646.40
Intibucá	24.19	5,314.55
Islas de la Bahía	31.22	1,912.67
La Paz	29.35	5,477.83
Lempira	28.06	8,478.75
Ocotepeque	28.06	3,853.36
Olancho	29.93	14,469.97
Santa Bárbara	29.67	11,623.81
Valle	32.57	5,184.72
Yoro	28.06	14,791.58

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, el promedio de potencial de generación anual de metano para este escenario es de 29.48 m³/ton lo que representa un valor aceptable para la generación y aprovechamiento del biogás, ya que el rango para este valor va desde los 6.2 m³/año hasta los 270 m³/año. Finalmente, en cuanto al flujo de generación de metano, se estima una producción de 220,487 m³/año.

5.4.3.2. Escenario 2

En el escenario 2 se sugiere una profundidad de los RESA's mayor a los 5m. En la tabla 32 se aprecian los resultados para el flujo de biogás máximo esperado bajo estas condiciones.

Tabla 32-Potencial de generación de metano y flujo de generación de biogás esperado para Honduras, 2019 (Escenario 2)

Departamento	L02 > 5m	QLFG2 (m ³ /año)
Atlantida	65.08	52,747.47
Choluteca	64.50	51,478.48
Colón	60.89	35,081.53
Comayagua	58.69	47,894.73
Copán	55.27	38,091.45
Cortés	61.79	182,545.46
El Paraiso	56.76	41,099.40
Francisco Morazán	54.76	134,096.34
Gracias a Dios	61.40	10,585.59
Intibucá	48.37	21,258.19
Islas de la Bahía	62.43	7,650.68
La Paz	58.69	21,911.34
Lempira	56.11	33,915.02
Ocotepeque	56.11	15,413.43
Olancho	59.85	57,879.86
Santa Bárbara	59.34	46,495.25
Valle	65.14	20,738.88
Yoro	56.11	59,166.30

Fuente: Elaboración Propia.

En el escenario 2, el promedio de potencial de generación anual de metano es de 58.96 m³/ton lo que representa un valor aceptable para la generación y aprovechamiento del biogás. Cabe destacar que la variación de este parámetro se debe a la consideración en el incremento de la profundidad de los RESA's. Esto se debe a que a mayor profundidad la usencia de oxígeno se hace cada vez más presente, e incrementa el proceso de la digestión anaeróbica generando mayor volumen de gas metano (CH₄). En cuanto al fujo de generación de metano, es esperable obtener una producción de 878,049 m³/año, mayor que la generada en el escenario anterior.

5.4.3.3. Energía Disponible por RSU en cada escenario

Para estimar el potencial energético disponible en cada uno de los escenarios, se utilizó el poder calorífico del biogás ($PC_{biogás} = 21.34 \text{ MJ/kg}$). El primer paso consistió en transformar el flujo de biogás de $\text{m}^3/\text{año}$ a $\text{kg}/\text{año}$ donde $\delta_{biogás} = 1.25 \text{ kg}/\text{m}^3$.

En la tabla 33 se puede observar el potencial energético que se presenta dentro de cada uno de los casos expuestos anteriormente.

Tabla 33-Potencial energético estimada para cada caso (MJ/año)

Departamento	Caso 1	Caso 2
Atlántida	351,759.71	1,407,038.86
Choluteca	343,297.14	1,373,188.56
Colón	233,949.93	935,799.72
Comayagua	319,397.99	1,277,591.98
Copán	254,022.36	1,016,089.45
Cortés	1,217,350.06	4,869,400.22
El Paraiso	274,081.63	1,096,326.53
Francisco Morazán	894,254.94	3,577,019.77
Gracias a Dios	70,592.63	282,370.52
Intibucá	141,765.54	567,062.16
Islas de la Bahía	51,020.50	204,081.99
La Paz	146,121.25	584,484.99
Lempira	226,170.78	904,683.14
Ocotepeque	102,788.30	411,153.19
Olancho	385,986.34	1,543,945.35
Santa Bárbara	310,065.19	1,240,260.74
Valle	138,302.43	553,209.74
Yoro	394,565.28	1,578,261.12
TOTAL DE GENERACION	5,855,492.00	23,421,968.00

Fuente: Elaboración Propia.

Según las cifras obtenidas en los casos, presentan un mayor potencial energético en el caso 2. Dentro de este se contempla una profundidad mayor a los 5 metros en los RESA's. Tomando en cuenta estas características, se puede observar que, si bien la temperatura de la zona es un factor clave para la generación de biogás, la profundidad del RESA provoca un mayor impacto.

Esto se debe a que las profundidades mayores a 5 metros promueven la degradación anaeróbica donde el 90% de la energía disponible por oxidación se transforma directamente en metano (CH_4).

Por lo que se puede esperar un menor rendimiento del proceso de generación de biogás en relación con el caso 1, donde solo el 50% de la energía disponible es aprovechada.

5.5. REGIONALIZACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE BIOMASA RESIDUAL

5.5.1. SECTOR AGRÍCOLA

De los resultados de la sección 5.4, se puede deducir que los departamentos con un mayor potencial energético por biomasa residual sólida, como se muestra en la ilustración 33 son Choluteca, Cortes, Francisco Morazán, Yoro y Santa Bárbara. El gran potencial de energía disponible de los departamentos mencionados anteriormente se debe a que tienen industrias azucareras que generan una gran cantidad de desechos sólidos provenientes de la caña de azúcar como el bagazo y cachaza.

También dentro del sector agrícola, específicamente en el rubro del café se produce otro tipo de residuos sólidos, como la cascarilla que proviene del proceso de trillado. Sin embargo, a pesar de que el cultivo del café se encuentra distribuido en 15 de los 18 departamentos del país, el potencial energético que se presenta en estos cinco departamentos se ve principalmente influenciado por la industria azucarera.

Debido a que la cascarilla se genera en menor cantidad, con un total para el año 2019 generado de 38,852.32 toneladas, en comparación con el bagazo y la cachaza de la caña de azúcar, que en conjunto generaron para el 2019 un total de 1,484,356.79 toneladas.

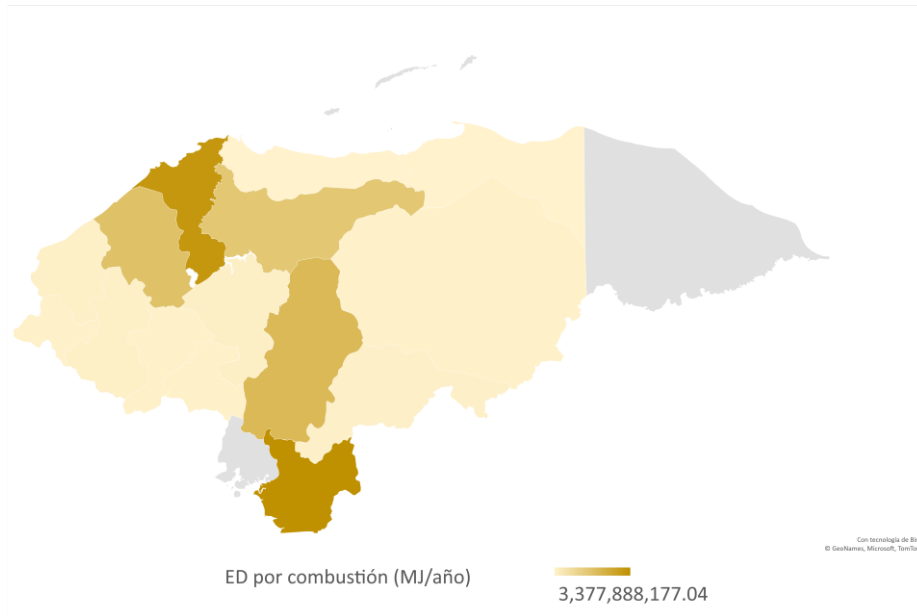


Ilustración 34-Distribución del potencial energético por biomasa residual sólida

Fuente: Elaboración Propia.

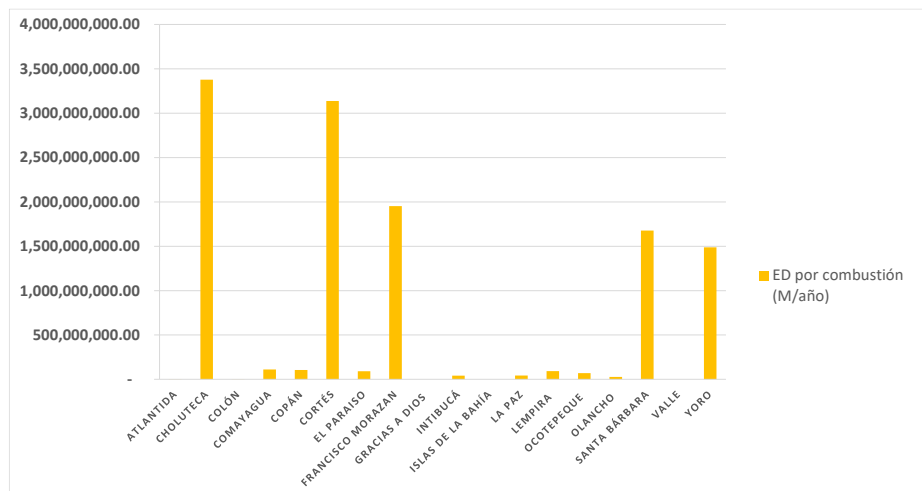


Ilustración 35-Distribución del potencial energético por biomasa residual sólida

Fuente: Elaboración Propia.

En la sección 5.4, los resultados obtenidos demuestran que los departamentos con un mayor potencial energético por producción de etanol para el año 2019, son los siguientes Cortes, Choluteca, Comayagua, Francisco Morazán y Yoro (Ilustración 34).

Se puede observar que al igual que el potencial de biomasa residual sólida, el potencial de etanol se ve influenciado tanto de la industria azucarera como la del café. Estos cinco departamentos representan el 96% del potencial energético de etanol del país, donde los residuos del café representan únicamente 1% mientras que el residuo del cultivo de la caña de azúcar representa el 99%.

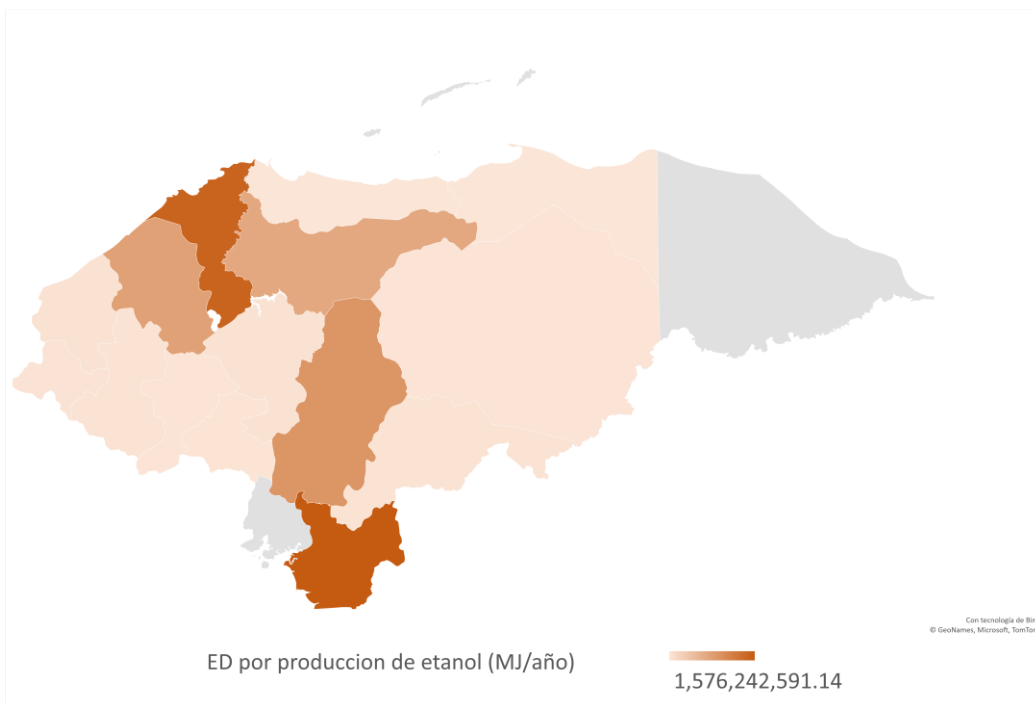


Ilustración 36-Distribución del potencial energético por etanol

Fuente: Elaboración Propia.

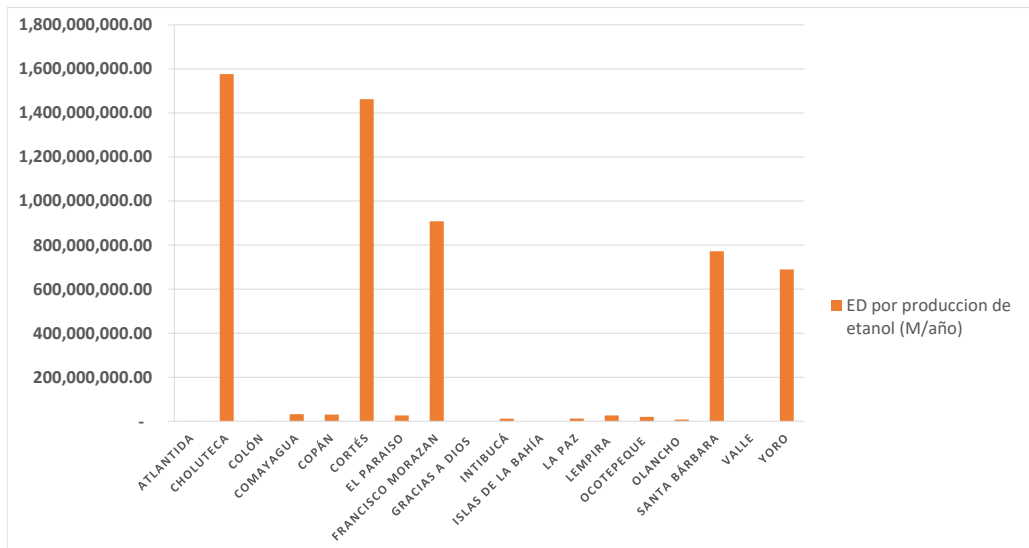


Ilustración 37-Distribución del potencial energético por etanol

Fuente: Elaboración Propia.

La energía disponible a partir del biogás generado de la biomasa residual del sector agrícola se ve concentrada principalmente en las zonas oeste, oeste-central (Comayagua) y este-central (El Paraíso). Como se mencionó en la sección 5.4. la producción de biogás dentro del sector se ve únicamente impulsada por las aguas mieles generadas por el proceso de lavado de café, sin influencia de residuos de la agroindustria azucarera.

Por lo cual, los departamentos con mayor potencial son aquellos con mayor producción de café para el año 2019.

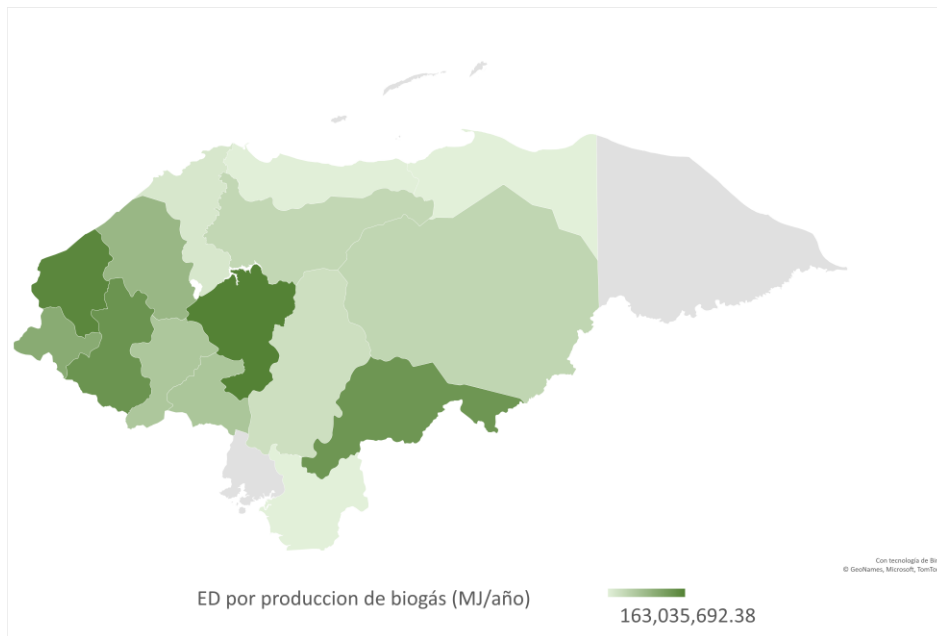


Ilustración 38-Distribución del potencial energético por biogás

Fuente: Elaboración Propia.

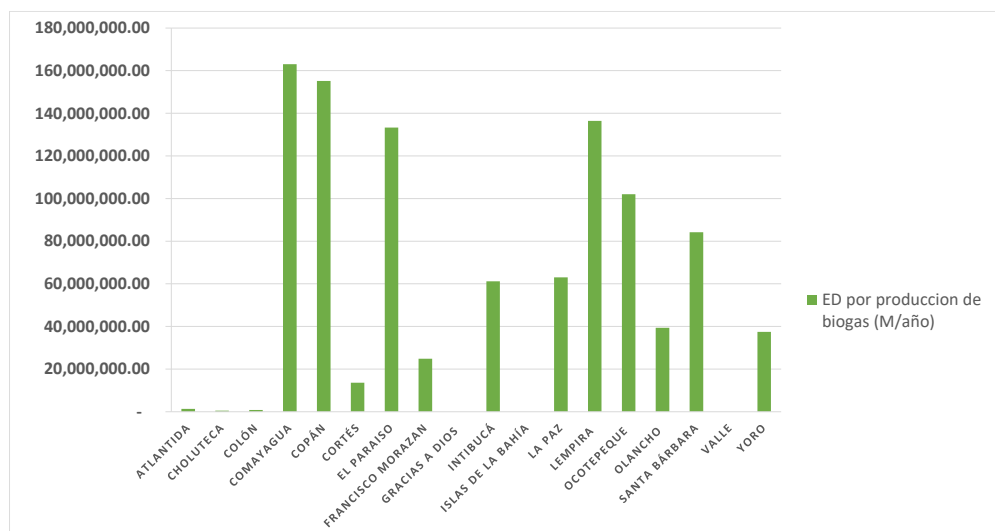


Ilustración 39-Distribución del potencial energético por biogás

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la ilustración 35, el mayor potencial de generación se centra en las ciudades de Comayagua y Copan cuyas economías se sustentan principalmente en la ganadería y la agricultura, resaltando al cultivo de café como uno de los principales.

5.5.2. POTENCIAL ENERGÉTICO DE RSU

La generación de RSU está directamente ligada a la densidad poblacional, como se puede observar en la ilustración 36, los departamentos de Honduras con una mayor generación de RSU y, por consiguiente, un mayor potencial de generación de biogás son Cortes y Francisco Morazán. Sin embargo, hay que considerar que, si bien el departamento de Francisco Morazán posee un alto potencial energético, no posee una infraestructura apta para la generación y aprovechamiento del biogás.

Según (MiAmbiente, 2017) solamente 3 departamentos cuentan con RESA's los cuales son Cortes, Copán y Comayagua, esto aporta un beneficio económico para proyectos que buscan aprovechar este tipo de biomasa para la generación de energía. Con las inversiones necesarias, los RSU depositados en estos RESA's se pueden llegar a convertir en fuentes de energía como el biogás, ayudando a recuperar costos de disposición, crear mejores condiciones de trabajo para las personas que operan en los vertederos, planificar la disposición de los desechos y minimizar los impactos económicos, sociales y ambientales de los RSU.

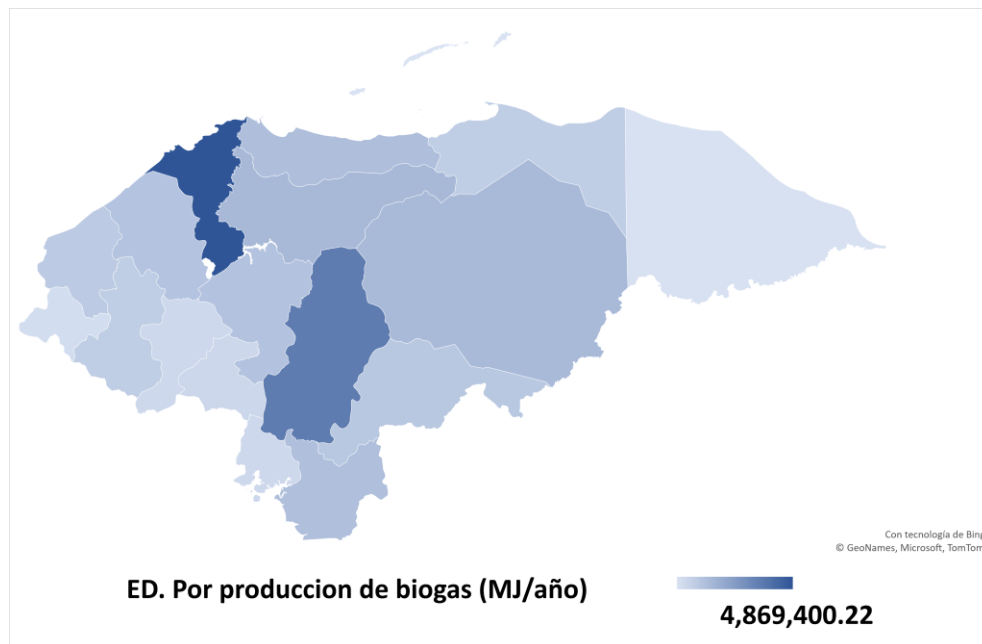


Ilustración 40-Distribución del potencial energético por biogás a partir de RSU

Fuente: Elaboración Propia.

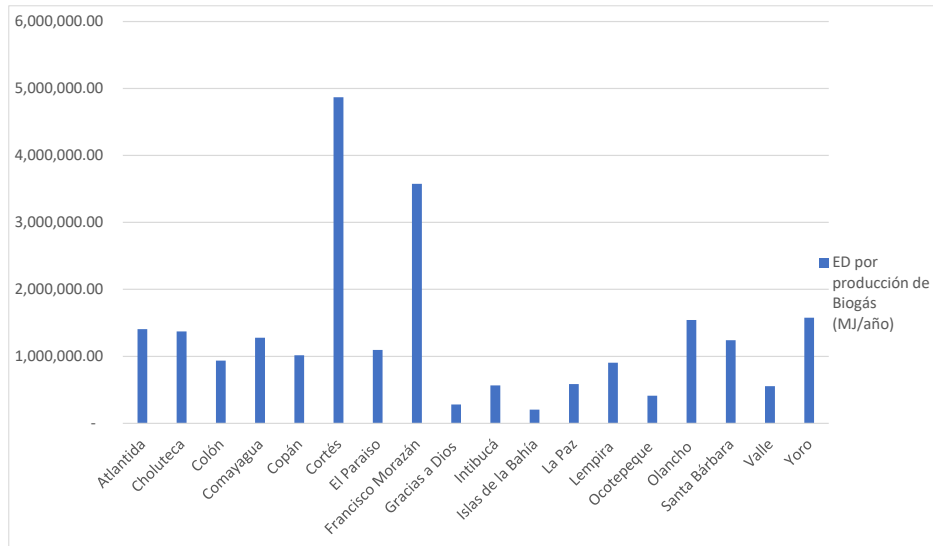


Ilustración 41-Distribución del potencial energético por biogás a partir de RSU

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar en la ilustración 36 el departamento de Cortes, además de poseer RESA's aporta el mayor potencial de energía por generación de RSU. Bajo estas condiciones, se puede intuir que es el departamento con mayor atractivo para la implementación de proyectos que buscan aprovechar este tipo de biomasa, desde la perspectiva de generación tanto como la perspectiva económica.

5.6. TECNOLOGÍAS Y PROYECTOS APLICABLES

5.6.1. PROYECTOS Y TECNOLOGÍAS PARA BIOMASA SOLIDA

Para la estimación de la escala de los proyectos que pueden ser aplicables para el aprovechamiento energético de la biomasa residual del sector agrícola, se consideraron las zonas descritas en la sección 5.5. debido a que son los departamentos que poseen un mayor potencial y por ende una mejor oportunidad de inversión.

En el caso de la biomasa residual sólida proveniente de los cultivos de café y caña de azúcar se consideró únicamente aquel potencial que aún no se ha aprovechado. En Honduras existen empresas que utilizan cierta fracción del potencial de estos residuos para generar energía, principalmente en el gremio azucarero, por lo que se dimensiono solamente el porcentaje disponible.

Debido a la naturaleza de los desechos obtenidos de este sector, se consideró para fines prácticos el dimensionamiento de plantas generadoras de electricidad.

Para la biomasa residual solida se consideró una planta de combustión de residuos de bagazo, cachaza y cascarilla de café. En este diseño se considera la energía producida en una caldera de combustión, donde el calor de la biomasa residual es aprovechado para calentar el agua del ciclo Rankine para la producción de vapor, el cual pasa a la turbina que estará conectada a un generador para la producción de electricidad.

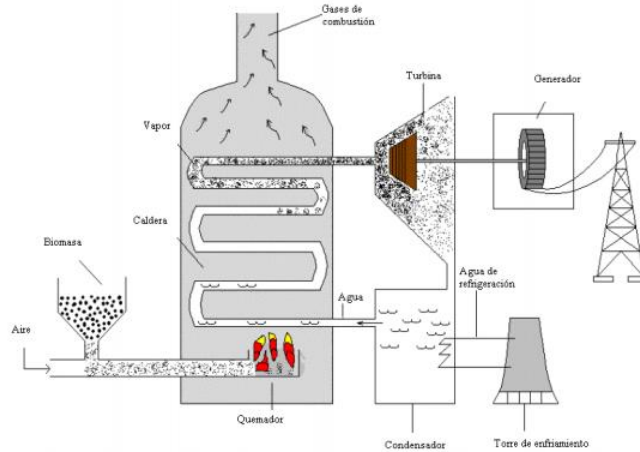


Ilustración 42-Eschema de funcionamiento de la planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa

Fuente: (Lalanne)

Este tipo de centrales de basan principalmente en 5 procesos los cuales son:

- Aumentar el flujo de agua hacia la caldera a través de una bomba aumentando su presión.
- En la caldera se le inyecta calor por lo que el agua se evapora, aumentado aún más su presión y temperatura antes de llegar a la turbina.
- El vapor entrega la energía a la turbina y la hace rotar, lo que genera que el vapor se expanda y pierda calor.
- La turbina está conectada a su vez a un generador que al rotar su eje genera la electricidad.
- Finalmente, el vapor se transfiere a un condensador y vuelve a su estado líquido, con presión y temperatura constante para ser reinyectado al ciclo.

Para la estimación de la capacidad de los proyectos propuestos en cada uno de los departamentos seleccionados, se consideró una eficiencia 30% y un factor de planta del 76%. En la tabla 34 se muestran los resultados obtenidos de la capacidad instalada disponible, considerando el potencial ya aprovechado en el país.

Para el cálculo del potencial disponible se dispuso de la siguiente ecuación:

$$MW_{disponibles} = \frac{\text{Energía Generada}}{\text{horas trabajadas}}$$

Ecuación 12-Capacidad Instalada Disponible

Fuente: (BASÉS, 2016).

Donde la energía generada es igual a la energía disponible en kWh y el número de horas trabajadas depende del factor de planta.

Tabla 34-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por combustible sólido

Departamento	MW aprovechados	MW disponibles
Francisco Morazán	17.8	68
Cortés	30.0	119
Santa Barbara	14.0	66
Yoro	20.0	60
Choluteca		141

Fuente: Elaboración Propia.

Como se pudo observar, Choluteca es el departamento con mayor potencial de generación de energía eléctrica. Esto se debe a que el potencial disponible por los residuos de ambas agroindustrias, a pesar de que el sector azucarero si está siendo aprovechado no se generó energía eléctrica para el 2019.

Uno de los beneficios que aportan este tipo de proyectos, es que ayudan a minimizar el impacto ambiental provocado por las emisiones de GEI por centrales de generación a base de combustibles térmicos. Esto se debe a que las centrales que operan con combustibles derivados de la biomasa se consideran de emisiones neutras, ya que la generación de CO₂ procedente de su combustión inicialmente formaba parte natural del CO₂ existente por lo que no genera un desequilibrio en la atmosfera.

En Honduras uno de los combustibles más significativos del sector es el fuel oíl, el cual es un residuo de la destilación fraccionada del petróleo.

El análisis para la estimación de emisiones equivalentes de CO₂ se basó en la sustitución de una planta de generación de electricidad térmica a base de fuel oíl. Los datos referentes a los factores de emisión para gases de efecto invernadero fueron obtenidos de las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

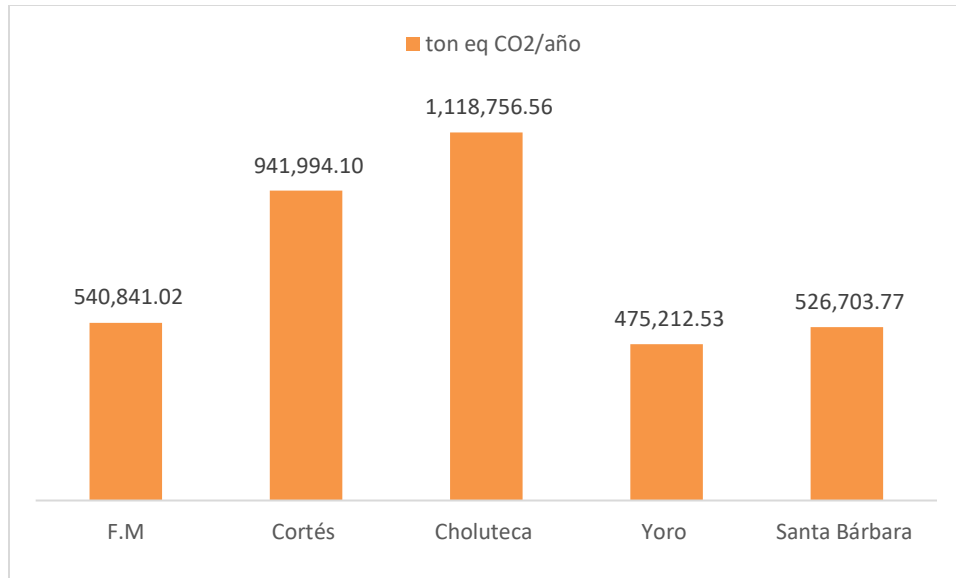


Ilustración 43-Emisiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oíl

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la ilustración 38 la implementación de una planta de generación eléctrica, que aproveche la energía de la biomasa residual de los cultivos de caña de azúcar y café, se puede llegar a incrementar el índice de electrificación de la zona y a su vez tener un ahorro de aproximadamente 1.1 millones de ton equivalentes de CO2.

5.6.2. PROYECTOS Y TECNOLOGÍAS PARA BIOGÁS

Para los residuos de café como la pulpa y las aguas mieles y el estiércol proveniente de los distintos tipos de ganado presentes en el país, se consideró la implementación de proyectos orientados a la generación de energía eléctrica por biogás.

Los proyectos considerados fueron plantas con una eficiencia promedio del 40% y un factor de planta del 76%. Para este diseño se consideran de escala media-alta debido al potencial de capacidad obtenido.

El funcionamiento de una planta para generación de electricidad a partir de biogás se basa principalmente en circular el biogás extraído del biodigestor a través de tuberías por una turbina de gas, conectada a un generador el cual se encarga de producir la electricidad.

Para los componentes de los biodigestores es necesario considerar cada uno de los siguientes:

- Cámara de fermentación: es donde la materia orgánica sufre la etapa de descomposición por parte de las bacterias anaeróbicas produciendo la generación del biogás.
- Cámara de almacenamiento del biogás: Como su nombre o dice, este es el espacio destinado al almacenamiento del gas separándolo de los desechos.
- El Agitador: que se utiliza para remover las natas que se forman en la superficie del digestor.
- La tubería del gas: donde sale el gas del biodigestor para luego ser quemado.
- Medidores de Biogás: El equipo deberá cuantificar el flujo de biogás hacia los sistemas de quema y/o aprovechamiento en todo momento de operación del digestor.
- Filtro de retención de ácido sulfhídrico: es importante filtrar el ácido sulfhídrico en proyectos de generación de energía eléctrica debido que el sulfuro genera corrosión en las partes metálicas de los equipos y disminuye su vida útil.
- Turbina de gas: se consideró una turbina de operación en ciclo simple, debido a que solamente se espera la generación de electricidad.
- Generador: este equipo está conectado a la turbina, y es el encargado de la generación de electricidad.

Para los proyectos destinados a los residuos del café se consideró un sistema continuo, ya que es el más comúnmente implementado para el tratamiento de aguas residuales. Por lo general suelen ser plantas muy grandes, donde la aplicación es comúnmente industrial.

Como muestra la tabla 35, la zona oeste del país, comprendida por los departamentos de Copán, Ocotepeque, Lempira y Santa Bárbara son los que poseen un mayor potencial de potencia instalada con 19.9 MW disponibles.

Tabla 35-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de residuos agrícolas

Zonas	MW disponibles
Zona Oeste	19.9
Zona Este-Central	5.6
Zona Oeste-Central	6.8

Fuente: Elaboración Propia

Al igual que para los proyectos de biomasa residual sólida, se realizó una estimación de las emisiones de CO2 ahorradas por la implementación de una planta de generación de energía eléctrica a base de biogás, en comparación a una central térmica que opera con fuel oíl.

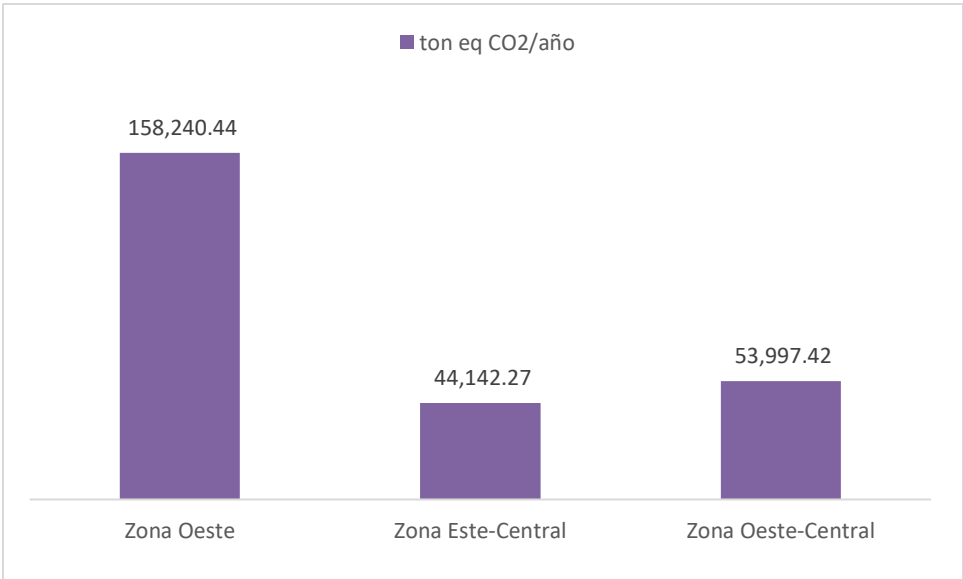


Ilustración 44-Emisiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oíl

Fuente: Elaboración Propia.

En la ilustración 39 se muestra que, al implementar este tipo de tecnologías para la generación de electricidad, se estima un ahorro total de 256,380.13 ton equivalentes de CO2 donde la zona oeste representa el 61.7%.

Para los proyectos del sector pecuario se consideraron instalaciones de biodigestores con agitador. Estos biodigestores son más perfeccionados, porque disponen de un agitador y un calefactor, que regula la homogeneidad y la temperatura del proceso.

Tabla 36-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de estiércol de ganado

Zonas	MW disponibles
Nor-Este	67.7
Norte	44.9
Sur	41.5
Costa Atlántida	41.8

Fuente: Elaboración Propia.

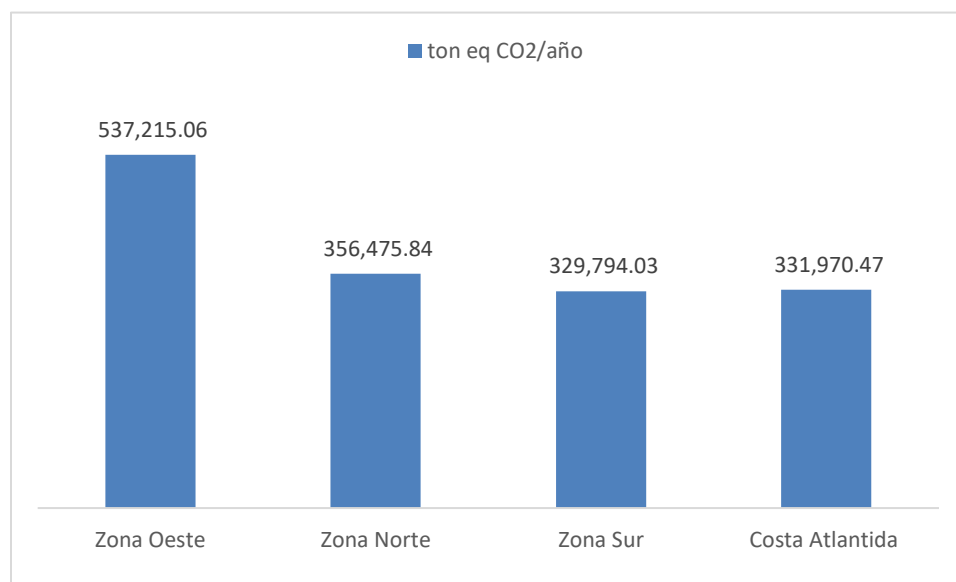


Ilustración 45-Emissiones de CO2 Por Generación de Electricidad a partir de Fuel Oil

Fuente: Elaboración Propia.

De igual manera, se realizó el análisis de emisiones equivalentes de CO2 para determinar el ahorro realizado al implementar esta tecnología para la generación de electricidad. Como se muestra en la ilustración 40 el total de emisiones evitadas fue de 1,555,455.4 ton equivalentes de CO2.

Para el desarrollo de los proyectos de RSU, se considera solo la fracción orgánica que constituye alrededor del 79.45%, compuesta principalmente por residuos orgánicos, textil, papel, cartón y residuos forestales que llega a los vertederos del país. Para el aprovechamiento del biogás, se implementaron proyectos orientados a la generación de energía eléctrica.

El proceso de la generación de energía de un relleno sanitario controlado comienza con la extracción del biogás que se produce en los rellenos sanitarios, el cual es redirigido por medio de tuberías a la central de generación de energía eléctrica. Dependiendo del tamaño de la planta se pueden utilizar motores de combustión interna para proyectos pequeños o turbinas de gas para plantas más grandes.

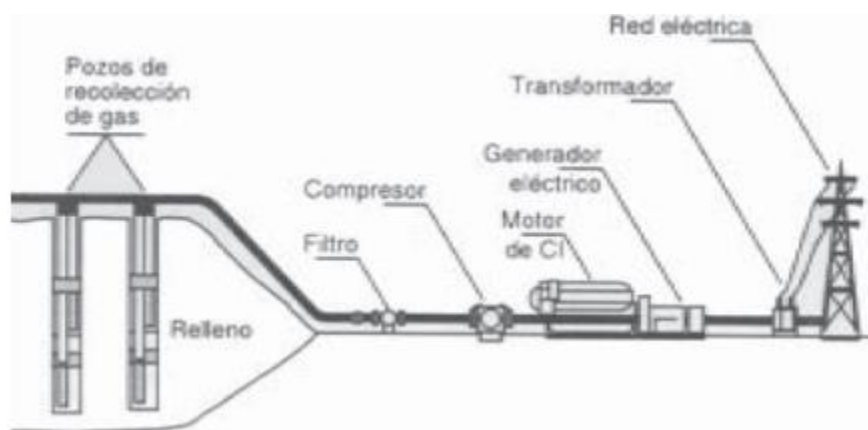


Ilustración 46-Esquema de funcionamiento de la planta de generación de energía eléctrica a partir del Biogás de RSU

Fuente: (PÉREZ ROSALES , 2006)

Se puede entonces destacar dentro de las instalaciones de una planta de biogás en un vertedero los siguientes equipos:

- Red de Captación y Conducción: este componente se encarga de la captación del biogás y lo distribuye a la estación de regulación y medida.
- Estación de Regulación y Medida: Esta instalación permite que, mediante la regulación de la depresión aplicada a cada línea obtener el biogás producido.
- Central de Extracción: se encarga de poner en depresión todos los elementos previos antes mencionados y enviar el biogás hacia la zona de valorización.

- Colector General: es el que transporta el biogás desde la central de extracción hasta los motores.
- Antorcha: El propósito que tiene este equipo es quemar el biogás excedente que se genera en el relleno sanitario y que no puede consumir los motores.
- Sistema Motor-Generador: es el sistema que permitirá la generación de energía eléctrica, a partir del gas, mediante su uso como combustible en motores de combustión, que a su vez accionan un generador.

Tabla 37-Capacidad estimada para proyectos de generación de electricidad por biogás de RSU

Departamento	kW disponibles
Cortes	203

Fuente: Elaboración Propia.

Para la implementación del proyecto en el país, solo se tomó en cuenta el departamento de Cortes, debido a que como se puede observar en la sección 5.5 de regionalización, es el departamento con un mayor potencial energético.

Se realizó una proyección del ahorro de emisiones de CO₂ al generar energía eléctrica a partir de RSU en sustitución al fuel oíl, el cual nos dio como resultado un total de 378,127.43 toneladas de CO₂ generadas anualmente.

VI. CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos ofrecen una guía de referencia para la estimación de la energía disponible dentro del territorio hondureño a partir de los sectores agrícola, pecuario y de RSU, proporcionando una herramienta que favorece a estudios de factibilidad para proyectos interesados en aprovechar la biomasa residual proveniente de estos sectores. De igual forma, se generaron propuestas para proyectos en las zonas con mayor oportunidad de desarrollo energético a partir de estas fuentes.
2. Debido a la falta de información actualizada en las bases de datos nacionales como el INE y el NAMA se realizaron proyecciones basadas en cifras históricas del país, por lo que los resultados obtenidos presentan únicamente valores estimados de la generación de residuos dentro del sector pecuario y el sector de RSU. Los datos referentes a la producción dentro del sector agrícola, que corresponden a los cultivos de caña de azúcar y café se obtuvieron dentro del periodo deseado, por lo que las proyecciones de este sector se presentan con un mayor grado de certeza.
3. La clasificación de la biomasa se determinó según su estado físico, sin embargo, los procesos de transformación dependieron de la composición química de la biomasa residual donde los residuos con un alto contenido de carbono y oxígeno en su estructura resultaron excelentes candidatos para procesos de combustión, mientras que los residuos que contenían niveles considerables de sacarosa y un índice de humedad relativo resultaron más aptos para la síntesis de etanol y aquellos desechos con altos índices de comunidad bacteriana se destinaron a procesos de generación de biogás.
4. Para Honduras se estimó un potencial energético a partir de la biomasa residual de 32,374.54 TJ para el año 2019, donde el sector agrícola representó el 58% de este potencial. Esto se debió al incremento actual de las actividades dentro del rubro azucarero donde el bagazo es uno de los residuos con mayor potencial del país, para el sector agropecuario se estimó un 6% de participación y para los RSU un 36%.
5. Se determinó que los departamentos con un mayor potencial de explotación energética a través de los residuos provenientes de los distintos sectores fueron aquellos donde las actividades agropecuarias se concentraban en mayor escala y poseyeran una densidad

poblacional considerable, en el caso de los RSU. Los departamentos como Cortes, Choluteca, Santa Barbara, Yoro y Francisco Morazán presentaron un mayor potencial para el aprovechamiento de biomasa residual sólida, sin embargo, la zona oeste presento un mayor potencial para la generación y explotación del biogás.

6. Honduras cuenta con 15 plantas generadoras de electricidad a base de biomasa, donde el principio de operación se basa en el proceso de combustión directa, considerando que dentro de los proyectos propuestos se determinaron tecnologías similares a las plantas ya existentes su implementación no implicara estudios para tecnologías nuevas en el país. Sin embargo, para los proyectos destinados al aprovechamiento del biogás implicaría realizar estudios económicos y de factibilidad para estas nuevas tecnologías y su desarrollo dentro del sistema interconectado nacional.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para la elaboración de un estudio de potencial energético dentro de los diferentes sectores del país, se debe de contar con cifras actualizadas para poder obtener un panorama de la situación actual. Ya que únicamente se cuenta con una base de datos para el año 2008 dentro del sector agropecuario y del 2016 para los RSU.
2. Se recomienda poder incluir una mayor variedad de cultivos dentro del análisis del sector pecuario, para poder obtener un mayor panorama del potencial energético que este ofrece.
3. Para determinar el flujo de biogás mediante el modelo mexicano, se recomienda tener en cuenta el factor de incendio y las condiciones del RESA para poder utilizar valores más acordes al espacio y obtener cifras con mayor grado de certeza.
4. Para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento energético del sector de RSU se recomienda hacer un análisis de recuperación de biogás para otorgar a los propietarios el poder de determinar la factibilidad del proyecto.
5. Los proyectos sugeridos fueron realizados utilizando datos promedios, obtenidos de proyectos similares por lo que se recomienda realizar estudios técnicos, económicos y de factibilidad para cada uno de los proyectos propuestos, que involucren las características de la zona, tanto estudios de sitio como análisis de impacto ambiental y social.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

El proyecto ofrece una amplia base de datos que puede ser implementado como referencia dentro de distintas áreas de estudio, para diferentes proyectos como los siguientes:

- **Sector Energético.** Dentro del sector energético ofrece una base de datos que ayuda al diseño y dimensionamiento de proyectos, orientados a la generación de energía a partir de biomasa. También permite estimar el ahorro en emisiones de GEI desprendidas a la atmosfera al aprovechar esta materia prima.
- **Impacto Ambiental.** Representa un punto de partida para estudios de impacto ambiental, referentes a las emisiones de GEI y sustancias nocivas y/o toxicas desprendidas por la degradación de los residuos orgánicos hacia el medio ambiente.
- **Social.** Con la ayuda de esta herramienta se puede valorar el impacto social que generaría la implementación de proyectos, que aprovechen la biomasa residual para la generación de energía, en las comunidades aledañas a las zonas de disposición de dichos desechos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Medina Villadiego, M., Ospino Roa, Y., & Tejeda Benítez, L. (21 de Enero de 2014). ESTERIFICACIÓN Y TRANSESTERIFICACIÓN DE ACEITES RESIDUALES PARA OBTENER BIODIESEL. *Luna Azul*(40), 11.
- Afanasjeva, N., Castillo, L., & Sinisterra, J. (15 de Noviembre de 2017). Transformación de biomasa. *Mind Tech*, 17.
- Aguilar, V., Gonzalez, T., & Benitez, O. (2011). Modelo mexicano para la estimación de la generación de biogás. *Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería*, 15(1), 9. Recuperado el 7 de Febrero de 2021
- AGUILAR-VIRGEN, Q., OJEDA-BENÍTEZ, S., TABOADA-GONZÁLEZ, P., & QUINTERO-NÚÑEZ, M. (2012). SCielo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28.
- APAH. (2018). *II Memoria Gremial de Sostenibilidad*. Asosiasion de Productores de Azúcar de Honduras.
- APAH. (s.f.). *Asociacion de Productores de Caña de Azúcar de Honduras*. Obtenido de <http://azucar.hn/productos/>
- Banco Central de Honduras. (2019). *Producto Interno Bruto*. Obtenido de https://www.bch.hn/download/pib/2019/pib_IV_trimestre_2019.pdf
- BASÉS, P. E. (2016). *ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA A PARTIR DEL APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS EN UNA GRANJA DE GANADO BOVINO*. UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR.
- BUN-CA. (2002). *Manuales Sobre Energía Renovable Biomasa* (1 ed.). San José, Costa Rica.
- Candinsa . (s.f.). *Candinsa Caldera de carbones* . Obtenido de <https://cadinsa.com/calderas-a-carbon/>
- CEPAL. (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de Honduras, 2018*. CEPAL.
- CNP+LH. (2010). *Guía de PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA PARA EL BENEFICIADO DE CAFE EN HONDURAS*. Centro Nacional de Producción Más Limpia de Honduras.

- CNP-LH. (2018). "ESTRATEGIA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS EN HONDURAS". Centro Nacional de Producción Más Limpia de Honduras.
- Cumbal Sánchez, R. L. (2013). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario proyectado a 30 años para la Parroquia de Malchinguí, Cantón Pedro Moncayo*. Quito.
- Daza, D., Treasure, A., Estribí, I., Pinto, P. C., Montoya, M. O., & Nuñez, D. (2010). *ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, HONDURAS*. Recuperado el 25 de Enero de 2021, de Organización Panamericana de la Salud OPS: https://www.paho.org/hon/index.php?option=com_docman&view=download&alias=185-analisis-sectorial-de-residuos-solidos-de-honduras-resumen-ejecutivo-1&category_slug=desarrollo-humano-sostenible-y-estilos-de-vida-sal&Itemid=211
- de Lucas Herguedas, A. I., del Peso Taranco, C., Rodríguez García, E., & Prieto Paniagua, P. (2012). *BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD*. Madrid, España.
- Delagen, C., Paolo de Salvo, C., Egas, J. J., & Pierre, G. (2019). *ANÁLISIS DE POLÍTICAS AGROPECUARIAS EN HONDURAS*. BID. Obtenido de https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/An%C3%A1lisis_de_pol%C3%ADticas_agropecuarias_en_Honduras.pdf
- El Heraldo. (7 de 4 de 2014). *El Heraldo*. Obtenido de <https://www.elheraldo.hn/regionales/611396-218/construyen-moderno-relleno-sanitario-en-comayagua>
- Factor CO2. (13 de 6 de 2016). Recuperado el 4 de 2 de 2021, de <https://www.factorco2.com/es/honduras-reduce-sus-emisiones-gracias-al-mecanismo-de-desarrollo-limpio/noticia/230>
- Flores Castro, W. C. (2016). *El sector energía de Honduras: aspectos necesarios para su comprensión y estudio* (Primera ed.). Tegucigalpa, Honduras: El Country.
- Fundación Energía sin Fronteras. (2012). *BIOMASA Y DESARROLLO*. Madrid: Gráficas Áncora, S.A.
- Garcés Paz, R. V., & Martínez Silva, S. V. (s.f.). *Estudio del Poder Calorífico del Bagazo de caña de azúcar en la Industria Azucarera de la zona de Risaralda*.

- García M., P., & Flores, W. (4 de Agosto de 2019). *Observatorio de la Energía UNITEC HN*. Obtenido de <https://public.tableau.com/profile/gp17447#!/vizhome/EstadsticasElectricidadHonduras/EstadsticasENEE>
- GOMEZ POSADA, S. (2019). *quecafe*. Obtenido de <https://quecafe.info/ usos-alternativos-subproductos-cafe/>
- Hargassner. (11 de Julio de 2016). *Hargassner especialista en Biomasa*. Obtenido de <https://www.hargassner.es/2016/07/11/generacion-de-electricidad-y-calor-con-biomasa/>
- IDAE. (2007). *Biomasa Cultivos Energéticos*. Madrid: España.
- IDAE. (2007). *Manuales de Energías Renovables*. Madrid, España.
- IHCAFE. (2019). *Memoria Cosecha 2018-2019*. Instituto Hondureño del Café.
- INMACORE. (2021). *INMACORE*. Obtenido de <https://inmacore.es.tl/Abono-con-Estiercol.htm>
- IPCC. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Lalanne, B. (s.f.). *UTILIZACIÓN DE BIOMASA PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*.
- MADRIGAL PÉREZ, G. B., QUISPE SAAVEDRA, J. J., & VARGAS HUAMAN, Y. M. (2018). Cálculo de la generación de biogás para el relleno sanitario de la ciudad de Juliaca, utilizando el modelo LandGEM Versión 3.02 de la USEPA y estimación del potencial de producción eléctrica. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4, 42-55.
- Martínez , M. (2019). *Organización Panamericana de la Salud* . Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de https://www.paho.org/hon/index.php?option=com_content&view=article&id=1749:realizan-primer-foro-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-solidos-por-una-honduras-limpia-mis-residuos-mi-responsabilidad&Itemid=228

- Masera, O., Aguillón, J., & Gamino, B. (2005). *Estimación del Recurso y Prospectiva Tecnológica de la Biomasa Como Energético Renovable en México*. Universidad Autonoma de Mexico.
- MiAmbiente. (2017). *Diagnóstico sobre la situación de la gestión de los residuos en Honduras 2016*. Secretaria de Energía.
- MiAmbiente. (2018). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero de Honduras INGEI S/2005-2015*. Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente, MiAmbiente.
- Ministerio de Energia Chile. (2011). *manual de biogas*. Santiago.
- OPS. (2019). *Organización Panamericana de la Salud*. Recuperado el 9 de Febrero de 2021, de https://www.paho.org/hon/index.php?option=com_content&view=article&id=1749:realizan-primer-foro-nacional-para-la-gestion-integral-de-residuos-solidos-por-una-honduras-limpia-mis-residuos-mi-responsabilidad&Itemid=228
- Ordoñez Wolfovich, R. A., & Deras, L. (2019). *ÍNDICE DE COBERTURA Y ACCESO A LA ELECTRICIDAD EN HONDURAS*. Secretaria de Estado en el Despacho de Energía, Tegucigalpa M.C.D.
- PÉREZ ROSALES , M. F. (2006). *PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE BIOGÁS PROCEDENTE DE VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS*.
- QUINTERO GONZÁLEZ, J. R., & QUINTERO GONZÁLEZ, L. E. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *13+*, 28-44.
- Rodriguez Valencia, N., & Zambrano Franco, D. A. (Marzo de 2010). Los Subproductos del Café: Fuente de Energía Renovable. *Cenicafé*.
- Rodríguez, N. V. (2013). PRODUCCIÓN DE ALCOHOL A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ. *Cenicafé*, 78-93.
- Salgado, S., Cárcamo, J., Montoya, L., Argueta, R., & Vinde, T. (2020). *Agenda de Energia (2019-2021)*. Gobierno de la República de Honduras, Secretaria de Estado en el Despacho de Energía, Tegucigalpa.

- Salvador, A. (2010). APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA A LOS COMBUSTIBLES FÓSILES. *R.Acad.Cienc.Exact.Fís.Nat. (Esp)*, 104(2), 15. Recuperado el 10 de Febrero de 2021
- Secretaría de Estado en el Despacho de Energía. (2018). *Balance Energético 2018*. Tegucigalpa.
- Serrano, B. (2018). *Aplicación de la biomasa a la generación de energía térmica. Análisis de instalaciones*. Tesis de Maestría, Universidad de Sevilla, Ingeniería en Energía, Sevilla. Recuperado el 10 de Febrero de 2021
- SNV. (2008). *Cultivos para la Producción Sostenible de Biocombustibles: Una alternativa para la generación de empleos e ingresos*. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo , Tegucigalpa.
- Stege , G. (2007). *Manual de Usuario Modelo Centroamericano de Biogás*.
- Velazques Marti, B. (2017). *Aprovechamiento de la Biomasa para el uso Energetico*. Valencia: Revert.
- Weather Spark*. (s.f.). Recuperado el 23 de 2 de 2021, de <https://es.weatherspark.com/>
- Zamorano. (14 de 12 de 2016). *Perfect Daily Grind*. Obtenido de <https://perfectdailygrind.com/es/2016/12/14/son-los-cursos-universitarios-el-futuro-de-la-educacion-en-cafe/>
- Zumalacárregui-De Cárdenas, L. M., Rodríguez-Ramos , P. A., Pérez-Ones , O., & Lombardi , G. (2015). Potential Uses of Bagasse for Ethanol Production Versus Electricity Production. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XVI(3), 407-418.