

USO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIALES EN FORMA DE PELLETS PARA FINES ENERGÉTICOS EN ZONAS RURALES DE BOLIVIA

Máster Universitario en Energías Renovables

Trabajo Fin de Máster

Autor:

Angélica Rocio Magne Sejas

Director:

Antonio Gil Bravo

Pamplona, 15 de febrero 2018.

Resumen

In the present work, it is done the study of electric power generation in rural rural areas of Bolivia is carried out, using agroindustrial waste in the form of pellets as fuel in a Heat and Power plant (CHP) with Stirling engine. The rural area of study is identified, considering those rural areas that do not have electric power coverage and the availability of agroindustrial waste, sugar cane bagasse. The amount of bagasse to be used per year is determined. In addition, an environmental impact analysis is carried out that involves the generation of electrical energy using the life cycle analysis, considering each system process. From the analysis, it is determined that the transport of the waste to the power generation plant causes the greatest impact. Finally, a sensitivity analysis is carried out assuming the variation of the transport distance of the waste.

Palabras Clave

Generación eléctrica

Bagazo de caña de azúcar

Planta de calor y potencia con motor Stirling

Análisis el ciclo de vida

Pellets de bagazo caña de azúcar

Abreviaturas

FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
INE	Instituto Nacional de Estadística
PDE	Plan de Desarrollo Energético
LCA	<i>Life Cycle Assesment</i>
NBP	<i>National Biomass Program</i>
CHP	<i>Combined Heating and Power</i>
ORC	<i>Organic Rankine Cycle</i>
HHV	<i>High Heating Value.</i>
LHV	<i>Low heating Value</i>
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
EICV	Evaluación de Impactos del Ciclo de Vida
ESMAP	<i>Energy Sector Managment Asistance Program</i>
GLP	Gas Licuado de Petroleo
REDATAM	REcuperación de DATos para Áreas pequeñas por Microcomputador

ÍNDICE

RESUMEN	2
PALABRAS CLAVE	2
ABREVIATURAS	3
INDICE DE TABLAS	7
INDICE DE FIGURAS	9
1 INTRODUCCIÓN	9
<hr/>	
1.1 Antecedentes	12
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo General.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Alcance	15
1.4 Preguntas de Investigación	16
1.5 Método de Ataque	17
2 MARCO TEÓRICO	18
<hr/>	
2.1 Análisis del Ciclo de Vida	18
2.1.1 Etapas de un Análisis del Ciclo de Vida.....	18
2.1.1.1 Definiciones del Objetivo y Alcance del Estudio.....	19
2.1.1.2 Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV).....	21
2.1.1.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	21
2.1.1.4 Interpretación.....	22
2.2 Biomasa	22
2.2.1 Tipos de Biomasa.....	24
2.2.2 Uso de la Biomasa como Fuente de Energía en Bolivia.....	24
2.2.2.1 Biomasa como Fuente de Energía en las Zonas Rurales de Bolivia.....	25
2.2.2.2 Residuos Agroindustriales en Bolivia.....	26
2.3 Tecnologías para la Conversión de Biomasa	26
2.3.1 Tecnologías Primarias de Conversión de Biomasa.....	27
2.3.1.1 Combustión.....	27

2.3.1.2	Gasificación.....	27
2.3.1.3	Pirolisis.....	28
2.3.2	Tecnologías Secundarias para Generar Calor y Electricidad.....	28
2.3.2.1	Generación combinada de Calor y Electricidad (CHP).....	29
2.3.2.1.1	Motor Stirling.....	29
2.3.2.1.2	Combustión y Ciclo Orgánico de Rankine (ORC).....	31
2.4	Cobertura de Energía Eléctrica en Bolivia	32
3.	METODOLOGÍA	33
<hr/>		
3.1	Identificación de las zonas rurales sin servicio de energía eléctrica en Bolivia	33
3.1.1	Disponibilidad de Energía Eléctrica a Nivel Nacional.....	36
3.1.2	Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Departamento.....	37
3.1.3	Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Provincia.....	37
3.1.4	Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Municipio.....	38
3.1.5	Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Comunidad.....	39
3.2	Identificación de residuos generados en Bolivia	39
3.2.1	Definición del Residuo Agroindustrial.....	42
3.2.1.1	Características del Bagazo de Caña de Azúcar en forma de pellets.....	46
3.3	Definición de la zona de estudio	48
3.3.1	Demanda energética.....	49
3.4	Simulación Planta de Calor y Potencia con Motor Stirling.....	51
3.5	Análisis del Ciclo de Vida del Sistema de generación eléctrica	56
3.5.1	Etapa 1: Objetivo y Alcance del Estudio.....	56
3.5.1.1	Objetivo.....	56
3.5.1.2	Descripción del Sistema.....	56
3.5.1.3	Alcance.....	57
3.5.1.3.1	Unidad Funcional.....	57
3.5.1.3.2	Límites del Sistema.....	57
3.5.1.3.3	Horizonte de Tiempo.....	59
3.5.1.3.4	Criterios de Exclusión.....	59
3.5.1.3.5	Tipo de datos y método de análisis de inventario.....	59
3.5.2	Etapa 2: Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV).....	60
3.5.2.1	Inventario de datos.....	61

3.5.3	Etapa 3: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV).....	63
3.5.3.1	Clasificación de los impactos ambientales.....	63
3.5.3.2	Caracterización.....	63
3.5.4	Etapa 4: Interpretación.....	64
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
<hr/>		
4.2	Análisis de sensibilidad	67
5	RESUMEN Y CONCLUSIONES	70
<hr/>		
6	REFERENCIAS	72
<hr/>		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tecnologías secundarias para la generación de calor y electricidad	28
Tabla 2: Hogares por disponibilidad de energía eléctrica, según área geográfica	32
Tabla 3: Disponibilidad de energía eléctrica a nivel nacional	36
Tabla 4: Procedencia de la energía eléctrica y combustible empleado para cocinar en zonas rurales	36
Tabla 5: Viviendas sin energía eléctrica en áreas rurales por departamento	37
Tabla 6: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Provincia	38
Tabla 7: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Municipio	38
Tabla 8: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Comunidad	39
Tabla 9: Composición Física porcentual de Residuos Sólidos por departamento	42
Tabla 10: Producción Agrícola – Bolivia (Tn/año).....	43
Tabla 11: Producción de Caña de Azúcar Promedio 2013-2016 (Tn/año)	43
Tabla 12: Producción de azúcar por empresa.....	45
Tabla 13: Generación – bagazo de caña de azúcar.....	45
Tabla 14: Composición y Contenido Energético - Bagazo Caña de Azúcar	47
Tabla 15: Características Físicas- Pellets de Bagazo Caña de Azúcar.....	47
Tabla 16: Características de los pellets en un sistema CHP.....	48
Tabla 17: Consumo de energía en comunidades rurales	50
Tabla 18: Demanda de energía rural por vertientes.	50
Tabla 19: Resultados de la simulación 1 sistema CHP-Stirling.....	53
Tabla 20: Demanda de Energía Eléctrica por Proceso	55
Tabla 21: Resultados Simulación 2 del sistema CHP-Stirling.....	55
Tabla 23: Datos recopilados para el sistema de generación eléctrica con bagazo de caña de azúcar	61
Tabla 24: Datos recopilados Generador Diésel.....	61
Tabla 25: Procesos utilizados para modelar el sistema de generación eléctrica con bagazo de caña de azúcar	62
Tabla 26: Emisiones medioambientales por año.....	64
Tabla 27: Resultados	66
Tabla 28: Distancia entre la comunidad Aguahi e industrias procesadoras de azúcar.....	67
Tabla 29-A: Disponibilidad de energía Por provincias de Santa Cruz	78
Tabla 30-A: Disponibilidad de energía Por provincias de BENI.....	78

Tabla 31-A: Disponibilidad de energía Por provincias de PANDO	78
Tabla 32-A: Disponibilidad de energía Por provincias de LA PAZ	79
Tabla 33-A: Disponibilidad de energía Por provincias de ORURO	79
Tabla 34 -A: Disponibilidad de energía Por provincias de POTOSI	80
Tabla 35-A: Disponibilidad de energía Por provincias de TARIJA	80
Tabla 36-A: Disponibilidad de energía Por provincias de COCHABAMBA	81
Tabla 37-A: Disponibilidad de energía Por provincias de ORURO	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Emisiones de CO ₂ - combustión directa y en forma de pellets de madera.	13
Figura 2: Método de ataque.....	17
Figura 3: Etapas del análisis del Ciclo de Vida	19
Figura 4: Principales procesos, portadores de energía intermedia y productos energéticos finales de la conversión termoquímica de la biomasa	27
Figura 5: Planta de ciclo combinado con ORC	31
Figura 6: Ubicación de Bolivia en el continente Sud Americano	33
Figura 7: Mapa Geográfico de Bolivia.....	34
Figura 8: Distribución de residuos sólidos por cantidades generadas en Bolivia	40
Figura 9: Generación Residuos Sólidos estimada en áreas rurales y urbanas por departamento (Tn/día).....	41
Figura 10: Ubicación – Industrias Azucareras en Bolivia.....	44
Figura 11: Mapa satelital Comunidad Aguahi	49
Figura 12: Esquema Sistema Calor y potencia con motor Stirling	52
Figura 13: Demanda energía eléctrica por hora	53
Figura 14: Proceso de pelletizado	54
Figura 15: Diagrama de flujo de Procesos del sistema con Limites	58
Figura 16: Cambio climático ocasionado por proceso	65
Figura 17: Cambio climático del sistema con la variación de la distancia de transporte.....	68
Figura 18: Cambio climático del sistema, Generador VS Paneles solares.....	69

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, no todas las poblaciones a nivel mundial cuentan con servicios básicos como energía eléctrica, alrededor del 15 % no tiene acceso a este servicio. En el caso de las zonas, rurales, solo el 27% cuenta con acceso a este servicio básico, por lo que se buscan fuentes de energía alternativas como la biomasa [1].

Entre las fuentes alternativas de energía consideradas renovables usadas para reducir los impactos medioambientales, se puede citar a la biomasa; La agencia IEA Bioenergy calcula que el 10% de la energía primaria mundial procede de recursos asociados a la biomasa, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás [2]. Gran parte de este porcentaje pertenece a países pobres y en desarrollo, donde no se cuenta con energía eléctrica y la biomasa resulta ser la materia prima más utilizada para cocinar. El problema deriva que en gran parte de las ocasiones el uso de esta energía, no se hace de forma responsable, implicando el peligro de deforestación de grandes áreas. El Fondo de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) reconoce que un uso eficiente de los recursos de la energía de la biomasa, incluidos los residuos agrícolas y plantaciones de materiales energéticos ofrece oportunidades de empleo, beneficios ambientales y una mejor infraestructura rural [3].

En Bolivia, la biomasa como fuente de energía renovable, es una de las fuentes de energía más importantes en la matriz de consumo energético del país. Representa el 17% de todo el consumo de energía destinada a espacios de cocina a nivel nacional y es una alternativa de abastecimiento de energía viable para los habitantes de comunidades rurales remotas que no cuentan con servicios de energía eléctrica, que son alrededor del 25% de la población rural [4]. Esta biomasa consiste en su mayoría en leña, que en ocasiones proviene de la deforestación de bosques. Con la implementación de proyectos del ministerio de Hidrocarburos y Energía enmarcados en el Plan de Universalización del Servicio Eléctrico se pretende cubrir cerca al 100% en materia de servicio eléctrico hasta el año 2025 y así incidir en la reducción de esta biomasa (leña) y realizar proyectos empleando los residuos provenientes de las industrias. De acuerdo con la información publicada en el Plan de Desarrollo Energético (PDE), la biomasa en Bolivia, incluyendo leña, carbón, residuos agroindustriales, desperdicios forestales, vegetales y animales, son una fuente importante de energía en el área rural y en el sector industrial. El documento también manifiesta que “la biomasa es una alternativa que puede proporcionar

combustible a industrias rurales, así como a la generación de electricidad en lugares remotos donde no existe infraestructura convencional de energía” [5].

Las fuentes renovables de energía podrían ser una alternativa que puede reemplazar el uso masivo de los hidrocarburos que contaminan el planeta y es necesario reducir su ritmo de uso. En Bolivia la biomasa que se usa para generar electricidad consiste en residuos agroindustriales como es el caso del bagazo de caña (industrias azucareras) y cáscara de castaña (distribuidora eléctrica de Riberalta) [6].

La creciente cantidad de producción de azúcar representa un gran potencial en la cogeneración de energía, esto debido a que el residuo generado de la producción de azúcar y alcohol (bagazo de caña de azúcar), actualmente es empleado para fines energéticos en la industria Guabirá, a través del proyecto de Cogeneración GUABIRÁ ENERGÍA [5], la cual consiste en la producción combinada de energía electromecánica y calor útil, el proyecto tiene varios impactos positivos medioambientales, sociales, para la comunidad local, para el país, y para el equilibrio global del carbono.[7]

Este trabajo se centra en investigar el uso de residuos agroindustriales en forma de pellets con el fin de generar energía eléctrica. En este contexto Erlich (2011), en una investigación usa pellets de bagazo de caña de azúcar en un gasificador de corriente descendente, sugiere que los pellets de bagazo y de madera tienen reactividad similar en términos del desarrollo de la temperatura en la unidad de gasificación [2]. El uso de los bagazos sobrantes en forma de pellets fuera de las industrias en los equipos de conversión de energía a pequeña escala representa una opción adecuada para la electrificación rural, cocina y calefacción [2]. Como en la actualidad el departamento de Santa Cruz genera grandes cantidades de bagazo de caña de azúcar y que tiene un alto potencial futuro, además de existir sectores rurales que no cuentan con energía. El uso de bagazo de caña de azúcar representa una gran alternativa para llegar a estos sectores alejados de ese departamento. Debido a que las tecnologías para el aprovechamiento de biomasa y generación de electricidad, como gasificadores se encuentran en etapa de experimentación y adaptación [8] y al no existir muchas investigaciones acerca sistemas de calor y potencia (CHP) basados en un motor Stirling, el estudio puede representar una alternativa para llegar a las zonas rurales aisladas. Además se realiza una evaluación de los impactos medioambientales empleando la metodología Life Cycle Assesment (LCA) que involucra el uso del bagazo, siendo una metodología que ha demostrado ser una de las herramientas más eficaces para llevar a cabo el análisis de cualquier proceso, sistema

y productos. Esta metodología permite obtener resultados para cada operación que involucra el proceso y se llega a determinar cuál es la que causa mayor impacto durante la vida de un proceso o sistema, ayuda con la toma acciones para reducir los impactos, la interpretación de las conclusiones del LCA puede utilizarse como recomendaciones y toma de decisiones de acuerdo con la definición de objetivo y alcance [9].

1.1 Antecedentes

El agotamiento de los combustibles fósiles y los impactos ambientales adversos debido al uso de estos combustibles son dos preocupaciones principales que han llevado a realizar diferentes estudios para la generación de energía teniendo en cuenta fuentes renovables de energía como una alternativa que puede reemplazar a los combustibles fósiles. Entre todas las fuentes renovables, la biomasa es el único recurso que puede convertirse directamente en productos finales de alto valor (bioenergía y biocombustible) en cualquier forma (sólida, líquida o gas), utilizando una tecnología de conversión termoquímica. La explotación de la biomasa con fines de producción de energía puede reducir significativamente las cargas medioambientales asociadas con producción de energía alimentada con combustibles fósiles [10].

Nishiguchi y Tabata (2016) estudiaron los impactos sociales, económicos y ambientales que ocasiona el uso de biomasa leñosa para fines energéticos, mediante la combustión directa y en forma de pellets, con estos objetivos clasificaron madera aserrada, residuos de aserraderos y chatarra de construcción. La madera de construcción incluye madera que no se utiliza para la construcción, así como otros materiales industriales, tales como madera adelgazada y las raíces de maderas blandas. El objetivo de este estudio fue analizar los aspectos sociales, económicos y ambientales de la utilización de energía de la biomasa leñosa, teniendo en cuenta los efectos directos e indirectos, que ocasionaba la combustión directa (caso 1) y la combustión de pellets de madera (caso 2) utilizando la metodología LCA. Los resultados de la evaluación la emisión inducida de CO₂ son presentados en la Figura 1.

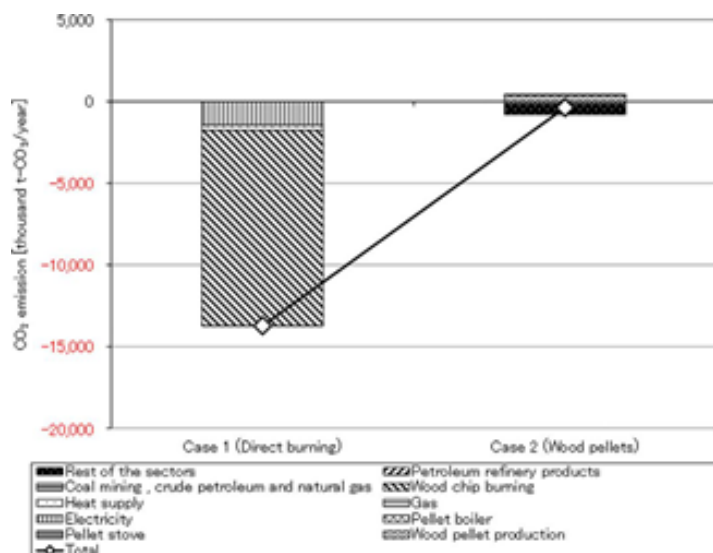


Figura 1: Emisiones de CO₂ - combustión directa y en forma de pellets de madera. [11].

Los resultados incluidos en la Figura 1, indican que el caso 1 fue el que más contribuyó a la reducción del CO₂, (provocando una disminución de 13.722 mil Tn-CO₂). Además, implicó la mayor cantidad de producción de energía por empleado. Aunque las emisiones de CO₂ se redujeron en los dos casos, la reducción más pequeña se encontró en el caso 2 (una disminución de 375 mil Tn-CO₂) [11].

El método de generación de energía de los pellets de madera, en particular, contribuyó al aumento de la producción, creación de empleo y una disminución de las emisiones de CO₂. Por otro lado, la recuperación energética por combustión directa sólo contribuyó a una disminución de las emisiones de CO₂. Estos resultados indicaron que la selección de la tecnología apropiada era de importancia crucial.

Perilhon, Alkadee, Descombes, y Lacour (2012), estudiaron el ciclo de vida aplicada a la generación de electricidad a partir de biomasa renovable. El estudio tenía como objetivo comparar los impactos medioambientales de varias plantas para la generación de energía, usando como combustibles residuos de madera y varias potencias (2 MW y 10MW). El estudio incluía la comparación con un generador diésel, aplicando la metodología LCA y el programa SimaPro. Según los resultados obtenidos del análisis de impactos, las plantas que usan biomasa en comparación con el generador diésel son medioambientalmente más amigables debido a que tienen menos impacto sobre la salud, no causan impactos en el ecosistemas y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) [12].

En Bolivia el *National Biomass Program* (NBP) realizó estudios sobre el uso de residuos agroindustriales para fines energéticos como es el caso, *Substitution of Firewood with Rice*

Husks in Rice Mills of Santa Cruz, la cual tenía como objetivo incrementar la eficiencia en el uso de la energía térmica y el manejo general de energía en las industrias procesadoras de arroz. El proyecto consistió en rediseñar un horno de combustión de una capacidad de 600 kW, que substituya el 100% de la leña por cáscara de arroz. Después de las pruebas realizadas el horno alcanzó una capacidad de 460 kW la cual era suficiente para secar 90 ton de arroz, el proceso dura 14 horas comparado con las 18 a 20 horas que tomaba secar a misma cantidad con leña [13]. Mencionar que en este estudio no se realizó un análisis de los impactos ambientales que ocasionaba los residuos desde el transporte hasta su uso final.

En otro estudio realizado para la generación de energía a base de cáscara de arroz en Malasia por Shafie, Mahlia, Masjuki, & Rismanchi evaluaron de la electricidad (1.5MWh) derivada de la combustión de la cáscara de arroz en las fábricas de arroz, teniendo como resultados que la electricidad derivada de la cáscara de arroz da el beneficio para el componente de cambio climático. Este estudio demuestra que la tasa de producción de CO₂ de la planta de carbón genera aproximadamente 1022 g/kWh de electricidad. La emisión de CO₂ para la electricidad derivada de la cáscara de arroz se calcula en 217 g/kWh. El uso de electricidad derivada de la cáscara de arroz da 21% de reducción de CO₂, este valor varía en comparación con otros estudios. Las inconsistencias en los supuestos aplicados como términos de eficiencia, los componentes del inventario de ciclo de vida y los límites del sistema son los principales factores que generan la variación en los resultados de LCA [14].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Se plantea como objetivo del presente trabajo fin de master evaluar la generación de energía eléctrica en zonas rurales de Bolivia, empleando residuos agroindustriales en forma de pellets, además de determinar los impactos medioambientales que ocasiona el uso de los mismos.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para poder cumplir con el objetivo general de este trabajo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar las zonas rurales que no cuentan con energía eléctrica en Bolivia, usando la base de datos del CENSO de población y vivienda 2012, y el programa REDATAM.
- Definir la zona rural representativa, que se encuentre próxima a la fuente de residuos agroindustriales para el estudio y determinar la demanda de energía eléctrica de la misma.
- Identificar los residuos agroindustriales existentes en Bolivia, y definir el residuo a ser utilizado en forma de pellets, disponibilidad además de sus características y propiedades para la generación de energía.
- Realizar una simulación de la planta de calor y potencia (CHP) y motor Stirling alimentada con residuos agroindustriales en forma pellets en HOMER y determinar si esta puede satisfacer la demanda energética de la zona seleccionada.
- Realizar una evaluación de los impactos ambientales que implica el uso de residuos agroindustriales en forma de pellets como combustible en la planta CHP y motor Stirling, para satisfacer la demanda energética en la población aplicando la metodología Life Cycle Assesment (LCA). La misma metodología permitirá conocer las ventajas y desventajas comparadas con el combustible tradicional (combustible fósil) para la generación energética.

1.3 Alcance

El alcance de este trabajo fin de master es evaluar los impactos ambientales, riesgos y oportunidades que involucra todo el proceso de la generación de energía eléctrica, con la tecnología seleccionada. Los efectos ambientales pueden incluir una amplia gama de efectos directos e indirectos. Se definen como directos los efectos ambientales de la producción y el uso de los pellets, como indirectos aquellos efectos ambientales que ocurren en el resultado del cambio en otros sistemas y procesos (por ejemplo, producción). Sus efectos estructurales y conductuales los que ocurren a través de cambios en estilos de vida y sistemas de valores [15].

1.4 Preguntas de Investigación

Las preguntas planteadas para el desarrollo del estudio son:

1. ¿Las zonas rurales que no tiene acceso a energía tienen las mismas necesidades energéticas en las diferentes regiones (Occidental y Oriental) de Bolivia?
2. ¿La disponibilidad de los residuos agroindustriales en forma de pellets empleado como combustible en la generación de energía en la planta CHP puede llegar a cubrir la demanda a lo largo del año o se requerirá un sistema híbrido de tecnologías para satisfacer la misma?
3. ¿Puede la tecnología CHP con motor Stirling para la generación de energía eléctrica cubrir la demanda en la zona rural identificada para el estudio?
4. ¿Los impactos ambientales que implica el uso de residuos agroindustriales en forma de pellets para fines energéticos difiere de los impactos que ocasiona la combustión directa de los residuos?

1.5 Método de Ataque

El método de ataque planteado para cumplir con los objetivos del trabajo fin de master se incluyen en la en la Figura 2.

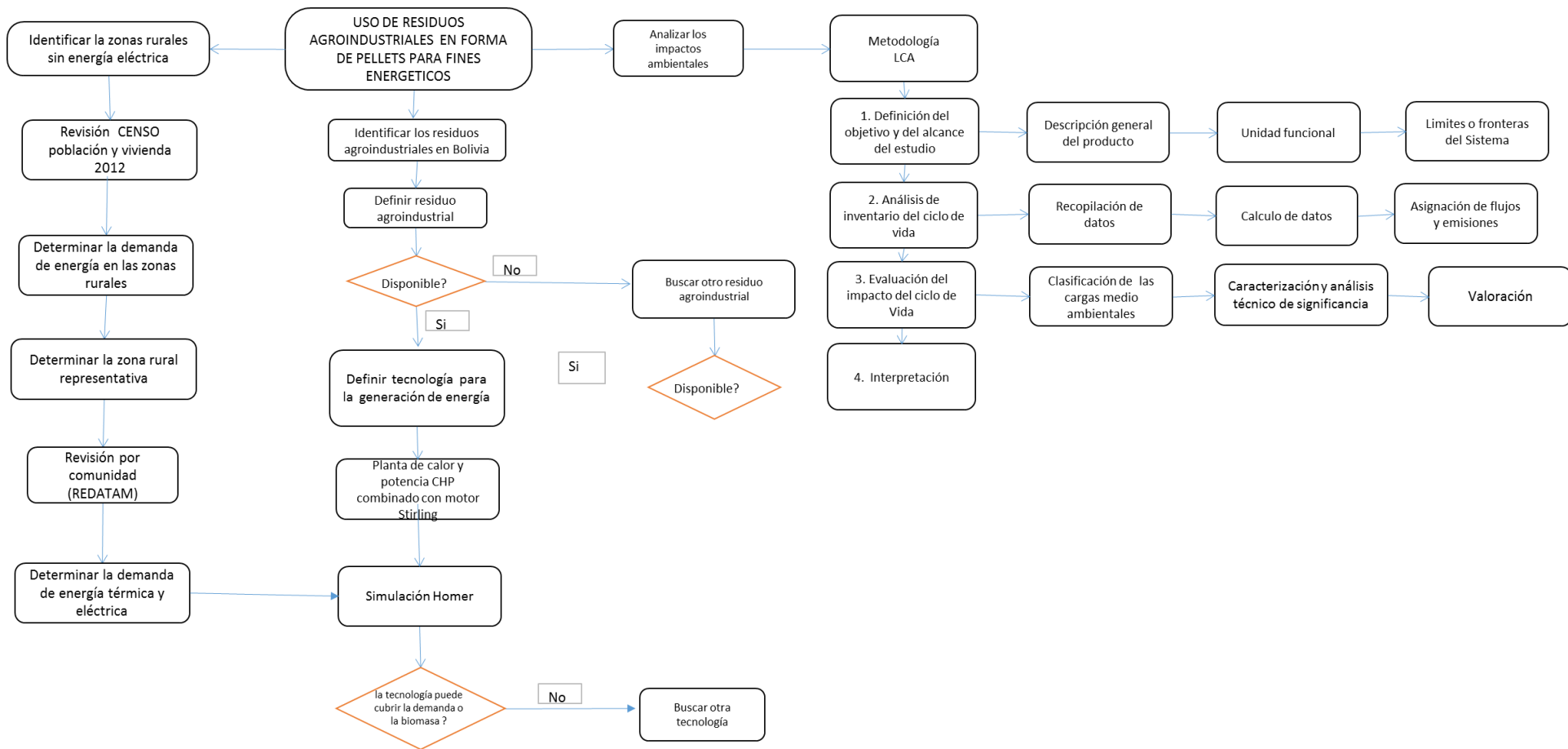


Figura 2: Método de ataque

2 MARCO TEÓRICO

2.1 *Análisis del Ciclo de Vida*

El análisis del ciclo de vida (ACV), es una técnica que investiga y evalúa los impactos ambientales de un producto o servicio durante todas las etapas de su existencia [16]. Así, también cuantifica las emisiones, pero el impacto real de esas emisiones depende de cuándo, dónde y cómo se liberen en el ambiente.

El ACV trata los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, desde la adquisición de materia prima pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado hasta su disposición final [16]. Esta evaluación se realiza mediante la **cuantificación** del uso de recursos (“entradas” como energía, materias primas, agua) y emisiones ambientales (“salidas” al aire, agua y suelo) asociados con el sistema que se está evaluando.

La *International Organization for Standardization* (ISO), tiene estandarizado los documentos marco para la realización de un análisis de ciclo de vida. Estas normas son la ISO 14040 (principios y marco de referencia para el ACV) y la ISO 14044 (requisitos y directrices para el ACV), adoptadas en castellano por AENOR como UNE-EN ISO 14040 y UNE-EN ISO 14044 [17].

Los impactos medioambientales que se valoran habitualmente en el ACV incluyen el cambio climático, la reducción de la capa de ozono, la generación de ozono en la troposfera, eutrofización, acidificación y otras muchas [18].

2.1.1 **Etapas de un Análisis del Ciclo de Vida**

El ACV se utiliza como medio para proveernos de un marco sistemático que ayude a identificar, cuantificar, interpretar y evaluar los impactos medioambientales de un producto, una función o servicio de manera ordenada [19].

Se trata de una herramienta diagnóstica que puede ser utilizada para comparar productos o servicios existentes con otros o con normativas, pudiendo indicar áreas de mejora de productos existentes o ayudar en el diseño de nuevos productos.

Las fases o etapas principales del procedimiento para el ACV son cuatro y están interrelacionadas las cuales se muestran en la Figura 1, estas se definen según la Norma ISO 14040 [18]:

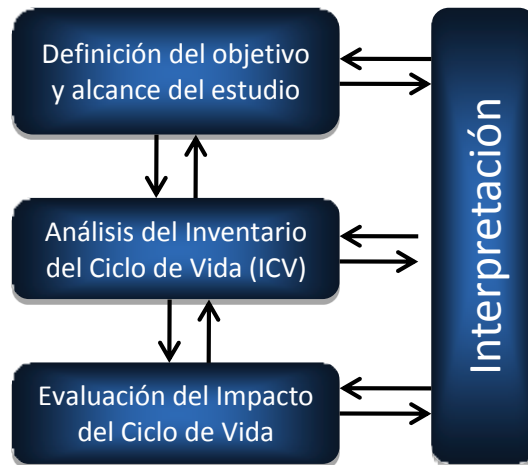


Figura 3: Etapas del análisis del Ciclo de Vida [16]

2.1.1.1 Definiciones del Objetivo y Alcance del Estudio.

Esta etapa incluye el modo en que los resultados se pretenden comunicar. El objetivo y el alcance deben ser coherentes con la aplicación prevista del ACV e incluye información técnica [16]. El alcance involucra una serie de elementos:

1) Unidad Funcional

Es el elemento clave del ACV y ha de ser definido claramente. Es la medida de la función del sistema estudiado y da una referencia de cuáles son las entradas y salidas relacionadas. Esto permite la comparación de dos sistemas diferentes. Ha de ser precisa y suficientemente comparable para ser utilizada como referencia. Por ejemplo, la unidad funcional para un sistema de pintado puede estar definida por la superficie protegida durante 10 años. La comparación del impacto medioambiental de dos sistemas de pintado diferentes será posible si la unidad funcional es la misma.

La unidad funcional utilizada en el caso de un proyecto ha de ser determinada mediante la elaboración de los datos y estudios recogidos [9].

2) Límites o fronteras del Sistema

Determinan qué unidades de procesos se incluirán en el estudio de ACV. Se pueden considerar los siguientes límites:

- **Límites entre el sistema tecnológico y naturaleza.**- Un ciclo de vida normalmente empieza con la extracción de las materias primas y el transporte de la energía. Las etapas finales normalmente incluyen generación de residuos y/o producción de calor [20].
- **Área geográfica.**- Definir los límites espaciales
- **Horizonte de tiempo.**- Definición de límites temporales. Básicamente, los ACVs se llevan a cabo para evaluar el impacto presente y para predecir los escenarios futuros. Las limitaciones de tiempo dependen de la tecnología utilizada, la vida de los contaminantes, etc.
- **Límites entre el actual ciclo de vida y los ciclos de vida de otros sistemas técnicos relacionados.**- Las maneras en que se interrelacionan los sistemas de productos son muy complejas. Idealmente, los ciclos de vida de los productos se utilizan para producir los materiales y también se requieren productos bajo investigación. Eso llevaría a listados de entradas y salidas interminables. Consecuentemente, se ha de marcar los límites excluyendo determinadas partes que puedan alterar el resultado final del estudio. Es muy útil tener un diagrama del sistema para identificar los límites y pasa lo mismo con algunas elecciones como la producción, disposición de bienes de capital y límites naturales [20].

3) Requisitos de calidad de datos

La validez de los resultados de los estudios de ACV depende mucho de la calidad de los datos requeridos.

Es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Cobertura de tiempo
- Cobertura geográfica
- Cobertura tecnológica
- Precisión
- Representatividad de los datos
- Consistencia y reproducibilidad de los métodos utilizados para obtener los datos
- Certeza de la información y datos que faltan

2.1.1.2 Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

En esta etapa se recopilan y cuantifican las entradas y salidas (flujos) y los resultados de un sistema del producto durante su ciclo de vida. Los datos se refieren a la unidad funcional definida anteriormente [9 y 18].

El proceso de análisis de inventario es un proceso iterativo. A medida que se recopilan los datos se aprende más sobre el sistema, se pueden identificar nuevos requisitos o limitaciones, que requieran cambios en los procedimientos de recopilación de datos de manera que se puedan cumplir con los objetivos de estudio. A veces se puede identificar algunos que requieren una revisión del objeto o del alcance del estudio [19].

- Recopilación de datos: para cada proceso unitario y dentro los límites del sistema pueden ser: entradas y salidas de energía, materia, entradas auxiliares, otras entradas físicas, productos, coproductor y residuos, emisiones de aire vertidos al agua y suelo, etc.
- Calculo de datos: validación de los datos recuperados, relación de los datos con los procesos unitarios y con el flujo de referencia de la unidad funcional.
- Asignación de flujos y emisiones y vertidos: Deben considerarse procedimientos de asignación para los sistemas que incluyen productos múltiples y para los sistemas de reciclado.

2.1.1.3 Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

La fase de Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida relaciona los resultados del Análisis de Inventario con los efectos ambientales a que dan lugar. En general, este proceso implica la asociación de los datos del inventario con las categorías de impactos ambientales y con los indicadores de esas categorías para entender estos impactos [21]. En el contexto del ACV, se define un impacto como la anticipación razonable de un efecto, ya que no se trata de determinar impactos reales, sino de ligar los datos obtenidos en el inventario con una categoría de impacto y cuantificar la contribución a esta de cada uno de ellos [16].

La Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida consta de tres etapas:

- **Clasificación:** consiste en el agrupamiento de las cargas ambientales debidas al consumo de recursos y a la generación de emisiones y residuos, en función de los potenciales efectos ambientales que produce cada una de ellas.
- **Caracterización y análisis técnico de significancia (o normalización):** es el cálculo de la contribución potencial de cada compuesto detectado en el análisis de inventario a un efecto ambiental.
- **Valoración:** el objetivo de esta etapa es determinar qué efecto causa menor impacto teniendo en cuenta el Ciclo de Vida completo, para lo que los efectos ambientales son sopesados unos con otros con la finalidad de comparar los perfiles normalizados obtenidos en la etapa anterior.

2.1.1.4 Interpretación

La Interpretación es la combinación de los resultados del análisis de inventario y de la evaluación de impacto, en la cual se proporcionan resultados coherentes con el objetivo y el alcance definidos. A veces, puede implicar un proceso iterativo de revisión y actualización del alcance, así como de la naturaleza y la calidad de los datos recopilados para que sean coherentes con el objetivo y el alcance [16].

El análisis puede incluir medidas cualitativas y cuantitativas de mejoras, como cambios en el producto, en el proceso, en el diseño, sustitución de materias primas, gestión de residuos, etc. De igual forma, puede ir asociada con las herramientas de prevención de la contaminación industrial, tales como minimización de residuos, o rediseño de productos [19].

2.2 Biomasa

Biomasa es un término para todo el material orgánico proveniente de plantas incluyendo algas, arboles, cultivos y residuos agroindustriales [22]. La biomasa es la fracción biodegradable de productos, deshechos y residuos de la agricultura, incluyendo sustancias vegetales, animales, silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales [23].

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos

volátiles. Estos compuestos volátiles, son los que concentran una gran parte del poder calórico de la biomasa. El poder calórico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad [24]. Por estos motivos, la explotación de biomasa como fuente de producción de energía ha ganado mucha popularidad en los últimos años [9]. Algunas cosechas han sido propuestas o están siendo probadas para la agricultura comercial de energía, los cultivos energéticos potenciales incluyen cultivos leñosos y hierbas plantas herbáceas, almidón y cultivos de azúcar y oleaginosas. En general las características del cultivo energético ideal son:

- Alto rendimiento (producción máxima de materia seca por hectárea).
- Bajo consumo de energía para producir energía a partir de este cultivo.
- Bajo costo.
- Composición con la menor cantidad de contaminantes.
- Bajo requerimiento de nutrientes para producir energía.

La biomasa esta disponible sobre una fase renovable, ya sea a través de procesos naturales, o puede estar disponible como un subproducto de las actividades humanas, es decir, los desechos orgánicos. El potencial de energía de biomasa derivada de los residuos forestales y agrícolas en todo el mundo, se estima en unos 30 EJ/año en comparación con una demanda mundial de energía de mas de 400 EJ [22].

Las principales propiedades de interés durante su posterior procesamiento como fuente de energía se refiere a:

- Contenido de humedad (intrínseco y extrínseco)
- Poder calorífico
- Proporciones de carbón fijo y volátil
- Contenido de cenizas y residuos
- Contenido de metales alcalinos
- Relación celulosa/lignina

Para procesamiento de biomasa seca las primeras cinco son de interés mientras que para biomasa húmeda, la primera y la última propiedad son las que presentan mayor interés [22].

2.2.1 Tipos de Biomasa

Los investigadores caracterizan los diferentes tipos de biomasa de diferentes maneras, pero un método simple consiste en definir cuatro tipos principales:

- Plantas leñosas, incluyendo residuos forestales.
- Plantas herbáceas.
- Plantas acuáticas.
- Abonos, residuos agroindustriales y municipales.

Dentro de las plantas herbáceas se pueden subdividir aún más en aquellas con alto y bajo contenido de humedad, basándose principalmente en el contenido de humedad de la biomasa. El tipo de biomasa seleccionado determina la forma más probable del proceso de conversión de energía. La biomasa seca se transforma mediante gasificación, pirólisis y combustión.

2.2.2 Uso de la Biomasa como Fuente de Energía en Bolivia

De acuerdo al balance energético nacional, la biomasa, como fuente de energía renovable, es la fuente de energía más importante en la matriz de consumo energético del país dado que representa el 17% de todo el consumo, a continuación le sigue la hidroelectricidad con un 4%. El suministro de electricidad para el país, la generación hidroeléctrica alcanza a cubrir un 39% de la producción de electricidad. Asimismo, la generación en base a bagazo de caña de las industrias procesadoras de azúcar aporta con un 1% de la producción de electricidad. Se prevé también que la generación de electricidad con BAGAZO DE CAÑA, incorpore al menos 39 MW en el año 2025 [25].

La biomasa es fuente del 17% de la energía total consumida a nivel nacional en Bolivia y es una alternativa de abastecimiento de energía viable para los habitantes de comunidades rurales remotas. El consumo de biomasa en Bolivia es relativamente bajo y gran parte se debe al consumo de la leña. De este 17%, el 30% se debe al uso de estirengicol animal y el 70% a la leña. El índice de consumo de biomasa en el país habría mostrado un descenso de un 3% durante los últimos años, pasando de representar el 20% del total de energía consumida en el año 2005 a un 17% el año 2010 [20].

2.2.2.1 Biomasa como Fuente de Energía en las Zonas Rurales de Bolivia

En el año 2000, la energía de la biomasa (leña, estiércol, carbón y silvicultura y residuos vegetales), representó aproximadamente un tercio del consumo nacional total de energía en Bolivia, principalmente en zonas rurales en forma de leña (alrededor de 965.000 toneladas al año) y estiércol (alrededor de 263.000 toneladas al año), lo que corresponde a alrededor del 78% del consumo total de energía de los hogares. La biomasa representa aproximadamente el 90% del consumo total de energía del hogar. Las industrias rurales consumen el equivalente cerca de medio millón de toneladas de leña, suministradas casi en su totalidad por canales comerciales. La eficiencia del uso de la biomasa por las industrias rurales es muy baja, a menudo debido al bajo desarrollo tecnológico. Los principales problemas con que se enfrenta la biomasa en el lado de la oferta son el bajo nivel de producción de leña en las tierras altas y la falta de regulaciones sobre el acceso, control y explotación de los recursos forestales con fines energéticos, lo que conduce a pautas de oferta insostenibles. Por el lado de la demanda, el principal problema es el uso ineficiente de la biomasa [13].

Un estudio realizado por la NBP identificó un total de 3.722 industrias rurales en siete departamentos, donde la biomasa es la principal fuente de energía. La mayoría de las industrias producen materiales de construcción (ladrillo, yeso, teja, cal), mientras que el resto pertenece a sectores industriales tradicionales (cerveza de maíz, cerámica, arroz, brandy, azúcar crudo, etc.). Debido al alto grado de dispersión de estos establecimientos. Las fuentes de energía de la biomasa utilizadas en las industrias rurales incluyen leña, aserrín, carbón, estiércol, residuos forestales, bagazo y yareta - solo o en combinación con GLP, gasolina, diésel, electricidad e incluso neumáticos usados. Con un consumo estimado de alrededor de 345.000 Tn/año, la leña es la fuente de energía más utilizada en las pequeñas industrias rurales, y el aserrín para la producción de ladrillos es la segunda fuente de energía más utilizada, alrededor de 130.000 Tn/año[13].

La evaluación de los patrones de consumo de biomasa en las industrias rurales mostró que la transformación de la biomasa en energía se basa en tecnologías ineficientes y a menudo obsoletas. Se encontró que el costo de la biomasa utilizada por la industria rural representa a menudo una proporción considerable del costo total del producto. El NBP llegó a la conclusión de que el diseño de los proyectos de biomasa debe necesariamente apuntar a mejorar las tecnologías utilizadas por las industrias rurales para mejorar su

competitividad [13]. Con el fin de mejorar las condiciones de operación de las industrias la NBP ha desarrollado algunos proyectos piloto entre los cuales encuentran:

- Sustitución de la leña por el bagazo en las industrias de procesamiento de chancaca en Saipina, Santa Cruz.
- Sustitución de leña con cáscara de arroz en las fábricas de arroz de Yapacaní, Santa Cruz.
- Desarrollo de proyectos de eficiencia de biomasa en industrias rurales del Departamento de Cochabamba.
- Uso eficiente de la biomasa en las industrias de yeso en Pacajes, Departamento de La Paz.
- Uso eficiente de la biomasa en la producción de ulexita en Nor Lípez, Departamento de Potosí.

2.2.2.2 Residuos Agroindustriales en Bolivia

La biomasa que actualmente se usa en Bolivia para generar electricidad se basa en:

- Bagazo de caña, empleada en las industrias procesadoras de azúcar.
- Cáscara de castaña, empleada en la distribuidora eléctrica de Riberalta.

Se tiene también otro tipo de biomasa que podría ser utilizada en Bolivia para generar electricidad:

- Cáscara de girasol, procedente de instrúas aceiteras.
- Aserrín, proveniente de aserraderos.
- Cáscara de arroz.
- Biogás, proveniente de plantas de tratamiento de aguas, vertederos de basura, granjas, etc [6].

2.3 Tecnologías para la Conversión de Biomasa

Se pueden distinguir dos tipos de conversión de la biomasa. La conversión termoquímica que consiste en la pirolisis, gasificación, combustión y licuefacción. La conversión bioquímica que abarca dos opciones de proceso la digestión y la fermentación. El rango y los posibles rendimientos de productos de la conversión termoquímica se incluyen en la Figura 4.

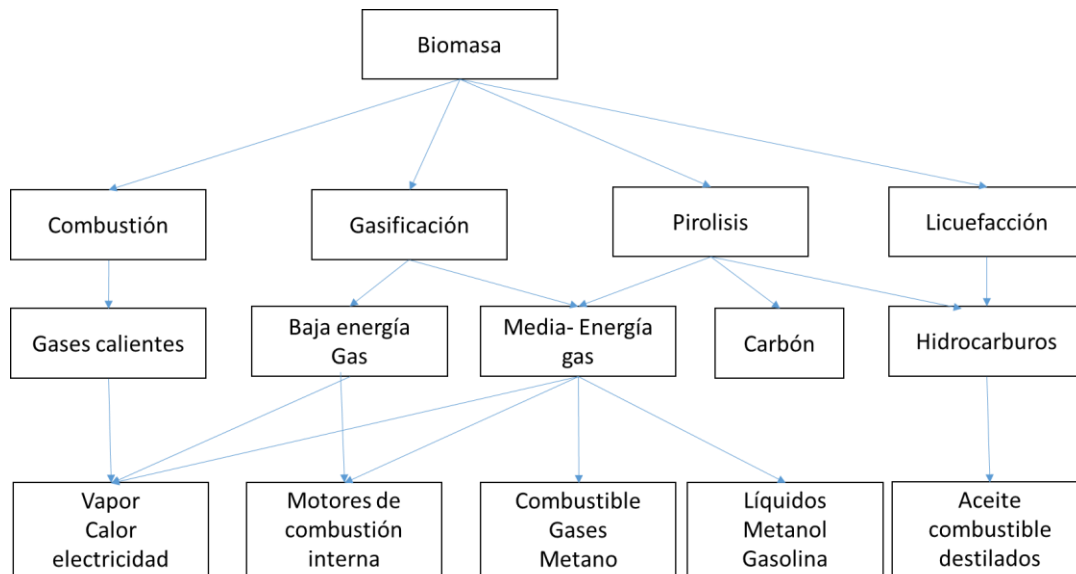


Figura 4: Principales procesos, portadores de energía intermedia y productos energéticos finales de la conversión termoquímica de la biomasa

2.3.1 Tecnologías Primarias de Conversión de Biomasa

2.3.1.1 Combustión

Se trata de un proceso en el que el carbono y el hidrógeno contenidos en el combustible reaccionan con el exceso de oxígeno para formar CO_2 y agua para liberar calor [23]. La combustión se utiliza sobre una amplia gama de salidas para convertir la energía química almacenada en la biomasa en calor, potencia mecánica o electricidad usando varios elementos del equipo de proceso. Es posible quemar cualquier tipo de biomasa, pero en la práctica la combustión es factible solo para la biomasa con contenido de humedad superior al 5%, a menos que la biomasa sea previamente secada [26]. La escala de la planta de combustión varía desde muy pequeña, calefacción doméstica, hasta plantas industriales.

2.3.1.2 Gasificación

La gasificación es la conversión de la biomasa en una mezcla de gases combustibles mediante la oxidación parcial de la biomasa a altas temperaturas, típicamente en el rango de 800 a 900 °C. El gas de bajo poder calorífico, producido (aproximadamente 4 a 6 MJ/Nm^3) puede quemarse directamente o utilizarse como combustible para motores de gas y turbinas de gas. El gas producto puede utilizarse como materia prima, gas de síntesis, en la producción de reactivos químicos [26].

2.3.1.3 Pirolisis

La pirolisis es la conversión de la biomasa en fracciones sólidas y gaseosas líquidas ,denominadas bio-petróleo o bio-crudo, calentando la biomasa en ausencia de aire a alrededor de 500 °C, La pirolisis flash produce bio-petróleo que permite la conversión de biomasa en bio-crudo con una eficiencia de hasta un 80% [26].

2.3.2 Tecnologías Secundarias para Generar Calor y Electricidad

Se han desarrollado varias tecnologías para la conversión de energía en sistemas de cogeneración alimentados con biomasa. Básicamente, estos incluyen una tecnología de conversión primaria que convierte la biomasa en agua caliente, vapor, productos gaseosos o líquidos descritas anteriormente y una tecnología de conversión secundaria que transforma estos productos en calor y energía [27]. Las principales tecnologías de conversión de energía de biomasa se incluyen en Tabla 1.

Tabla 1: Tecnologías secundarias para la generación de calor y electricidad [27]

Tecnología primara	Tecnología secundaria
Combustión que produce vapor de agua caliente	Máquina de vapor, turbina de vapor, motor Stirling, <i>Organic Rankine Cycle (ORC)</i>
Gasificación producción de combustibles gaseosos	Motor de combustión interna, micro-turbina, turbina de gas.
Pirolisis producción de combustibles gaseosos y líquidos	Motor de Combustión Interna.
Bioquímica/biológica procesos producción de etanol, biogás	Motor de Combustión Interna.
Química /procesos mecánico, producción de biodiesel	Motor de Combustión Interna.

De todas las tecnologías mencionadas en la Tabla 1, las tecnologías de combustión y turbina de vapor son la combinación más utilizada, en particular para los sistemas de cogeneración alimentados con biomasa a gran escala y mediana escala. Por otro lado, la combinación de las tecnologías de "combustión" y "ciclo orgánico de Rankine" está recibiendo cada vez más atención en el desarrollo de sistemas de cogeneración alimentados con biomasa.

En la jornada internacional de biomasa del 2013, la Federación Italiana de Productores de Energía de Fuentes Renovables (FIPER) agrupó a 86 plantas de producción de energía térmica a partir de biomasa leñosa, representando el 90% de este sector en Italia, FIPER estimó que 801 municipios de Italia podrían tener calefacción con plantas de generación

con biomasa, pero también mencionan que las tecnologías de conversión de biomasa no pueden ser desarrolladas a gran escala de manera aislada, a menos que la cadena de valor en su totalidad, desde la materia prima hasta los productos terminados, sea tenida en cuenta para una implementación exitosa[28].

2.3.2.1 Generación combinada de Calor y Electricidad (CHP)

La generación combinada de calor y electricidad o cogeneración se ha considerado mundialmente como la principal alternativa a los sistemas tradicionales en términos de ahorro de energía y conservación del medio ambiente. Algunos investigadores sostienen que el calor debe ser producido junto con la electricidad siempre que sea posible [29]. Debido a que el beneficio significativo es la eficiencia global, que puede ser de hasta un 85 a 90%. Si sólo se produce electricidad, sólo se puede conseguir una eficiencia del 40 a 45%, por lo tanto, la cogeneración puede ser considerada como una manera eficiente de producir energía [30].

El objetivo más prometedor en la aplicación de la cogeneración es la producción de energía para los edificios, donde la pequeña escala CHP suele instalarse. En términos generales, el concepto de "CHP a pequeña escala" significa sistemas combinados de generación de calor y electricidad con una potencia eléctrica inferior a 100 kW. La "CHP de micro escala" también se utiliza a menudo para designar sistemas de cogeneración de pequeña escala con una capacidad eléctrica inferior a 15 kWe [31].

En contraste con las centrales tradicionales que distribuyen la electricidad a través de sistemas de transmisión de alta tensión al usuario final, los sistemas de cogeneración generan electricidad en el punto de uso final. Además, los sistemas de cogeneración recuperan el calor disipado del proceso de generación y lo convierten en energía útil para calefacción, refrigeración u otras necesidades energéticas de un edificio o instalación [27]. Un claro ejemplo es Finlandia la cual en 1998 el 33% de la electricidad se produjo por cogeneración y para el 2001, la proporción era casi de un 40% [30].

2.3.2.1.1 Motor Stirling

El motor Stirling es un motor alternativo de combustión externa desarrollado por Robert Stirling en 1817. Utiliza una fuente externa de energía para calentar el gas ubicado dentro de un cilindro. Este gas, bajo presión, se expande cuando se calienta, impulsando un

pistón para realizar trabajo. El volumen de gas expandido, habiendo liberado gran parte de su energía, se enfría y comprime antes del siguiente ciclo de calentamiento [32]. La ventaja del motor Stirling sobre los motores de combustión interna es que el calor no se suministra al ciclo por combustión del combustible dentro del cilindro, sino que se transfiere desde el exterior a través de un intercambiador de calor en el mismo con una caldera de vapor. La entrada de calor procedente de la combustión de combustible se transfiere al gas de trabajo a través de un intercambiador de calor caliente a una temperatura elevada, típicamente entre 680°C y 780°C, el calor que no se convierte en trabajo en el eje es transferido al agua de refrigeración en un intercambiador de calor frío a 25°C a 75°C [33].

El motor de ciclo Stirling es muy adecuado para la potencia estacionaria. Es inherentemente eficiente en el consumo de combustible, ya que tiene una alta eficiencia teórica entre los motores de calor de pequeña capacidad y es intrínsecamente "verde", ya que puede utilizar diferentes tipos de fuentes de energías renovables, incluidas la energía solar y geotérmica, la biomasa y el biogás a partir de desechos de animales y basura. Dado que implica la quema continua del combustible en lugar de la combustión intermitente presentada por los motores de combustión interna, quema el combustible más completamente, produciendo emisiones no deseadas mucho más bajas [32]. La posibilidad de usar biomasa como combustible hace que los motores Stirling sean atractivos para regiones aisladas donde este recurso está disponible y donde el suministro de electricidad a través de la red es completamente inviable. Si se los compara con otras alternativas energéticas que se usan comúnmente en áreas aisladas (energía solar y eólica, motores de combustión interna) y otras tecnologías prometedoras (micro turbinas y pilas de combustible), los motores Stirling alimentados con biomasa son aún más atractivos: tienen un servicio continuo y estable, no necesitan otras fuentes generadoras auxiliares y elimina los altos costos asociados con el consumo y transporte de combustibles fósiles. El acoplamiento del motor con un horno de biomasa o un gasificador de biomasa también es una opción. En el primer caso, el motor utilizará la energía de los gases de combustión calientes [32].

2.3.2.1.2 Combustión y Ciclo Orgánico de Rankine (ORC)

Es similar al de la tecnología de gasificación y turbina / motor de vapor. En lugar de agua, ORC utiliza productos químicos orgánicos con propiedades termodinámicas favorables como fluidos de trabajo. El ciclo está constituido por los mismos componentes básicos que el ciclo de Rankine, los cuales se muestran en la Figura 5. El fluido de trabajo orgánico se evapora requiriendo una menor cantidad de calor que el agua, y por lo tanto, ORC opera a temperaturas y presiones más bajas que el proceso de vapor convencional. Por esta razón, la ORC es particularmente adecuada para los sistemas de cogeneración a pequeña escala y microcapas, para sistemas tradicionales de turbina de vapor, las eficiencias eléctricas típicas son 6 a 8% para sistemas de cogeneración de pequeña escala con un tamaño inferior a 30 kWe, lo que hace que los sistemas de cogeneración a base de vapor ya no sean atractivos y aplicables a tan pequeña escala. Por el contrario, los sistemas basados en ORC son capaces de producir alrededor del 15% de la electricidad y un 60 a 70% del calor [27].

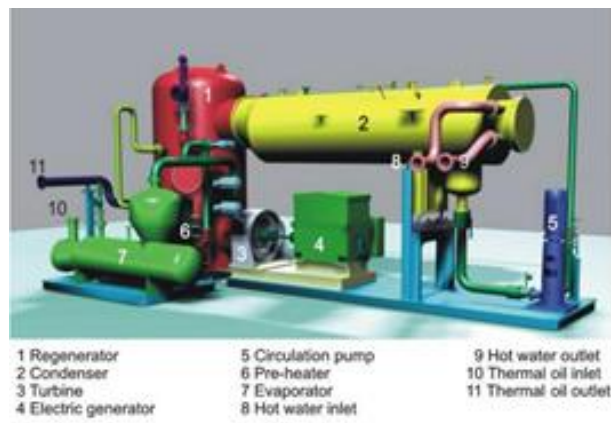


Figura 5: Planta de ciclo combinado con ORC [33]

El proceso de ORC se conecta con la caldera de aceite térmico a través de un ciclo, la unidad ORC funciona como un proceso completamente cerrado utilizando un aceite de silicio como medio de trabajo orgánico, este medio de trabajo orgánico presurizado es vaporizado y ligeramente sobrecalentado por el aceite térmico en el evaporador y luego expandido en una turbina axial que está conectada directamente a un generador asíncrono como se muestra en la Figura 5. Posteriormente, el aceite de silicio expandido pasa a través de un regenerador, donde tiene lugar la recuperación de calor en ciclo, antes de entrar en el condensador. La condensación del medio de trabajo tiene lugar a un nivel de temperatura que permite que el calor recuperado se utilice como calor de distrito o de proceso (temperatura de alimentación de agua caliente de aproximadamente 80 a 100°C).

El medio de trabajo líquido pasa entonces a las bombas de alimentación para alcanzar de nuevo el nivel de presión apropiado del extremo caliente del ciclo [33].

2.4 Cobertura de Energía Eléctrica en Bolivia

En Bolivia, la cobertura eléctrica en el año 2007 fue del 71% (cobertura urbana 89%, cobertura rural 39%). A pesar de los esfuerzos realizados en la electrificación rural con redes eléctricas, aún 3 millones de personas no tienen acceso a electricidad y casi 4 millones usan leña como fuente principal de energía [5]. De acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), los hogares por disponibilidad de energía eléctrica se incluyen en la Tabla 2:

Tabla 2: Hogares por disponibilidad de energía eléctrica, según área geográfica

Descripción	2013	2014	2015	2016
Bolivia	100	100	100	100
Tiene	90	90	91	92
No Tiene	10	10	9	8
Área Urbana	100	100	100	100
Tiene	99	99	99	99
No Tiene	1	1	1	1
Área Rural	100	100	100	100
Tiene	69	71	75	75
No Tiene	31	29	25	25

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [34]

Con la información incluida en la Tabla 2 se puede apreciar que evidentemente no todos los hogares cuentan con energía eléctrica. Un 8 % de hogares no contaban con este servicio en 2016. Estos datos están basados en encuestas de mejora de las condiciones de vida (mecovi 2000-2002), encuestas continua de hogares 2003-2004 y encuestas de hogares 2005-2015[34].

Actualmente se están implementando diversos proyectos desde el ministerio de Hidrocarburos y Energía enmarcados en el Plan de Universalización del Servicio Eléctrico, documento que apunta a una cobertura cercana al 100% en materia de servicio eléctrico hasta el año 2025 [25].

3. METODOLOGÍA

3.1 Identificación de las zonas rurales sin servicio de energía eléctrica en Bolivia

Para identificar las zonas rurales primero se realiza una breve descripción general de las características de Bolivia donde se lleva a cabo el presente estudio, la cual se detallada a continuación:

El **Estado Plurinacional de Bolivia**, se encuentra ubicada en la parte oeste de la región central de Sudamérica la cual se incluye en la Figura 6.



Figura 6: Ubicación de Bolivia en el continente Sud Americano [28]

Bolivia limita al norte y este con Brasil, al este y sur-este con Paraguay, al sur con Argentina, al sur y oeste con Chile.) [35]. Se organiza territorialmente en 9 departamentos (La Paz, Cochabamba, Oruro, Potosí, Tarija, Chuquisaca, Pando, Beni y Santa Cruz), incluidos en la Figura 7, 112 provincias, 327 municipios, 1,384 territorios indígenas originarios campesinos y cantones [35]. Tiene una población joven y en crecimiento, aunque está escasamente poblada con más de 10.5 millones de habitantes. Una gran mayoría de la población pertenece a varios grupos de nativos americanos, Quechua o Aymara [28].



Figura 7: Mapa Geográfico de Bolivia

En el territorio nacional se considera tres zonas geográficas predominantes:

- **Zona Andina**, en esta zona montañosa donde se encuentran los departamentos de La Paz, Oruro y Potosí, siendo las temperaturas en esta zona las más bajas registradas en todo el país, llegando incluso a las veinte grados bajo cero.
- **Subandina o de los Valles**, esta zona se extiende de norte a sur por el centro del territorio boliviano, abarcando casi todo el departamento de Cochabamba y Chuquisaca, gran parte del departamento de Tarija, además de algunas regiones

de los departamentos de la Paz, Potosí y Santa Cruz. Es la zona formada por valles, cuyo clima es templado.

- **Llanos**, zona ubicada al oriente y norte boliviano, es la más extensa de las zonas geográficas de Bolivia. Se extiende por todo el territorio de los departamentos de Pando y Beni, casi todo el departamento de Santa Cruz, además del norte del departamento de la Paz, el noreste de Cochabamba y el oriente de Chuquisaca y Tarija. Es una zona que se caracteriza por tener llanuras inmensas con abundante vegetación, ríos caudalosos y ser de clima cálido [35].

En los últimos cincuenta años la población boliviana se ha triplicado alcanzando la tasa anual de crecimiento de 2 %. El 62 % de los bolivianos vive en zonas urbanas y el resto 38% en zonas rurales. La mayor parte de la población, más de 70%, del país se concentra en los departamentos de La Paz, Santa Cruz y Cochabamba [35].

De acuerdo a las encuestas realizadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE), acerca la disponibilidad energía eléctrica, en Bolivia el 18% de la población no tiene acceso al servicio de energía, siendo que en la zona rural el 25% de la población no contaba con este servicio el año 2016 [4]. Es para estas zonas que en el presente estudio se plantea una tecnología alternativa de generación eléctrica como la Planta de Calor y Potencia (CHP) combinada con motor Stirling, empleando como combustible residuos agroindustriales que se encuentren preferentemente cercanos a la zona previamente determinada.

Para seleccionar la zona rural de estudio, se revisó el número y porcentaje de casos sin acceso a energía eléctrica en el área rural a nivel nacional, departamental, provincial, municipal y por comunidad, para lo cual se revisaron:

- La base de datos del Censo de Población y Vivienda 2012.
- La página oficial del Instituto Nacional de Estadística (INE), en donde se encuentran las diferentes encuestas realizadas así como cuadros estadísticos.
- El programa de REcuperación de DATos para Áreas pequeñas por Microcomputador (Redatam+SP), el cual consiste en una herramienta para administrar bases de datos de gran volumen, como por ejemplo, los censos de población y vivienda, bajo una estructura jerárquica de ordenamiento lo que permite procesar información para áreas pequeñas como las manzanas o radios censales.

3.1.1 Disponibilidad de Energía Eléctrica a Nivel Nacional

La disponibilidad de energía eléctrica a nivel nacional, por área urbana y rural se incluye en la Tabla 3.

Tabla 3: Disponibilidad de energía eléctrica a nivel nacional

Disponibilidad de Energía Eléctrica	Viviendas
Bolivia	2.803.982
Tiene (%)	82
No Tiene (%)	18
Área Urbana	1.826.480
Tiene (%)	96
No Tiene (%)	4
Área Rural	977.502
Tiene (%)	57
No Tiene (%)	43

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [34]

De la información incluida en la tabla anterior, se puede apreciar que en el área rural existe un 43% de viviendas sin servicio de energía eléctrica, y aquellas que cuentan con el servicio son 57%. De estas últimas viviendas no todas son abastecidas por la red eléctrica, debido a que también utilizan fuentes de energía eléctrica alternativas y diferentes combustibles para cocinar, las cuales se incluyen en la Tabla 4.

Tabla 4: Procedencia de la energía eléctrica y combustible empleado para cocinar en zonas rurales

Procedencia de la Energía Eléctrica	Viviendas	Porcentaje [%]
Red de empresa eléctrica	489.634	50
Motor propio	21.986	2
Panel solar	31.005	3
Otra	19.290	2
No tiene	415.587	43
Total	977.502	100
Combustible o energía empleada para cocinar	Viviendas	Porcentaje [%]
Gas domiciliario (por cañería)	3.011	0,3
Gas (tanques de gas)	297.149	30,4
Electricidad	2.750	0,3
Energía solar	960	0,1
Leña	608.580	62,3
Guano, estiércol	55.564	5,7
Otro	1.228	0,1
No cocina	8.260	0,9
Total	977.502	100

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [34]

De acuerdo con la información incluida en la tabla anterior, las fuentes alternativas de generación eléctrica que usan las viviendas son en su mayoría paneles solares con el 3%, seguida de motores diésel y otros (biomasa) con un 2% cada una. Además estas viviendas emplean como combustible para cocinar mayormente leña, restos de madera, y gas en taques con 62,3 y 3,4% respectivamente.

3.1.2 Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Departamento

El número de viviendas sin servicio de energía eléctrica en las áreas rurales de cada departamento se incluyen en la Tabla 5.

Tabla 5: Viviendas sin energía eléctrica en áreas rurales por departamento

Departamento	Viviendas
La Paz	120.848
Cochabamba	85.634
Potosí	67.272
Chuquisaca	44.109
Santa Cruz	42.908
Oruro	26.064
Beni	13.036
Tarija	9.909
Pando	5.807
TOTAL	415.587

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [36]

Con la información incluida en la Tabla 5, se identifica al departamento de La Paz con el mayor número de viviendas sin acceso a energía eléctrica con un total de 120.848 viviendas, en sus áreas rurales, siguiéndole los departamentos de Cochabamba y Potosí.

3.1.3 Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Provincia

Para determinar las viviendas sin servicio de energía eléctrica a nivel de provincia, se analizaron todos los casos existentes en la zona rural de cada provincia por departamento (Ver Anexo A). Las provincias con el mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica por departamento se incluyen en la Tabla 6.

Tabla 6: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Provincia

Departamento	Provincia	Viviendas
Cochabamba	Carrasco	20.346
Potosí	Chayanta	16.458
La Paz	Sud Yungas	15.492
Chuquisaca	Nor Cinti	9.736
Beni	José Ballivian	5.423
Oruro	Cercado	5.315
Pando	Madre de Dios	2.107
Tarija	Gran Chaco	2.094

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [36]

Con la información incluida en la Tabla 6, se determinó que la provincia con mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica es Carrasco, ubicada en el departamento de Cochabamba con un total de 20.346 viviendas. Comparando este resultado con el de la Tabla 5, en donde el departamento con mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica es La Paz, no es este en donde se encuentra la provincia con el mayor número de casos, por tanto la zona de estudio puede encontrarse en otro departamento a medida que se realice un análisis más profundo.

3.1.4 Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Municipio

Para determinar las viviendas sin servicio de energía eléctrica a nivel de municipio, se analizaron todas las zonas municipales rurales de cada provincia. Los municipios con el mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica de cada departamento se incluyen en la Tabla 7.

Tabla 7: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Municipio

Departamento	Provincia	Municipio	Viviendas
Cochabamba	Chapare	Villa Tunari	14.813
La Paz	Sud Yungas	La Asunta	8.175
Potosí	Charcas	S.P. De Buena Vista	6.427
Santa Cruz	Ichilo	Yapacaní	4.729
Chuquisaca	Nor Cinti	San Lucas	4.534
Beni	José Ballivian	San Borja	3.041
Oruro	Abaroa	Challapata	2.791
Tarija	Cercado	Tarija	1.712
Pando	Madre de Dios	Sena	1.161

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [36]

Con la información incluida en la Tabla 7, se determinó que el municipio con mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica es Villa Tunari con 14.813 viviendas el cual se encuentra en la provincia de Chapare del departamento de Cochabamba.

3.1.5 Viviendas sin Servicio de Energía Eléctrica por Comunidad

Para determinar las viviendas sin servicio de energía eléctrica por comunidad, se analizaron todas las comunidades rurales de cada municipio. Las comunidades con el mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica de cada departamento se incluyen en la Tabla 8.

Tabla 8: Viviendas sin servicio de energía eléctrica por Comunidad

Departamento	Provincia	Municipio	Comunidad	Viviendas
La Paz	Pacajes	Callapa	Guana grande	427
Oruro	Sebastián Pagador	Huari	Lagunillas	345
Cochabamba	Chapare	Villa Tunari	Nueva Tacopaya	259
Beni	José Ballivian	San Borja	Yucumo	243
Santa Cruz	Ichilo	Yapacaní	San Juan Campo Vibora	241
Potosí	Tomás Frías	Tinguipaya	Jahuacaya	220
Chuquisaca	Zudáñez	Presto	Rodeo el Palmar	210
Tarija	Cercado	Tarija	Pinos Norte	87
Pando	Madre de Dios	Sena	El Carmen	61

Fuente: Instituto Nacional de Estadística [36]

Con la información incluida en la Tabla 8, se determinó que la comunidad con mayor número de viviendas sin servicio de energía eléctrica es Guana Grande con 427 viviendas, la misma se encuentra en el municipio de Callapa, de la provincia de Pacajes, del departamento de La Paz.

3.2 Identificación de residuos generados en Bolivia

De acuerdo con los datos reportados en el Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia, se estima que el peso volumétrico de residuos sólidos, se encuentra en el rango de 170 a 370 Kg/m³, generando un promedio de 293 Kg/m³ [37]. Las cantidades generadas de residuos sólidos en diferentes municipios y ciudades a nivel nacional se incluyen en la Figura 8.

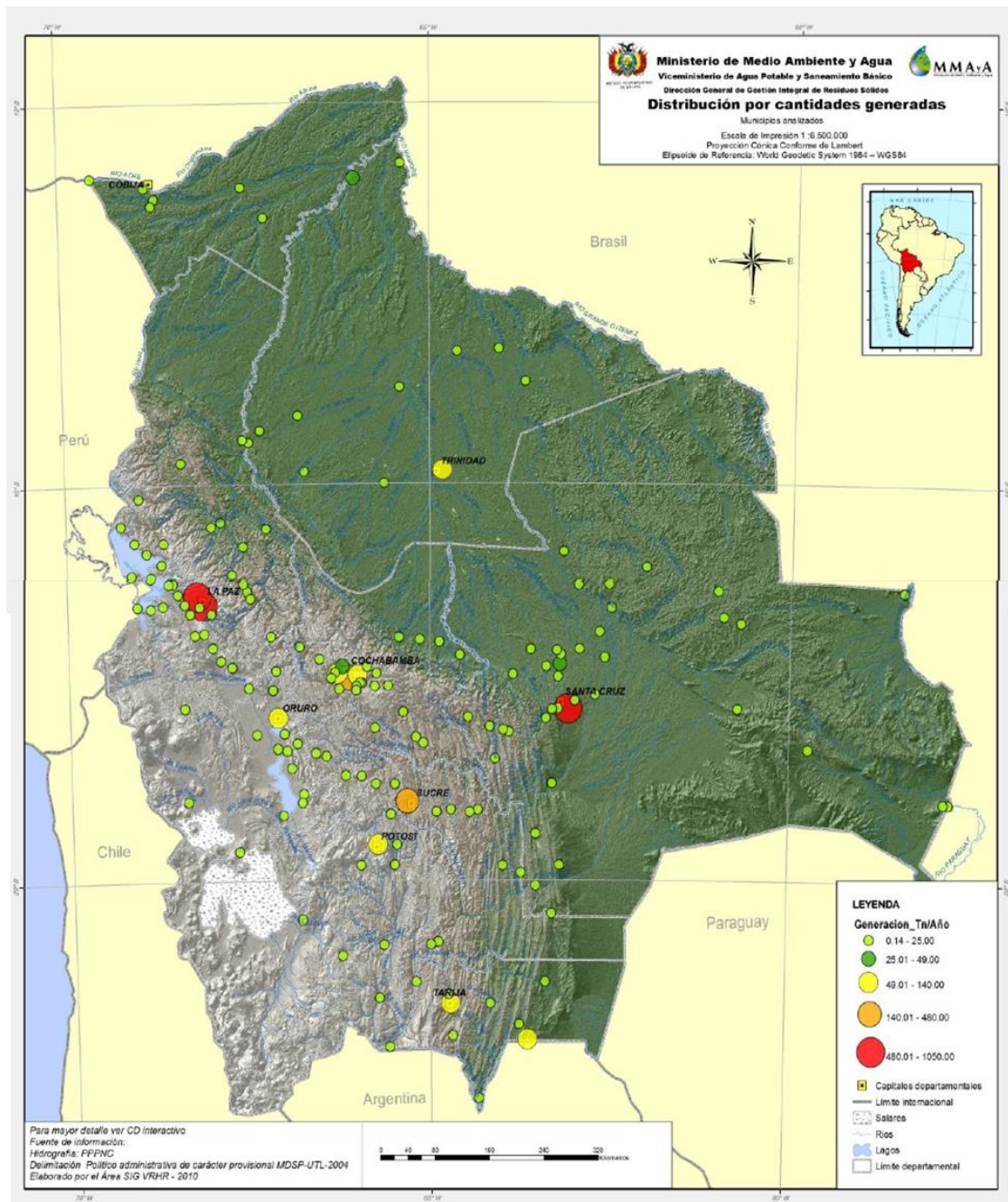


Figura 8: Distribución de residuos sólidos por cantidades generadas en Bolivia

Fuente: Diagnostico de Residuos Sólidos en Bolivia [37]

De la información incluida en la Figura 8, se puede apreciar que la mayor generación de residuos sólidos de cada departamento se genera en las capitales de cada departamento, Trinidad, Tarija, Sucre, Oruro, Potosí y Cochabamba. Se pueden apreciar círculos amarillos que represan una generación de residuos sólidos entre 49 a 140 Tn/año y en menor cantidad círculos verdes, a comparación de los departamentos de Santa Cruz y La Paz, donde se presentan círculos rojos, que representan una generación de 480 a 1050 Tn/año, además poseen la mayor cantidad de círculos verdes que representan de 0,14 a

25 Tn/año, posicionando a estos dos departamentos como los mayores generadores de residuos sólidos.

De acuerdo al *Diagnóstico de la Gestión de Residuos Sólidos en Bolivia*, realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, la generación de residuos sólidos en todo el país asciende a 4.782 Tn/día, la cual incluye residuos domiciliarios, hospitalarios, comerciales e industriales [37]. La generación de residuos sólidos por departamento obtenido del Diagnóstico de gestión de residuos sólidos en Bolivia se presenta en la Figura 9.

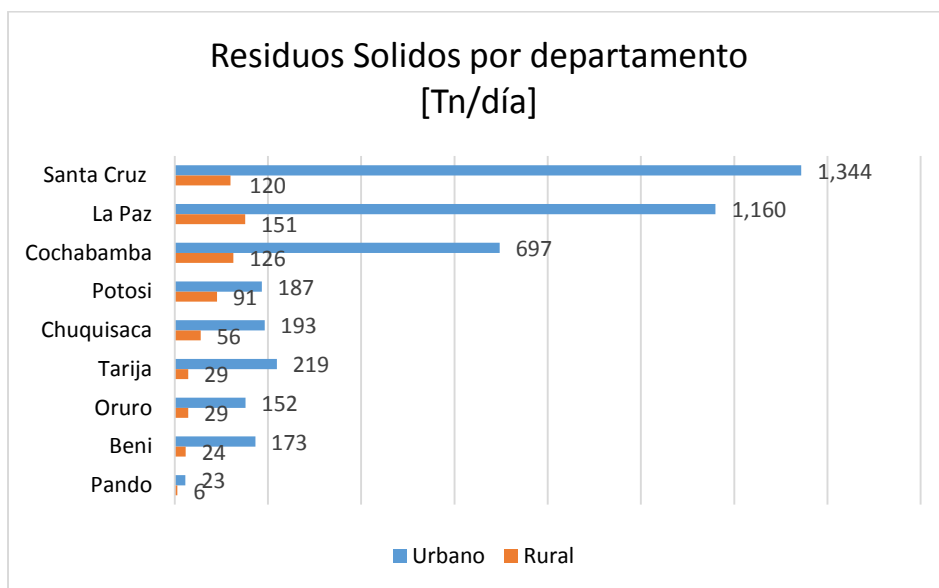


Figura 9: Generación Residuos Sólidos estimada en áreas rurales y urbanas por departamento (Tn/día)

Fuente: Diagnóstico de Residuos Sólidos en Bolivia [37]

Con la información incluida en la Figura 9, se determinó que el mayor generador de residuos sólidos es el departamento de Santa Cruz con 1.344 Tn/día en zonas urbanas y 120 Tn/día en zonas rurales.

La composición física en porcentajes de los residuos sólidos generados en todo el país se incluyen en Tabla 9.

Tabla 9: Composición Física porcentual de Residuos Sólidos por departamento

Departamento	Materia Orgánica (%)	Plásticos (%)	Papel y Cartón (%)	Metales (%)	Vidrios (%)	Otros (%)
Santa Cruz	53	9	7	1	4	25
La Paz	47	15	13	1	3	21
Cochabamba	61	10	6	2	2	15
Potosí	55	7	9	2	2	25
Chuquisaca	49	5	5	2	2	39
Tarija	61	18	6	2	2	11
Oruro	37	11	11	4	4	33
Beni	54	6	10	2	3	26
Pando	56	16	7	2	2	17

Fuente: Diagnostico de Residuos Sólidos en Bolivia [37]

De la información incluida en la Tabla 9, se identificó que el componente mayoritario en los residuos sólidos es la materia orgánica. Además esta composición es similar en todas las ciudades. Estos residuos orgánicos provienen de mercados y agroindustrias, las cuales en su mayoría se encuentran en la ciudad de Santa Cruz, departamento en el que la producción agrícola se concentra. Este departamento distribuye el 30% de su producción al resto de los departamentos del país para el abastecimiento de la canasta familiar. Es uno de los departamentos más importantes del país en cuanto a la producción de alimentos, como arroz, azúcar, maíz, trigo, sorgo, soya, girasol, frejol, sésamo, huevo y carnes de pollo y res [38,39].

Algunos residuos agroindustriales están siendo utilizados para fines energéticos en la actualidad, como el bagazo de la caña de azúcar, empleado como combustible en las calderas de generación de vapor en las industrias azucareras y de Chancaca, la cáscara de arroz, como sustituto de la leña en los molinos de arroz [13].

3.2.1 Definición del Residuo Agroindustrial

Con el fin de identificar el residuo agrícola que puede ser utilizado, se revisaron los cultivos de mayor producción e industrializados en Bolivia los cuales se incluyen en la Tabla 10.

Tabla 10: Producción Agrícola – Bolivia (Tn/año)

Descripción	2013	2014	2015	2016
Caña de Azúcar	8.064.683	7.598.630	7.192.512	6.910.805
Soja	2.645.776	2.814.321	3.105.938	3.204.639
Arroz con cáscara	476.516	484.057	527.341	406.977
Girasol	278.102	198.566	105.54	130.74
Sésamo	6.596	8.024	9.702	12.593

Fuente: Estadística por actividad económica – Agricultura [40]

Con la información incluida en la tabla anterior, se identificó que el cultivo de mayor producción es la caña de azúcar, con 6.910.805 Tn/año, siguiéndole la soja y el arroz. De acuerdo con los resultados de las Estadísticas de Agricultura del INE (Ver Anexo B), la mayor cantidad de estos cultivos es generada en el departamento de Santa Cruz [40]

Para identificar el departamento donde se produce mayor cantidad de caña de azúcar, se revisó la producción de caña de azúcar por departamento la cual se incluye en la Tabla 11.

Tabla 11: Producción de Caña de Azúcar Promedio 2013-2016 (Tn/año)

Departamento	Caña de Azúcar (Tn/año)
Santa Cruz	6.915.743
Tarija	315.606
La Paz	30.883
Beni	27.610
Chuquisaca	7.011
Cochabamba	4.642
Pando	2.241
Potosí	21
Oruro	0

Fuente: Estadística por actividad económica – Agricultura [40]

Los resultados incluidos en la Tabla 11, indican que la caña de azúcar se produce en mayor cantidad en el departamento de Santa Cruz, un total de 6.915.743 Tn/año, además en Oruro no se produce este cultivo.

En Bolivia, la única industria que produce desechos orgánicos sólidos importantes como subproducto es la industria azucarera, cuyo desecho es el bagazo [41]. Las industrias de producción de azúcar se encuentran localizadas principalmente al norte de la ciudad de la ciudad de Santa Cruz, La Paz y en la zona Sur del departamento de Tarija llamada Bermejo [42]. Su localización se incluye en la Figura 10:

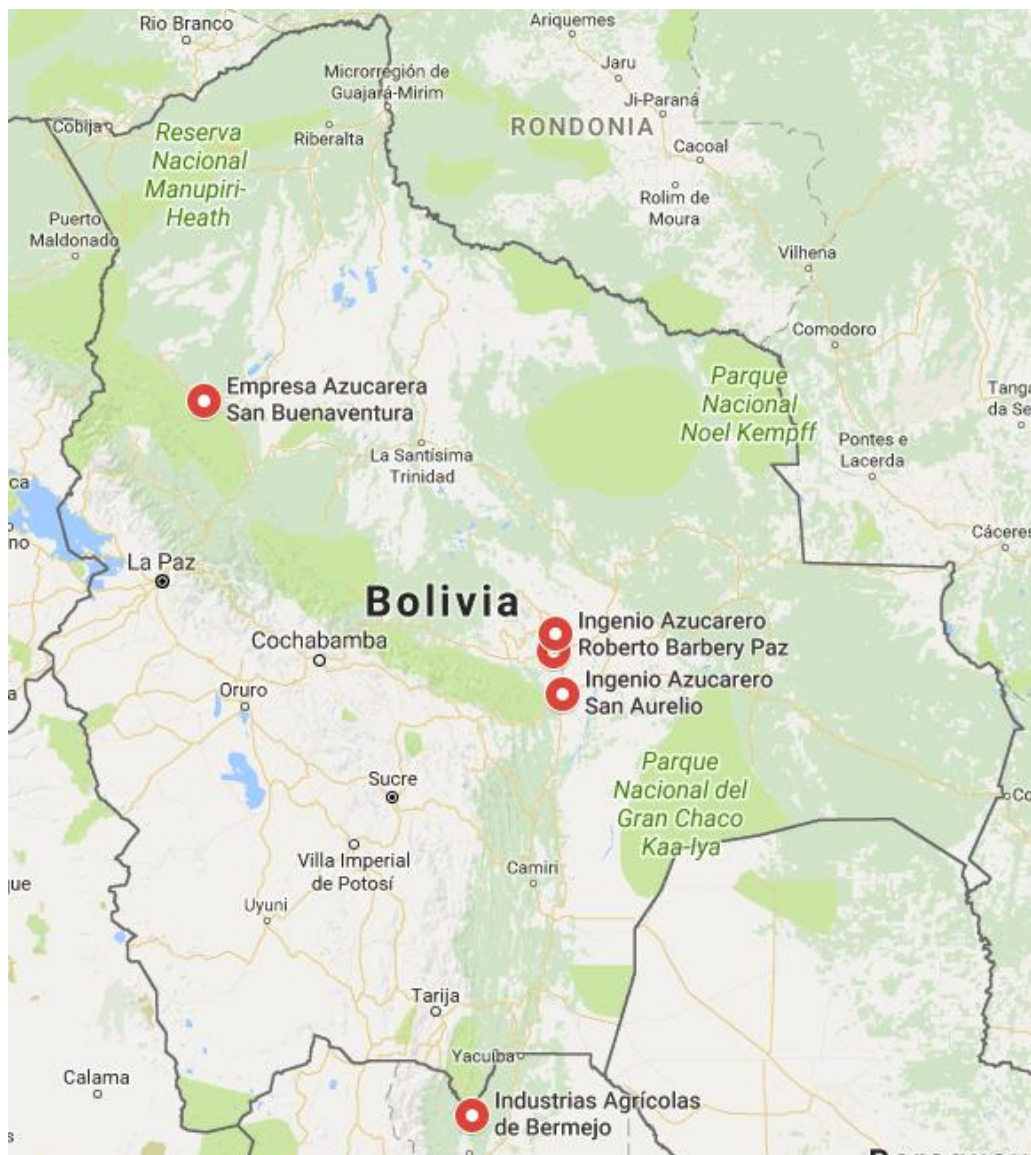


Figura 10: Ubicación – Industrias Azucareras en Bolivia

Con la información incluida en la Figura 10, se determinó que el departamento de Santa Cruz es donde se ubica la mayoría de las industrias procesadoras de azúcar. Las industrias, el volumen de caña procesada, azúcar refinada y el alcohol se incluyen en la Tabla 12.

Tabla 12: Producción de azúcar por empresa

Departamento	Industria	Caña procesada (Tn/año)	Azúcar (Tn/año)	Alcohol (Mlitros/año)
Santa Cruz	UNAGRO	1.500.000	256.000	20
Santa Cruz	GUABIRÁ	1.700.000	251.164	48
Santa Cruz	DON GUILLERMO	1.200.000	110.000	
Santa Cruz	SAN AURELIO	1.000.000	190.000	10
Santa Cruz	AGUAI S.A.	800.000	150.000	23
Tarija	INDUSTRIAS AGRÍCOLAS DE BERMEJO	500.000	80.000	5
La Paz	SAN BUENA AVENTURA	102.000	3.600	

Fuente: Información de la Industria azucarera en Bolivia [43]

Con la información incluida en la tabla anterior, se identificó que en el departamento de Santa Cruz, se ubican cinco de las siete industrias azucaras en Bolivia y por tanto la mayor generación de residuos agroindustriales. Esta información permito identificar y localizar la zona de estudio.

Residuo proveniente de la caña de azúcar y disponibilidad

Al ser la caña de azúcar el sector más industrializado en todo el país, también genera grandes cantidades de residuo “bagazo”. Así que por cada tonelada de caña refinada se genera un 30% en peso de bagazo [41]. El volumen aproximado generado de bagazo por departamento se incluye en la Tabla 13.

Tabla 13: Generación – bagazo de caña de azúcar

Departamento	Bagazo de caña de azúcar (Tn/año)
Santa Cruz	1.860.000
Tarija	150.000
La Paz	22.996

Fuente: Información de la Industria azucarera en Bolivia [43]

De acuerdo a un análisis global elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), sobre la generación de bagazo, determina que el rendimiento de la caña para la producción de azúcar, en la zona de Santa Cruz es menor que en la zona de Tarija, ya que existe en Santa Cruz un promedio aproximado de

10% más de producción de bagazo por tonelada de caña procesada que en Tarija. Este resultado se resalta más con el siguiente análisis:

Comparando la producción de bagazo por tonelada de azúcar producida, tenemos que en Santa Cruz se produce 4 toneladas de bagazo como promedio por cada tonelada de azúcar, mientras que en la zona de Tarija se tiene un promedio de 2 Ton de bagazo por 1 Ton de azúcar; resultando a nivel nacional un promedio de 3 Ton de producción de bagazo por cada tonelada de azúcar que se produce en el país. Desde el punto de vista energético Santa Cruz estaría contribuyendo con mayor producción de materia prima energética que Tarija. [41].

El bagazo años atrás era desechado en ríos y utilizado para ganado bobino, pero en los últimos años ha sido empleado como fuente energética en las mismas industrias de refinado de azúcar [13]. Por ejemplo Guabira y Unagro utilizan estos residuos mediante quema directa en los hornos de cada industria para la producción de vapor de agua [41], además de contribuir energía eléctrica a la red eléctrica [44]. Al ser la cogeneración en estas industrias exitosa. Usar bagazo de las otras industrias azucareras existentes que aun desechan el bagazo, es una alternativa para emplear el residuo como combustible en una planta de Calor y Potencia. Así llegar a zonas rurales que no cuentan con energía eléctrica, además de hacer un uso eficiente del residuo, evitando que se deseché el mismo en ríos ocasionando impactos ambientales.

3.2.1.1 Características de Bagazo de Caña de Azúcar en forma de pellets

Composición y contenido energético

La composición y contenido energético del bagazo de caña de azúcar y de la madera se incluyen en la Tabla 14.

Tabla 14: Composición y Contenido Energético - Bagazo Caña de Azúcar

Composición	UN	Método de análisis	Bagazo (Bolivia)	Bagazo (Colombia)	Madera
C	%	LECO-1	48,6 ± 2,9	48,2 ± 2,9	50,4 ± 3,0
H	%	LECO-1	5,8 ± 0,5	6,1 ± 0,5	5,9 ± 0,5
N	%	LECO-1	0,2 ± 0,06	0,3 ± 0,1	<0,1 ± 0,03
O	%	Calculado	42,4	44,3	43,3
Ceniza	%	SS 18 71 71:1	3 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,3 ± 0,1
S	%	SS 18 71 71:1	0,03 ± 0,013	0,03 ± 0,007	<0,01 ± 0,002
Cl	%	SS 18 71 54:1	<0,01 ± 0,002	0,05 ± 0,01	<0,01 ± 0,002
HHV	MJ/kg	SS-ISO 1928:1	19,2 ± 0,38	19,3 ± 0,4	20,3 ± 0,4
LHV	MJ/kg	SS-ISO 1928:1	17,9 ± 0,36	17,9 ± 0,4	18,9 ± 0,4

Fuente: Combustión de Residuos Agroindustriales [2]

Con la información incluida en la Tabla 14, se identificó que la diferencia más notable es el contenido en ceniza, el cual es mayor en el bagazo de Bolivia en comparación con el de madera, siendo este último el más comercializados para cuestiones energéticas [45], en cuanto a los poderes caloríficos existe un diferencia de 1 MJ comparados con la madera.

Características Físicas de los pellets

Las características físicas de los pellets de bagazo de caña de azúcar y de madera se incluyen en la Tabla 15.

Tabla 15: Características Físicas- Pellets de Bagazo Caña de Azúcar

Composición	UN	Bagazo	Madera
Diámetro	mm	6,2 ± 0,2	6,3 ± 0,2
Largo	mm	10,2 ± 2,5	12,8 ± 4,3
Peso	g	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2
Densidad de partícula	kg/m ³	998 ± 200	1020 ± 185
Humedad (8h, 150 °C)	%	6-7,8	7 – 7,9
Densidad	kg/m ³	Ca 590	Ca 604

Fuente: Combustión de Residuos Agroindustriales [2]

Con la información incluida en la Tabla 15, se identificó que la humedad es menor en el en los pellets de bagazo con respecto a los de madera, este es un factor importante ya que en general, un buen pellet de madera presenta menos de un 10% de humedad [45].

Características del uso de pellets en un sistema CHP con motor Stirling (1kW)

El comportamiento de la temperatura, potencia térmica de salida y las emisiones, con el uso de bagazo de caña y madera en un sistema CHP con motor Stirling se incluyen en la Tabla 16.

Tabla 16: Características de los pellets en un sistema CHP

Composición	UN	Pellets de Bagazo	Pellets de Madera
Potencia de entrada	kW	19,62 ± 0,4	17,4 ± 0,3
T1	°C	1043 ± 20	1013 ± 23
T2	°C	500 ± 6	423 ± 3
P _{W,SE(esp)}	kW	1,84 ± 0,11	1,20 ± 0,37
Emisiones			
NO _x	mg/m ³	116 ± 9	72 ± 3
CO	mg/m ³	57 ± 14	144 ± 37
O ₂	%	12 ± 0,5	11 ± 1

Fuente: Combustión de Residuos Agroindustriales [2]

De la información incluida en la Tabla 16, se identificó que las emisiones de monóxido de carbono son menores al usar pellets de bagazo de caña de azúcar en lugar de madera. Pero al contrario, las emisiones de NO_x son mayores cuando se emplea bagazo de caña de azúcar.

3.3 Definición de la zona de estudio

Para definir el área rural de estudio se consideró las informaciones incluidas en la Tabla 8, en la que se presentan las comunidades que se encuentran desabastecidas de energía eléctrica y la Tabla 13, en la que se incluye la cantidad de bagazo generada por departamento. Como resultado, Santa Cruz ha sido el área seleccionada por ser donde se genera la mayor cantidad de bagazo. En cuanto a la zona específica se seleccionó la comunidad de **Aguahí** (Ver Anexo C), si bien esta no se encuentra en la Tabla 8, se encuentra cercana a industrias de refinado de azúcar como; Aguai, Unagro, Guabirá, Bélgica y San Aurelio, a una distancia de 4, 27, 50, 80 y 110 Km respectivamente [46].

La imagen satelital de la comunidad Aguahí se presenta en la Figura 11, esta comunidad se encuentra entre los ríos Grande y Pirai del municipio Fernández Alonzo, provincia Obispo Santisteban (Santa Cruz), a 30 Km de la población de Mineros y a 110 Km de la ciudad capital Santa Cruz de la Sierra. El acceso es por la carretera Hardeman – Colonia Pirai conectada hacia Chile, Perú, Argentina, Brasil y Paraguay. [46]



Figura 11: Mapa satelital Comunidad Aguahí

3.3.1 Demanda energética

Los consumos de energía en comunidades aisladas sin acceso a electricidad se incluyen en la Tabla 17.

Tabla 17: Consumo de energía en comunidades rurales

Consumo	Total (%)
Iluminación	4,91
Cocción	89,97
Calentamiento de agua	3,79
Calefacción ambiente	0,04
Refrigeración de alimentos	0,59
Audiovisión	0,10
Electrodomésticos	0,01
Bombeo	0,14
Generación de electricidad	0,12
Usos no energéticos	0,32
TOTAL	100

Fuente: Estimación del potencial de introducción de energías renovables en Bolivia [47]

Con la información incluida en la Tabla 17, se identificó que el 90% del consumo de energía es utilizado para la cocción de alimentos, el 4,91% está dirigido a la iluminación y 3,79% al calentamiento de agua para diferentes usos. Es decir, estos tres conceptos concentran el consumo energético, mientras que el resto de los consumos de energía suman un 1,33% [47].

Las demandas de energía para uso doméstico, sociales y productivos se incluyen en la Tabla 18.

Tabla 18: Demanda de energía rural por u.

Usos Domésticos	Usos Productivos	Usos sociales
<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación • Comunicación • Entretenimiento • Calefacción • Cocción de alimentos. • Refrigeración de ambientes y alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua para Ganado • Servicios de turismo y hotelería • accionamiento de maquinaria • Comunicación Transformación de alimentos 	<ul style="list-style-type: none"> • Electrificación de postas y escuelas • Radios • Refrigeradores bombeo de agua potable • Telecentros

Fuente: Estimación del potencial de introducción de energías renovables en Bolivia [47]

Con la información incluida en la Tabla 18, se identifica que muchas de las demandas se concentran en el uso de la electricidad y demandas de energía térmica para cocción de alimentos, transformación y elaboración de productos diversos, e incluso aplicaciones de uso semi-industrial como la elaboración de chancaca [47].

Revisando las demandas energéticas mencionadas y las variables de dispersión geográfica de las comunidades sin energía, se trata grupos poblacionales reducidos con niveles altos de aislamiento. Se puede ver que las energías renovables, en este caso la biomasa, llega a ser una solución a las demandas energética de estas comunidades [47].

La demanda de energía eléctrica promedio de acuerdo a un estudio de la FAO, en zonas rurales alcanza **38 kWh/mes** por familia [41]. Y tomando como base esta información se determina que la demanda de energía eléctrica de la comunidad Aguahi es de 4.862 kWh/mes, siendo que la demanda diaria llega a ser **163 kWh/día**, siendo esta última la que se utilizó para la potencia nominal del sistema de generación de energía.

3.4 Simulación Planta de Calor y Potencia con Motor Stirling

Para conocer la cantidad de bagazo en forma de pellets necesaria para cubrir la demanda de energía, se utilizó el programa de simulación HOMER pro, el cual consiste en un software de modelado de micro redes, que se utiliza para optimizar y simplificar las micro redes. El programa puede analizar diversos sistemas de energía distribuida, incluidos los sistemas renovables de cogeneración y de conexión a la red, o situaciones en las que la red no existe o no es lo suficientemente confiable, como islas y comunidades remotas [48].

La simulación se realizó dos veces, la primera para determinar la cantidad de pellets de bagazo de caña de azúcar necesarios para cubrir la demanda de la comunidad y, una segunda, para determinar la cantidad de pellets que cubra tanto la demanda de energía eléctrica de la comunidad y la elaboración de los pellets.

Simulación 1- Determinación de la cantidad de pellets para cubrir la demanda eléctrica de la comunidad

Tomando como base las características energéticas de los pellets de bagazo de caña de azúcar incluidos en las Tablas 14, 15 y 16, un eficiencia de eléctrica del motor Stirling de 15% , una carga de 100 % [32] y demanda de energía de **163 kWh/día**, se realizó la simulación en HOMERpro.

El esquema utilizado para la simulación, se lo propone considerando:

- La demanda de energía eléctrica

- La tecnología que se empleara para generar la demanda de energía eléctrica. En este caso la tecnología consiste en un motor Stirling, el cual viene incluido en el programa, pero del cual no se conoce la potencia y será el programa que defina el mismo.
- El cambio de la corriente continua a alterna utilizando un inversor.
- Almacenamiento de la energía en un banco de baterías.

Cada elemento se selecciona de la base de datos que el programa tiene incluido, un Inversor, batería Victron VRLA 12 V Deep Cycle Gel de Gel, con una potencia Nominal de 12 V y dos motores Stirling con 15% de eficiencia eléctrica los cuales se incluyen en la Figura 12.

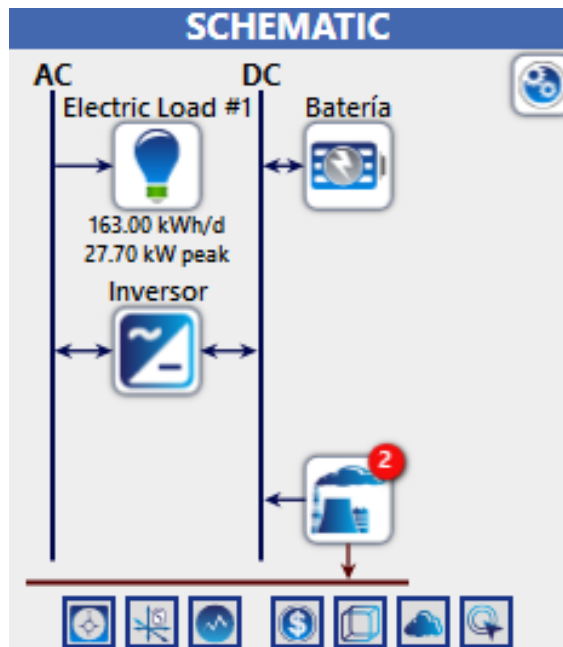


Figura 12: Esquema Sistema Calor y potencia con motor Stirling

La simulación incluye la demanda de energía eléctrica por hora de cada mes (Ver Anexo D), así también la curva de demanda promedio de energía eléctrica que se incluye en la Figura 13.

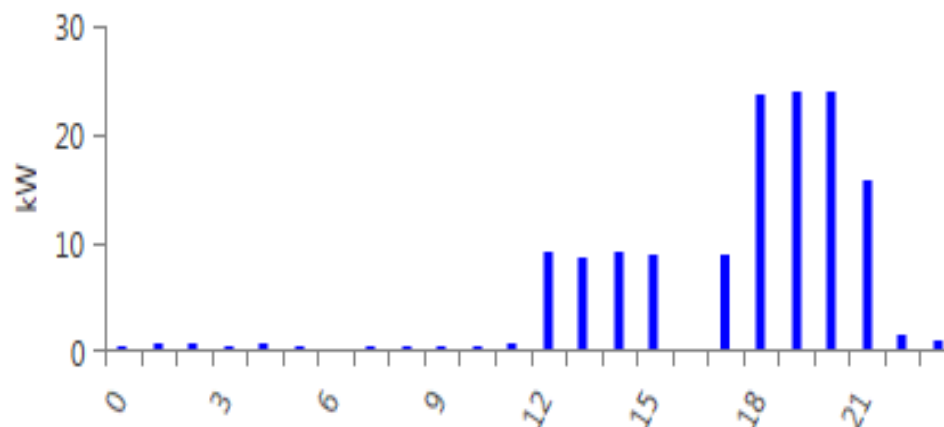


Figura 13: Demanda energía eléctrica por hora

De la información incluida en la figura anterior, se puede apreciar que la mayor demanda de energía eléctrica se da en horas de la tarde entre las 12:30 a 15:30, teniendo una demanda constante y en horas de la noche entre las 18 a 21 horas.

Los resultados obtenidos de la simulación 1 se incluyen en la Tabla 21.

Tabla 19: Resultados de la simulación 1 sistema CHP-Stirling

Arquitectura	Valor	Unidad
Potencia Nominal -Motor Stirling 1	10	kW
Potencia Nominal - Motor Stirling 2	2	kW
Numero de baterías de 12 V	200	UN
Potencia Inversor	25	kW
Combustible		
Cantidad de Pellets de Bagazo	44.779	kg/año
Sistema		
Energía Eléctrica Generada	65.450	kWh/año

De los resultados incluidos en la tabla anterior se puede apreciar que se requieren **44.779 kg** de pellets de bagazo para cubrir la demanda eléctrica de la comunidad.

Simulación 2: Determinación de la cantidad de pellets para cubrir la demanda eléctrica de la comunidad y la elaboración de pellets

Esta simulación se realizó para determinar la cantidad de pellets requeridos para cubrir la demanda eléctrica de la comunidad y la elaboración de pellets ya que estos últimos serán elaborados dentro de la planta de CHP, para lo cual se realizaron las siguientes consideraciones:

- Se toma como base la cantidad de pellets determinada en la simulación 1 de **44.779 kg**, y asumiendo que se pierde el 5% en la elaboración de pellets la cantidad de bagazo de caña es un total de 47.018 kg, es decir que esta es la cantidad que será utilizada en la elaboración de pellets.
- Los procesos típicos para la elaboración de pellets se incluyen
- Figura 14. Siendo el secado el de mayor prioridad, que la humedad optima de la materia prima debe estar entre 6 a 12 % para un buen pelletizado [28].



Figura 14: Proceso de pelletizado

La energía requerida por cada proceso se obtuvo de bibliografía y con especificaciones de los equipos empleados, esta determinación se detalla a continuación:

Molienda

En un estudio previo Cardozo, 2014, estimo que la energía eléctrica empleada por kilogramo de bagazo molido es 2,2% del LHV [49]. Tomando como base la estimación la energía empleada en la molienda es:

$$E_{molienda} = 2,2\% \text{ LHV}$$

El valor de LHV se obtiene de la Tabla 14 siendo igual a LHV=17,9 MJ/kg y la cantidad a procesar de 47.018 kg la energía eléctrica requerida es:

$$E_{molienda} = 2,2\% * 17,9 * 47.018$$

$$E_{molienda} = \mathbf{18.516 \text{ MJ}}$$

Pelletizado

En un estudio previo Cardozo, 2014, estimo que la energía eléctrica empleada en el pelletizado por kilogramo de bagazo es 11,2% del LHV [49]

Entonces la energía empleada en la molienda es:

$$E_{molienda} = 11,2\% \text{ LHV}$$

El valor de LHV se obtiene de la Tabla 14 siendo igual a LHV=17,9 MJ/kg y la cantidad a procesar de 47.018 kg la energía eléctrica requerida es:

$$E_{molienda} = 11,2\% * 17,9 * 47.018$$

$$E_{molienda} = \mathbf{94.262 \text{ MJ}}$$

Enfriamiento

La energía eléctrica empleada en este proceso fue obtenido de los datos técnicos del equipo de refrigeración del motor y limpieza de pellets ACC3001. Este equipo tiene una potencia de 1,65 kW y puede enfriar de hasta 300 a 350 kg/h. (Ver Anexo E).

Transporte

Transporte con cinta transportadora, los datos fueron obtenidos de la especificación técnica de la maquina el cual tiene una potencia nominal de 0,5 kW (Ver Anexo F).

Los resultados de energía eléctrica de cada proceso y la nueva demanda se detallan en la Tabla 20.

Tabla 20: Demanda de Energía Eléctrica por Proceso

Procesos	UN	Valor
Molienda	MJ/año	18.516
Pelletizado	MJ/año	92.262
Enfriamiento	MJ/año	931
Cinta Transportadora	MJ/año	5.256
Total	MJ/año	118.964
Demanda de energía comunidad y Elaboración pellets		
Energía requerida para elaborar pellets	kWh/año	33.046
Energía requerida para satisfacer la comunidad	kWh/año	59.170
Demanda Total	kWh/año	92.216
Demanda Total	MJ/año	331.977

Tomando la demanda eléctrica incluida en la tabla anterior se realizó la simulación 2. Los resultados obtenidos de la simulación se incluyen en la Tabla 21.

Tabla 21: Resultados Simulación 2 del sistema CHP-Stirling

Arquitectura	Valor	Unidad
Motor Stirling 1	18	kW
Motor Stirling 2	2	kW
Baterías	214	UN
Inversor	31	kW
Combustible		
Cantidad Pellets de Bagazo	55.859	[kg/año]
Sistema		
Energía Eléctrica Generada	97.350	[kWh/año]

De la información incluida en la Tabla 21, se determina que el volumen de pellets de bagazo de caña de azúcar requerido para cubrir la demanda de energía eléctrica, de la comunidad y elaboración de pellets, es un total de **55.859 kg/año**. De acuerdo con la información incluida en la Tabla 13, de Generación – bagazo de caña de azúcar, el departamento de Santa Cruz genera alrededor de 1.860.000 Tn/ año, de la cual la industria procesadora de azúcar más cercana a la comunidad es AGUAI con un generación de bagazo de 240.000 Tn/año, con esta cantidad se puede cubrir el monto de bagazo requerido por el sistema de CHP-motor Stirling.

3.5 *Análisis del Ciclo de Vida Para el sistema e generación de energía eléctrica*

3.5.1 Etapa 1: Objetivo y Alcance del Estudio

3.5.1.1 Objetivo

Este estudio tiene como objetivo aplicar un análisis de ciclo de vida a un sistema de generación de energía eléctrica basado en una planta de Calor y Potencia con motor Stirling, el cual emplea como combustible bagazo de caña de azúcar en forma de pellets. Por lo tanto, se trata de evaluar si este sistema es ecológicamente sostenible para la generación de energía eléctrica en las zonas rurales de Bolivia. Para el cálculo y definición de impactos ambientales asociados al ciclo de vida del bagazo de caña de azúcar en forma de pellets se regirá por las normas ISO 14040 y 14044.

3.5.1.2 Descripción del Sistema

La función del sistema de Calor y Potencia con motor Stirling es producir simultáneamente electricidad y calor. En nuestro estudio, nos centramos principalmente en la producción de electricidad, considerando el calor como una coproducción. Este sistema funciona empleando al motor Stirling de combustión externa, el cual utiliza una fuente de energía externa, para la combustión pellets de bagazo, de esta manera calentar el gas, normalmente presurizado He, H₂, N₂ o aire, que se encuentra dentro el cilindro cerrado. En el cilindro se encuentra un pistón que se pone en movimiento por el calentamiento y enfriamiento del gas. Este gas, bajo presión, se expande cuando se calienta, impulsando el pistón para realizar trabajo. El movimiento del pistón hacia

adelante y hacia atrás dentro del cilindro, es conectado a un generador que produce electricidad [32].

El motor Stirling utiliza la energía proveniente de los gases de combustión calientes de los pellets de bagazo, residuo agroindustrial derivado de la refinación de azúcar. Hasta hace unos años, este residuo era desechado en ríos y actualmente es utilizado para la alimentación de ganado bovino [13], generación de energía térmica en calderos de producción de vapor y generación de energía eléctrica en proyectos de cogeneración de algunas industrias productoras de azúcar [7].

En este estudio se plantea la alternativa del uso de bagazo en forma de pellets, el cual se emplea como combustible en una planta de CHP con motor Stirling para la generación de energía eléctrica, y así cubrir con la demanda de energía eléctrica de la zona rural Aguahi. Este residuo se ha propuesto debido a la disponibilidad que existe en Bolivia, además este material presenta reactividad similar a lo pellets [50].

3.5.1.3 Alcance

En este trabajo también se llevará a cabo una evaluación del ciclo de vida del sistema de generación de energía eléctrica CHP y motor Stirling, que usa bagazo de caña de azúcar en forma de pellets como combustible para la generación de energía eléctrica, en la zona rural de Aguahi.

3.5.1.3.1 Unidad Funcional

La unidad funcional a la que se van a referir todos los indicadores del estudio, como el consumo o las emisiones (entrada y salida), la cual se define como 1MJ de electricidad generada.

3.5.1.3.2 Límites del Sistema

El estudio considera el ciclo de vida del sistema de generación de energía desde el transporte del residuo de bagazo de caña de azúcar, hasta la combustión y generación de energía eléctrica. La cadena de procesos que sigue la evaluación del ciclo de vida se incluyen en la Figura 15, en el cual se toman en cuenta las entradas y salidas de materiales y energía empleada. Conocer estos límites es estratégicamente muy importante cuando se comparan sistemas entre sí para evitar malas interpretaciones [12]

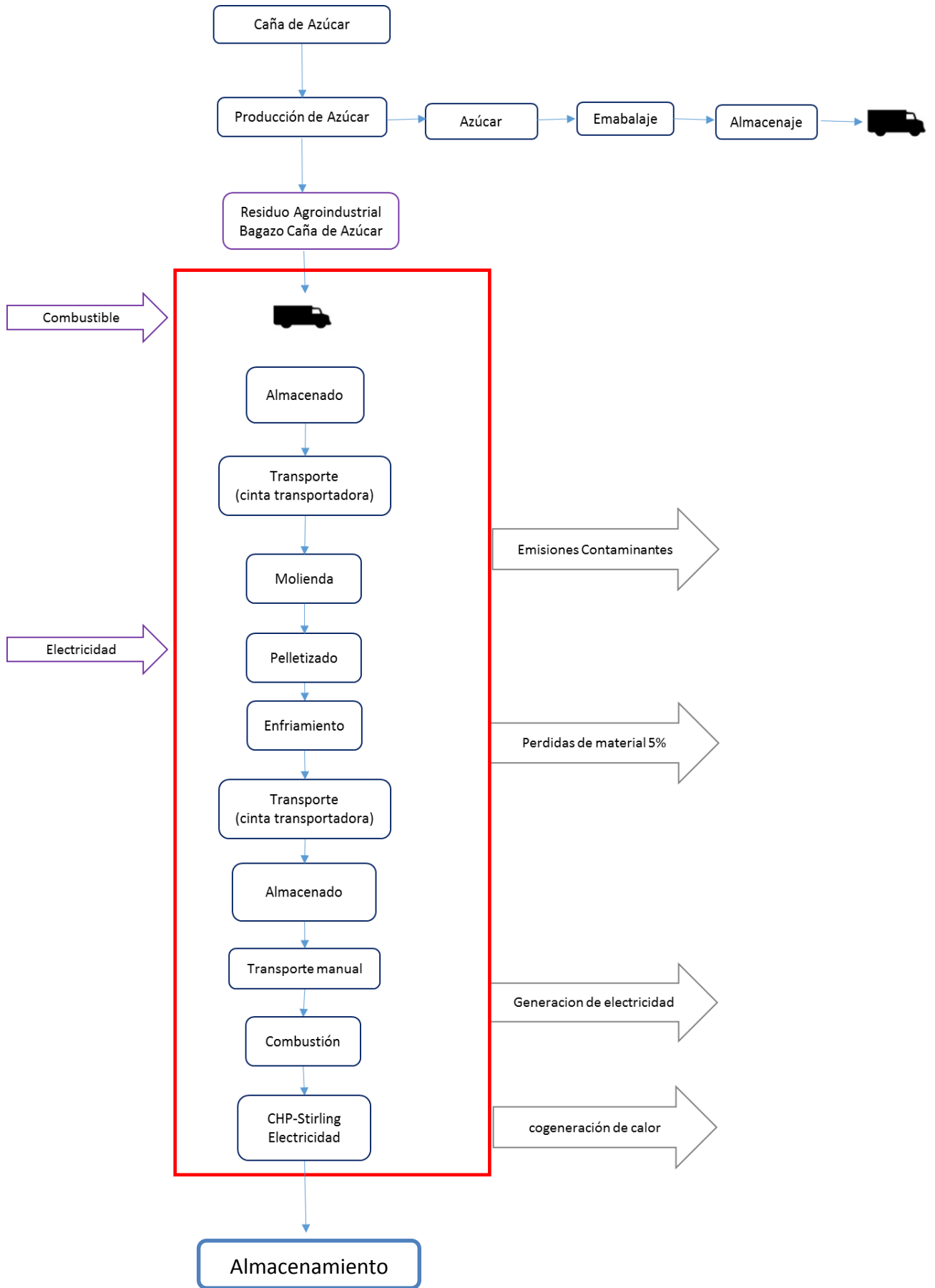


Figura 15: Diagrama de flujo de Procesos del sistema con Limites

Con la información incluida en la Figura 15, se puede apreciar que los límites del sistema para la generación de energía eléctrica va desde el transporte de residuos hasta la combustión de pellets. También se determina que los flujos entrada son; combustible para el transporte del residuo a la planta de CHP y energía eléctrica para el funcionamiento de equipos involucrados en la elaboración de pellets. Como flujos de salida se tienen emisiones contaminantes, pérdidas de material, energía eléctrica y calor.

La ubicación de este análisis es la comunidad Aguahi, que representa la frontera geográfica para el sistema.

3.5.1.3.3 Horizonte de Tiempo

El análisis del este ciclo de vida se centra en la generación de energía eléctrica en una planta CHP con motor Stirling, que emplea pellets a base de bagazo de caña de azúcar en el lapso de un año, suponiendo que no se generan cambios en el sistema durante este periodo de tiempo.

3.5.1.3.4 Criterios de Exclusión

Los criterios excluidos del análisis son:

- Los impactos ambientales relacionados con las actividades del personal están aislados del análisis, ya que es difícil de modelizar y no es relevante para la comparación.
- Los desechos y productos de la combustión como cenizas.

3.5.1.3.5 Tipo de datos y método de análisis de inventario

Los datos utilizados para este análisis son numéricos y cualitativos, que describen los procesos incluidos en la Figura 15 y las cantidades de las entradas y salidas. Los datos numéricos se refiere a la cantidad de residuo agroindustrial, combustible empleado para el transporte, energía eléctrica empleada en equipos, emisiones ambientales, etc. En cambio los datos cualitativos son más descriptivos, que tienen como fin comprender mejor el sistema. Esta información incluye el origen de las entradas, es decir la localización de los procesos.

Los datos para el análisis fueron obtenidos buscando información para cada unidad de proceso, los cuales se describen a continuación:

- La cantidad de bagazo de caña de azúcar fue obtenida de la simulación en HOMERpro, siendo este 97.350 kg/año.
- Transporte de bagazo a la planta CHP, se consideró un transporte articulado diésel con una capacidad mayor a 33 toneladas, además de la distancia que debe recorrer el mismo la cual se obtuvo de Google Maps.
- Almacenamiento de los residuos agroindustriales, se consideró un espacio de 10 m² siendo este una medida aproximada de un establecimiento que cubra los residuos de las condiciones ambientales.
- Molienda y pelletizado fueron obtenidos del estudio “*Pelletizing study of agricultural residues, Parameters and energy use*”, los cuales fueron descritos en el apartado 3.4.
- Enfriamiento, fue obtenido de los datos técnicos del equipo. Tiene una potencia de 1,65 kW y puede enfriar de hasta 300 a 350 kg/h. (Ver Anexo E)
- Transporte de pellets al almacén, para este proceso se estimó que al año el personal recorrería alrededor de 20 Km.
- Transporte con cinta transportadora, los datos fueron obtenidos de la especificación técnica de la máquina. Tiene una potencia nominal de 0,5 kW (Ver Anexo F).
- Combustión bagazo - generación de energía, las emisiones fueron obtenidas del estudio “*Combustión of Agricultural Residues - Application for Stirling micro-Combined Heat and Power*”. Describe que se midieron los gases de salida con diferentes equipos como analizador infrarrojo no dispersivo para CO, analizador de quimioluminiscencia para la determinación de NOx y analizador de presión magnética para O₂.
- Se considera un generador diésel para el primer día de producción de pellets de una potencia de 12 kW (Ver Anexo G).

3.5.2 Etapa 2: Análisis de Inventario del Ciclo de Vida (ICV)

El análisis de inventario fue creado en base a los procesos incluidos en la Figura 15. Solo se consideraron los datos y flujos ambientales relevantes para los procesos que se encuentran dentro el límite del sistema, los cuales son materia prima (bagazo), emisiones y recursos naturales (diésel, energía eléctrica). Hay tres partes principales que deben ser incluidas en el análisis del inventario del ciclo de vida. Estos son diagramas de flujo

detallados, recolección de datos y cálculos de los procesos dentro del límite del sistema en relación con la unidad funcional [15]. Los datos de inventario se utilizan para modelizar los impactos ambientales.

El diagrama de flujo del sistema con los límites se presenta en la Figura 15. A continuación se presenta el inventario de datos.

3.5.2.1 Inventario de datos

En el inventario de datos se incluyen los datos recopilados de bibliografía para el sistema de generación de energía eléctrica. Los datos para el sistema de generación eléctrica se incluyen en la Tabla 22. Los datos del generador diésel utilizado para la generación de energía eléctrica para un día de elaboración de pellets se incluyen en Tabla 23 y los procesos utilizados para modelar el sistema se incluyen en la Tabla 24.

Tabla 22: Datos recopilados para el sistema de generación eléctrica con bagazo de caña de azúcar

Parámetros	UN	Dato
Densidad de partícula	kg/m ³	998 ± 200
Peso del Pellet a base de bagazo de caña de azúcar	g	0,3 ± 0,1
LHV	MJ/kg	17,9 ± 0,36
HHV	MJ/kg	19,2 ± 0,38
Emisiones de la combustión de pellets de bagazo - Nox	kg/MJ	6,1E-09
Emisiones de la combustión de pellets de bagazo - CO	kg/MJ	3,0E-09
Emisiones de la combustión de pellets de bagazo - O2	%	12 ± 0,5

Fuente: *Combustión of Agricultural Residues - Application for Stirling micro-Combined Heat and Power* [2].

Tabla 23: Datos recopilados Generador Diésel

Parámetros	UN	Dato	Fuente
Potencia	kW	12	Datos técnicos: UNIV worldclass
Demanda de energía eléctrica	MJ//día	357	Estimado
Combustible -Diésel	L/hora	4	Datos técnicos: UNIV worldclass
Combustible requerido	L/día	32	Estimado considerando 8 horas de pelletizado el primer día.
Densidad Diésel	g/cm ³	0,87	[51]

Tabla 24: Procesos utilizados para modelar el sistema de generación eléctrica con bagazo de caña de azúcar

Proceso	Entradas	UN	Valores	Descripción	Fuente
Transporte de Residuo Agroindustrial	Volumen de Bagazo	kg	58.652	Volumen de bagazo caña de azúcar transportado	HOMERpro
	Diésel - Camión con plataforma plana	Tn*km	223.435	Transporte, camión > 33Tn S = Tn*km	INCLAM CO ₂
	Distancia Transportada	km	4	Distancia de la Industria AGUAI a la comunidad Aguahi	Google Maps
	Emisiones CO ₂	kgCO ₂ /Tn*km	0,10462	Camión articulado Diesel Motor >33 Tn	[52]
Molienda	Electricidad	MJ	20.376	Energía empleada por kg = 2,2% del LHV	[49]
Pelletizado	Electricidad	MJ	103.740	Energía empleada por kg = 11,2 % del LHV	[49]
Enfriamiento	Electricidad	MJ	931	Entrada = 1,65 kW Salida = 300-350 kg/h	Datos técnicos: theoharidis Modelo: ACC 3000 (Ver Anexo E)
	Pérdida de masa	%	5		[9]
Transporte (cinta Transportadora)	Electricidad	MJ	5.253	Entrada = 0,5 kW	Datos Técnicos : FRIMAQ Modelo :CT 500 (Ver Anexo F)
Almacenaje	Espacio de almacenaje	m ²	10	Espacio aproximado	
Combustión bagazo - generación de energía (CHP -Motor Stirling)	Emisiones - NOx	kg/MJ	6,1E-09	Equipo = Analizador de quimioluminiscencia Modelo = CLD 700EL	[2]
	Emisiones - CO	kg/MJ	3,0E-09	Equipo = Analizador infrarrojo no dispersivo Modelo =10P	[2]
	Emisiones - O ₂	%	12	Equipo = Analizador de presión magnética Modelo = MAGOS 6G	[2]

3.5.3 Etapa 3: Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

3.5.3.1 Clasificación de los impactos ambientales

El estudio se centra en el valor asociado al cambio climático basado en el potencial de calentamiento global, y que es el indicador más utilizado en distintos estudios de ciclo de vida. Además que este indicador sirve para la comparación entre tecnologías, como el realizado por Svensson – 2015, en el cual se analiza el cambio climático para tres diferentes plantas de generación eléctrica [15]. Mencionar que algunas entradas no contienen toda la información para el cálculo de los impactos ambientales, por lo que los valores asociados al cambio climático se deben considerar como valores aproximados.

3.5.3.2 Caracterización

El contaminante de referencia es el dióxido de carbono, al que se refieren en mayoría de los gases de efecto invernadero, y se consideró este como el fundamental en cada proceso.

3.5.3.3 Valoración (determinación de efectos)

Los cálculos son realizados para cada proceso que se detalla a continuación:

- **Transporte**

Para este proceso se considera un camión Diésel - Camión con plataforma plana mayor a 33 toneladas y con la información incluida en la Tabla 24 se calcula la cantidad de CO₂.

Emisiones de camión articulado = 0,10462 kgCO₂/Tn*km

Tomando la distancia y el peso del residuo transportado la emisión de CO₂ es:

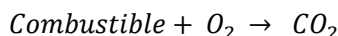
$$kgCO_2 = 0,10462 \frac{kg CO_2}{Tn * Km} * 58,652 Tn * 4 km$$

$$CO_2 = 25 kg$$

- **Generación eléctrica – generador Diésel**

En esta sección se considera la energía empleada por los procesos de pelletizado, molienda, enfriamiento y transporte para el día de inicio de la planta, el primer día el generador diésel será empleado para la producción de pellets. Las emisiones generadas

por el uso de diésel como combustible se calculan con la información incluida en la Tabla 23 y la reacción de combustión:



$$32 \text{ litros Diesel} * \frac{0,87 \text{ g}}{\text{cm}^3} * \frac{1000 \text{ cm}^3}{1 \text{ litro}} = 27840 \text{ g diesel}$$

$$27840 \text{ g C}_{12}\text{H}_{26} (\text{diesel}) * \frac{1 \text{ mol C}_{12}\text{H}_{26}}{170 \text{ g C}_{12}\text{H}_{26}} * \frac{1 \text{ mol CO}_2}{1 \text{ mol diesel}} * \frac{44 \text{ g CO}_2}{1 \text{ mol CO}_2}$$

$$= 7206 \text{ g CO}_2$$

$$= 4585 \text{ g CO}$$

- **Combustión**

La energía empleada por los procesos de molienda, pelletizado y enfriamiento provienen de la generada por la planta de calor y potencia, por lo que se considera que las emisiones son las que se generan de la combustión de los pellets para la generación de energía combustión.

Con los datos proporcionados en la Tabla 20, Tabla 23 y Tabla 24 Se determinan las emisiones:

$$\text{Energía generada} = 343317 \text{ MJ/año}$$

$$\text{Emisiones - CO} = 3 \times 10^{-9} \frac{\text{kg CO}}{\text{MJ}} * 343317 = 0,0012 \text{ kg}$$

$$\text{Emisiones - NOx} = 0,0021 \text{ kg}$$

3.5.4 Etapa 4: Interpretación

Los resultados obtenidos de cada proceso se incluyen en la Tabla 25:

Tabla 25: Emisiones medioambientales por año

Proceso	UN	Valor
Transporte	kg CO ₂	24,5
Elaboración de Pellets- generador diésel	kgCO ₂	7,2
	kgCO	4,6
Elaboración de Pellets- Planta CHP	kgCO	1 E-03
	kgNOx	2 E-03

De los resultados incluidos en la tabla anterior se identifica al transporte como el proceso que genera mayor cantidad de emisiones ambientales, siguiéndole la elaboración de pellets por un día empleando la energía del generador diésel. Los impactos ambientales

de cada proceso involucrado en la generación eléctrica se pueden apreciar en la en la Figura 16.

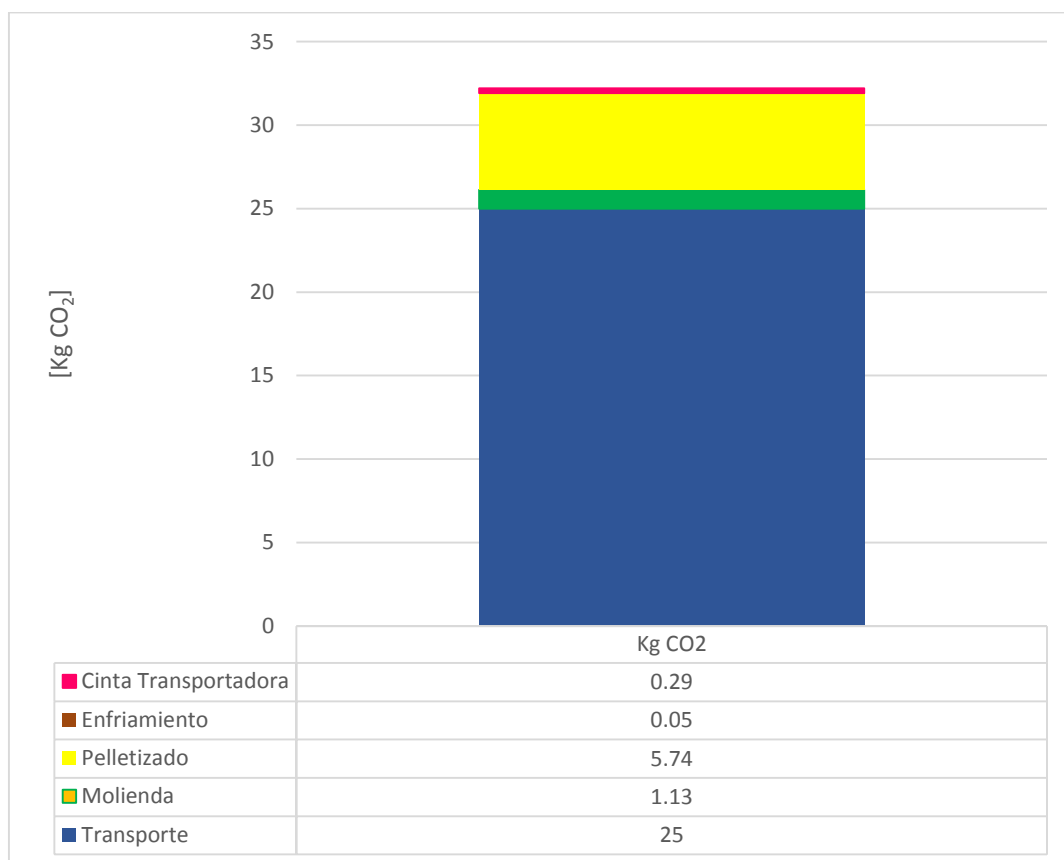


Figura 16: Cambio climático ocasionado por proceso

Con la información incluida en la figura anterior se determina que el proceso con mayor generación de emisiones es el transporte del bagazo de caña de azúcar, desde la industria procesadora de azúcar AGUAI hasta la planta de generación eléctrica. Esta se situara en la comunidad Aguahi a 4 km. Este impacto es el mayor debido a la distancia recorrida y el combustible empleado por el transporte, es decir, que a mayor distancia mayor impacto sobre el ambiente. El proceso siguiente es el pelletizado, mencionar que el impacto ocasionado por la combustión de los pellets no se considera, debido a que todo el CO₂ generado por el azúcar es el que se emite en la combustión, y la cantidad de impacto mostrada en la Figura 16 es la generada por el uso de energía eléctrica proveniente del generador diésel.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las simulaciones y análisis del ciclo de vida desarrollados en el capítulo 3 son incluidos en la Tabla 26 .

Tabla 26: Resultados

Comunidad de estudio	Aguahi	
Número de viviendas	Viviendas	128
Demanda de energía eléctrica	kWh/mes	163
Simulación 1		
Cantidad de pellets	kg	44.779
Cantidad de bagazo de caña de azúcar	kg	47.018
Simulación 2		
Demanda energía eléctrica - elaboración de pellets	kWh/año	33.045
Demanda energía eléctrica - Comunidad	kWh/año	59.170
Demanda energía eléctrica Total	kWh/año	92.216
Cantidad de pellets	kg	55.859
Cantidad de bagazo de caña de azúcar	kg	58.652
Energía eléctrica generada	kWh/año	97.350
Evaluación de impactos ambientales		
Emisiones por proceso		
Transporte	kg CO ₂	25,0
Molienda	kg CO ₂	1,1
	kg CO	0,7
Pelletizado	kg CO ₂	5,7
	kg CO	3,6
Enfriamiento	kg CO ₂	0,05
	kg CO	0,03
Transporte (cinta)	kg CO ₂	0,3
	kg CO	0,2
Combustión	kg CO	0,001
	kg Nox	0,002
Emisiones - Total		
Emisiones CO ₂	kg CO ₂	32,2
Emisiones CO	kg CO	4,6
Emisiones NOx	kg NOx	0,002

De los resultados incluidos en la tabla anterior, se destaca que la producción de energía eléctrica generada en una planta de Calor y Potencia con motor Stirling ocasiona un impacto ambiental de 32,2 Kg de CO₂ al año. En su gran mayoría es ocasionado por el transporte de bagazo hasta la planta de generación eléctrica, es decir, que el mismo depende de la distancia recorrida. El otro proceso que ocasiona impactos es la elaboración

de pellets que la constituyen la molienda, pelletizado, enfriamiento y transporte, para las cuales se utiliza energía eléctrica de un generador diésel.

La cantidad de CO₂ que se produce por usar energía de la red eléctrica es 0,1240 Ton CO₂/GJ [53], y al ser la demanda de la comunidad 97.350 kWh/año, se generaría alrededor de 43.457 kg CO₂, comparando este resultado con los 32,2 Kg de CO₂, que se genera con la planta de calor y potencia. Es evidente que existe una diferencia muy grande, que llega a ser favorable para la implementación de la planta.

4.2 Análisis de sensibilidad

Se planteó realizar un análisis de sensibilidad para evaluar el modelo. Se llevó a cabo mediante una técnica de uno en uno, empleada en el estudio realizado por Svensson, 2015, en el que se fue considerando diferentes escenarios. En cada uno de ellos se modificó un parámetro y mantuvo el resto fijo para ver cómo afecta el resultado y la conclusión. Los parámetros que se eligieron en este estudio son valores con un grado de incertidumbre en ellos y son a menudo valores que se han estimado o que pueden cambiar en el futuro [15]. En nuestro caso se toman en cuenta los procesos con mayores niveles de emisiones (transporte y elaboración de pellets),

Escenario 1

Para este escenario se consideró el cambio de la distancia del transporte de bagazo hacia la planta de generación de energía. Es decir asumiendo que el bagazo de caña de azúcar sea transportado desde otras empresas procesadoras de azúcar. Las distancias de las industrias procesadoras de azúcar con respecto a la comunidad Aguahi y los resultados de las emisiones de CO₂ que se tendría con la nueva distancia de transporte se incluyen en la Tabla 27:

Tabla 27: Distancia entre la comunidad Aguahi e industrias procesadoras de azúcar

Industria	Distancia [Km]	Emisiones [kg CO₂]
Aguai	4	25
Unagro	27	166
Guabirá	50	307
Bélgica	80	491
San Aurelio	110	675

Fuente: Industria Aguai S.A [46]

Con los resultados de emisiones de CO₂ incluidos en la Tabla 27, se recalcula las emisiones de todo el sistema de generación, las cuales se presentan en la Figura 17.

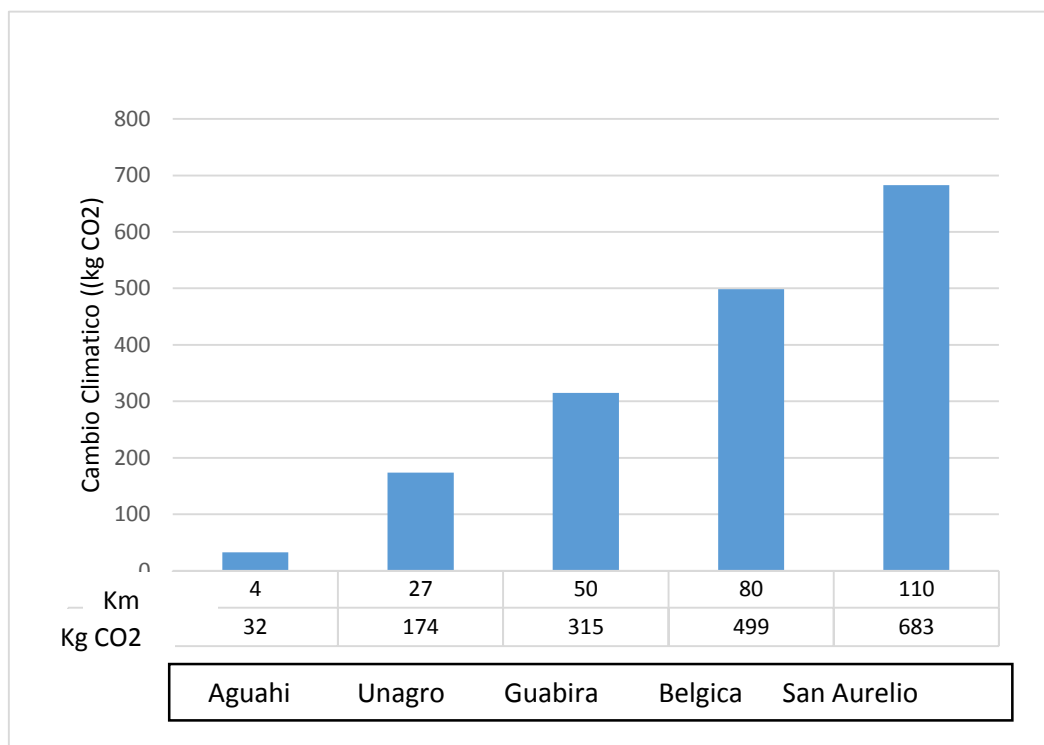


Figura 17: Cambio climático del sistema con la variación de la distancia de transporte

De los resultados incluidos en la Figura 17, se aprecia que existe un notable aumento de emisiones de CO₂. En lo que la disponibilidad de materia prima cerca de la planta de generación eléctrica es un factor determinante para la implementación del proyecto. Es decir, que este sistema no resultaría atractivo en la zona andina de Bolivia (Potosí y Oruro), debido a que en esas zonas no se cultiva, ni procesa la caña de azúcar.

Escenario 2

Para este escenario, se consideró que la energía requerida para la elaboración de pellets por un día, se realice con la energía suministrada por paneles solares y no con un generador diésel.

Considerando que la energía generada por los paneles ocasionen 46 g CO₂/kWh [54], se calcula nuevamente las emisiones de todo el sistema, los resultados se incluyen en la Figura 18.

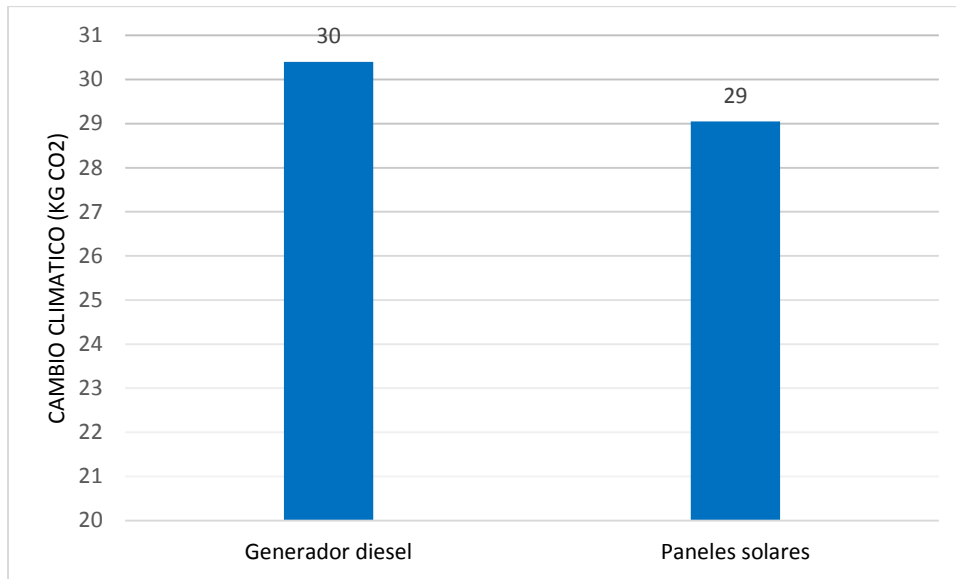


Figura 18: Cambio climático del sistema, Generador VS Paneles solares

Con los resultados incluidos en la Figura 18, se identifica que las emisiones empleando paneles solares no tienen un cambio significativo, solo reducen en 1Kg. Mencionar que la instalación de los paneles para la generación de energía eléctrica requiere estructuras que soporten los paneles, lo cual no es necesario con el generador diésel.

5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Las conclusiones se detallan en base a los objetivos planteados y como respuesta a las preguntas de investigación.

Se consideró como un factor importante para definir la zona rural en la que se debía implementar el proyecto, la cercanía a la misma de la fuente de energía (residuos agroindustriales). Por tanto se fueron revisando todas las zonas rurales existentes en el país que no tuvieran cobertura de energía eléctrica.

Se identificaron las rurales sin cobertura de energía eléctrica, utilizando el programa REDATAM, iniciando por el número de viviendas que no cuentan con el servicio de energía eléctrica a nivel nacional, por departamento, provincia, municipio y comunidad. De los resultados obtenidos se identificó que el mayor número de casos se encuentran en la comunidad de Guana Grande ubicada en el departamento de La Paz. Para comenzar a recabar información sobre esta comunidad se verificó si se encontraba cerca a la fuente de combustible.

Se identificó al bagazo de caña de azúcar como el residuo agroindustrial a ser utilizado como combustible. Este residuo posee características energéticas muy similares a las que presenta la madera. Para llegar a esta selección se revisaron los diagnósticos de gestión de residuos en Bolivia. Además se identificó el departamento donde se genera la mayor cantidad del residuo, siendo este Santa Cruz. En este departamento se encuentran cinco de las ocho procesadoras de azúcar en Bolivia. Este factor fue el que determinó como la zona de estudio la comunidad de Aguahi. Si bien esta comunidad no tiene el mayor número de viviendas sin cobertura de energía eléctrica, se encuentra cerca a la fuente de combustible.

Para la comunidad seleccionada, se determinó la demanda de energía eléctrica de 163 kWh por mes, esta cantidad fue utilizada en la simulación de HOMER pro.

Se realizaron dos simulaciones en HOMER pro, la primera determinó que la cantidad de pellets necesarios para cubrir la demanda de energía por año de la comunidad, es 44.779 kg. La segunda simulación se la realizó considerando la demanda eléctrica de la comunidad y la demanda de energía para la elaboración de pellets. Esta demanda es de 92.216 kWh para todo el año. Los resultados obtenidos de simulación indicaron que se requería un total de 55.859 kg de pellets. Esta cantidad puede ser cubierta por la industria

procesadora de azúcar Aguai, siendo esta la más cercana a la comunidad, la misma genera alrededor de 240.000 Toneladas de bagazo de caña de azúcar al año. También se determinó de acuerdo a HOMER pro, que se requiere dos motores Stirling de 18 y 2 KW de potencia nominal.

Los resultados obtenidos del Análisis del Ciclo de Vida de la generación de energía eléctrica realizado indican que el cambio climático ocasionado por la generación de energía eléctrica es 32,2 kg de CO₂, 4,6 kg de CO y 0,002 Kg de NO_x. La mayor generación de CO₂ es ocasionada por el transporte del bagazo a la planta. Comparando las emisiones con las generadas por la energía eléctrica de la red eléctrica, la diferencia es de más de 43.547 Kg de CO₂. Esto se debe a que no se consideró el CO₂ generado en el proceso de combustión del bagazo, ya que se asume que esta cantidad es la que absorbe durante el crecimiento de la caña.

Se realizó un análisis de sensibilidad considerando dos escenarios, el primero suponiendo que la distancia del transporte de bagazo de caña de azúcar se realice desde otras industrias. El resultado indicó que a mayor distancia, la generación de contaminantes aumenta en gran medida. El segundo análisis se consideró que la energía eléctrica suministrada para la elaboración de pellets por día no se realice con paneles solares no con un generador diésel. Los resultados obtenidos indicaron que solo se reduce 1 Kg de CO₂ empleando paneles solares.

Del resumen detallado anteriormente se concluye que implementar una planta de Calor y potencia con Motor Stirling es viable desde el punto de vista ambiental. Debido a que se utiliza como combustible bagazo de caña de azúcar que es actualmente es desechado o utilizado como alimento para animales.

6 REFERENCIAS

- [1] “Acceso a electricidad,” Banco Mundial, 2014. [En Línea]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.ACCS.ZS>. [Accedido: 14-oct-2017]
- [2] E. Cardozo, “Combustion of agricultural residues,” tesis doctoral, KTH Royal Institute of Technology, 2014.
- [3] “Energía renovable,” Jose A. Roca, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://elperiodicodelaenergia.com/>. [Accedido: 10-oct-2017]
- [4] “Hogares por Disponibilidad de Energía Eléctrica, Según Área,” INE, Servicios Básicos, Encuestas de Hogares, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.ine.gob.bo/index.php/educacion-5/vivienda-y-servicios-basicos-3/http-www-ine-gob-bo-cuadros-estadisticos-csist-cuadros-rptcuadros-30307>. [Accedido: 20-oct-2017]
- [5] Ministerio de Hidrocarburos y Energía; y Viceministerio de Electricidad y Energías Alternativas, “Plan Electrico del Estado Plurinacional de Bolivia 2025,” Estado Plurinacional Boliv., p. 159, 2014.
- [6] “BIOMASA: Una alternativa utilizable como fuente de energía,” pp. Gobierno Autónomo Departamental Santa Cruz, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.santacruz.gob.bo/sczpdf/452>. [Accedido: 15-oct-2017]
- [7] “Proyecto mdl de cogeneración con bagazo de caña de azúcar,” Industrias Guabira Energía S.A., Bolivia, 2008. [En línea]. Disponible en: <http://docplayer.es/29849478-Proyecto-mdl-de-cogeneracion-con-bagazo-de-cana-de-azucar-de-guabira-energia-s-a.html>. [Accedido: 17-oct-2017]
- [8] “Energías Renovables, la Luz del Progreso para la Bolivia Rural. Situación y Perspectiva de las Energías Alternativas,” P. M. González, Bolivia 2001. [En línea]. Disponible en: https://www.cedla.org/sites/default/files/bol_plataforma5.pdf. Accedido: 10-oct-2017]
- [9] A. Kylili, E. Christoforou, and P. A. Fokaides, “Environmental evaluation of biomass pelleting using life cycle assessment,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 84, pp. 107–117, 2016.
- [10] M. Patel, X. Zhang, and A. Kumar, “Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 53, pp. 1486–1489, 2016.
- [11] S. Nishiguchi and T. Tabata, “Assessment of social, economic, and environmental aspects of woody biomass energy utilization: Direct burning and wood pellets,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 57, pp. 1279–1286, 2016.
- [12] C. Perilhon, D. Alkadee, G. Descombes, and S. Lacour, “Life cycle assessment applied to electricity generation from renewable biomass,” *Energy Procedia*, vol. 18, pp. 165–176, 2012.

- [13] “Bolivia : National Biomass Program,”. Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP) 2007, [En línea] Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/467421468202435601/pdf/402370B00Techn1port011510701PUBLIC1.pdf>, [Accedido:10-sep-2017]
- [14] S. M. Shafie, T.M.I.Mahlia, H. H. Masjuki, and B. Rismanchi, “Life cycle assessment (LCA) of electricity generation from rice husk in Malaysia,” *Energy Procedia*, vol. 14, pp. 499–504, 2012.
- [15] J. Svensson, “A Comparative Study of Paraffin and Wood Pellets Used for Cooking in Low Income Households in South Africa,” Trabajo fin de master 2015.
- [16] *Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, International Organization for Standardization, “ISO 14040”- *Int. Organ. Stand.*, vol. 3, p. 20, 2006.
- [17] R. Blanca , “El Analisis del Ciclo de Vida y la Gestion Ambiental,” 2003. [En línea] Disponible en: <https://www.ineel.mx/boletin032003/tend.pdf> . [Accedido:16-sep-2017]
- [18] M. Romero, “Análisis de ciclo de vida (ACV). Herramienta de gestión ambiental,” *Eoi*, p. 16, 2010. [En línea] Disponible en: <https://www.ineel.mx/boletin032003/tend.pdf>. [Accedido:16-sep-2017]
- [19] *International Organization for Standardization*, “Ntc-Iso 14040,” in *Icontec*, 2007, no. 571, pp. 1–24.
- [20] T. Tabata and T. Okuda, “Life cycle assessment of woody biomass energy utilization: Case study in Gifu Prefecture, Japan,” *Energy*, vol. 45, no. 1, pp. 944–951, 2012.
- [21] “INTERNATIONAL assessment - Principles and framework,” vol. 1997, 1997. International Organization for Standardization,
- [22] M. Peter, “Energy production from biomass (part 1): overview of biomass,” vol. 83, no. July 2001, pp. 37–46, 2002.
- [23] E. Cerdá Tena, “Energía obtenida a partir de biomasa,” *Cuad. económicos ICE*, no. 83, pp. 117–140, 2012.
- [24] “Energía Biomasa,” *Energías Renov.*, p. 19, Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, y Subsecretaría de Energía Eléctrica, 2008. [En línea] Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/255B83C3929F75C205257CC100600AA4/\\$FILE/Energ%C3%ADaBiomasa_Energ%C3%ADasRenovables.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/255B83C3929F75C205257CC100600AA4/$FILE/Energ%C3%ADaBiomasa_Energ%C3%ADasRenovables.pdf). [Accedido:2-oct-2017]
- [25] “La dinamica Boliviana de la Sustitución energética,” Viceministro de Desarrollo Energético, 2016. [En línea]. Disonible en: http://www.energiabolivia.com/index.php?option=com_content&view=article&id=98:la-dinamica-boliviana-de-la-sustitucion-energetica&catid=18&Itemid=108. [Accedido:23-sep-2017]
- [26] P. McKendry, “Energy production from biomass (part 2): conversion technologies,” *Bioresour. Technol.*, vol. 83, no. 1, pp. 47–54, 2002.

- [27] L. D. H. L. S. Riffa, "Development of small-scale and micro-scale biomass-fuelled CHP systems - A literature review," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 11–12, pp. 2119–2126, 2009.
- [28] "Biomasa y Generación de Energía: Aprovechamiento de Residuos Agropecuarios y Urbanos," FIPER, Argentina 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.fiper.it/uploads/media/Libro_Biomassa_Argentina_pg._143.pdf. [Accedido: 1-oct-2017]
- [29] S. Mueller, "Missing the spark: An investigation into the low adoption paradox of combined heat and power technologies," *Energy Policy*, vol. 34, no. 17, pp. 3153–3164, 2006.
- [30] K. Alanne and A. Saari, "Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: The basis for multi-perspective decision-making," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 8, no. 5, pp. 401–431, 2004.
- [31] L. D. H. L. S. Riffa, "Development of small-scale and micro-scale biomass-fuelled CHP systems - A literature review," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 11–12, pp. 2119–2126, 2009.
- [32] M. E. Corria, V. M. Cobas, and E. Silva Lora, "Perspectives of Stirling engines use for distributed generation in Brazil," *Energy Policy*, vol. 34, no. 18, pp. 3402–3408, 2006.
- [33] F. B. I. Obernberger, H. Carlsen, "State-of-the-art and future developments regarding small-scale biomass chp systems with a special focus on orc and stirling engine technologies," *Bios*, 2003.
- [34] "Disponibilidad de energía eléctrica y principal combustible o energético utilizado para cocinar en la vivienda de los hogares, por departamento, según área geográfica, Censos de 1992, 2001 y 2012," *Servicios Básicos, Censos 1992, 2001 y 2012*, , INE, 2012 [En línea]. Disponible en: <http://www.ine.gob.bo/index.php/educacion-5/vivienda-y-servicios-basicos-3/censos-1992-2001-y-2012>. [Accedido: 25-oct-2017]
- [35] L. D. Zrazhevskiy, "Datos Generales de Bolivia," pp. 1–24, 2012. [En línea]. Disponible en: http://www.bolivianland.net/UserFiles/File/0ParaDescripciones/Bolivia/Bolivia_Esp.pdf. [Accedido: 3-nov-2017]
- [36] "Procedencia de Energia Electrica," *Censo de Poblacion y Vivienda 2012*, INE, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://datos.ine.gob.bo/binbol/RpWebEngine.exe/Portal?BASE=CPV2012COM&lang=ESP>. [Accedido: 25-oct-2017]
- [37] "Diagnostico de la Gestion de Residuos Solidos en Bolivia," Ministerio de Medio Ambiente y Agua - MMAyA, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.kioscoverde.bo/wp-content/uploads/2017/10/Diagnostico-de-Gestión-de-Residuos-en-Bolivia.pdf>. [Accedido: 25-oct-2017]
- [38] "Departamento de Santa Cruz es el mayor productor de alimentos en Bolivia," Agencia Boliviana de Información, 2013. [En línea]. Disponible en <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/departamento-de-santa-cruz-es-el-mayor-productor-de-alimentos-en-bolivia>. [Accedido: 18-sept-2017]

- [39] Camara Agropecuaria del Oriente, “Estadísticas- Agropecuarias,” 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.cao.org.bo/sitio/index.php/servicios/datos-estadisticos>. [Accedido: 18-oct-2017]
- [40] “Producción agrícola, Según Cultivo,” INE, 2016. [En línea]. Disponible en : <http://www.ine.gob.bo/index.php/estadisticas-por-actividad-economica/industria-manufacturera-y-comercio-4>. [Accedido: 20-oct-2017]
- [41] “Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa-Dirección de productos forestales, FAO,” M. Fernández and M. Saavedra, 2006. [En línea]. Disponible en : <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0q.htm>. [Accedido: 27-oct-2017]
- [42] “Bolivia - REGISTROS ADMINISTRATIVOS DE LA PRODUCCIÓN DE AZÚCAR, Producción de Azúcar 2013,” INE, 2013. [En línea]. Disponible en : http://anda.ine.gob.bo/ANDA4_2/index.php/catalog/157. [Accedido: 21-oct-2017]
- [43] “Informacion de la industria azucarera en Bolivia. Todo sobre el Azucar - Bolivia,” AHM, 2016. [En línea]. Disponible en : <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0q.htm>. [Accedido: 07 -oct-2017]
- [44] “Generando energía limpia con recursos renovables,” Ingenio azucarero Guabirá S.A, 2014. [En línea]. Disponible en : <http://revistapyc.com/Articulos/Grupo58/ART-58-G.pdf>. [Accedido: 3-sep-2017]
- [45] “Combustibles de biomasa Tipos y características III Plan Energético de Navarra horizonte 2020,” Comisión mixta de la biomasa forestal de Navarra, 2015. [En línea]. Disponible en : <https://www.navarra.es/NR/ronlyres/45C7C274-B3F4-4C91-B8B9-23259B8F5B39/0/201501Combustiblesdebiomasa.pdf>. [Accedido: 21-oct-2017]
- [46] “Información del Ingenio Sucroalcoholero AGUAÍ S.A.,” Industria Aguaí S.A, 2012. [En línea]. Disponible en : <http://docplayer.es/29849478-Proyecto-mdl-de-cogeneracion-con-bagazo-de-cana-de-azucar-de-guabira-energia-s-a.html>. [Accedido:31-sep-2017]
- [47] “Estimacion del potencial de introduccion de energias renovables en bolivia (1),” pp. 1–5, M. Fernández, 2010. [En línea]. Disponible en : http://www.energetica.org.bo/electsol/documentos/pdf/atcz_02.pdf. [Accedido:29-nov-2017]
- [48] “HOMER ENERGY,” Homer Energy, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.homerenergy.com/homer-pro.html>. [Accedido: 1-dic-2017]
- [49] E. Cardozo, “Pelletizing study of agricultural residues- parameters and energy use,” Tech. Rep EKV 05/2011.
- [50] E. Cardozo, C. Erlich, A. Malmquist, and L. Alejo, “Integration of a wood pellet burner and a Stirling engine to produce residential heat and power,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 73, no. 1, pp. 669–678, 2014.
- [51] “Especificaciones técnicas,” Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Referencia/DafExep/ANH-14-2014.pdf> [Accedido: 17-ene-2018]

- [52] “Estudio comparativo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el proyecto piloto de implantación de un Sistema de Recogida, Devolución y Retorno de Envases frente al Sistema de Gestión Integral actual,” INCLAM-CO2, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.retorna.org/mm/file/huelladecarbono.pdf>. [Accedido: 21-ene-2018]
- [53] “*Tool to calculate the emission factor for an electricity system*,” United Nation Climate Change, 2010. [En línea]. Disponible en: <http://unfccc.int/home/items/6078.php?searchbutton.x=0&searchbutton.y=0&searchbutton=send&q=emission+factor>. [Accedido: 4-ene-2018]
- [54] “Gráficos significativos energía solar fotovoltaica,” Instituto de Energía Solar, 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.ies.upm.es/sfs/IES/IES-UPM/Portada/2017_01_17%20datos%20fotovoltaica%20en%20Espa%C3%B1a.pdf. [Accedido: 20-ene-2018]

ANEXOS

ANEXO A

Viviendas sin cobertura de energía eléctrica por provincia

Tabla 28-A: Disponibilidad de energía Por provincias de Santa Cruz

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Andrés Ibáñez	19	3.281
Warnes	14	715
Velasco	51	4.048
Ichilo	58	6.400
Chiquitos	24	1.966
Sara	43	2.165
Cordillera	44	6.815
Vallegrande	42	2.108
Florida	29	1.522
Obispo Santiestevan	23	1.553
Ñuflo de Chávez	42	6.625
Ángel Sandóval	40	681
Manuel Maria Caballero	29	1.145
German Busch	43	798
Guarayos	62	3.086

Tabla 29-A: Disponibilidad de energía Por provincias de BENI

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Cercado	36	866
Vaca Díez	61	2.307
José Ballivian	65	5.423
Yacuma	36	804
Moxos	49	1.085
Marbán	46	1.512
Mamoré	41	434
Iténez	30	605

Tabla 30-A: Disponibilidad de energía Por provincias de PANDO

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Nicolás Suárez	411	1.179
Manuripi	51	1.450
Madre de Dios	58	2.107
Abuná	36	340
Federico Román	48	731

Tabla 31-A: Disponibilidad de energía Por provincias de LA PAZ

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Murillo	26	3.725
Omasuyos	29	8.233
Pacajes	62	11.129
Camacho	45	10.008
Muñecas	38	3.258
Larecaja	36	8.778
Franz Tamayo	44	2.399
Ingavi	35	8.057
Loayza	31	4.658
Inquisivi	42	6.937
Sud Yungas	46	15.492
Los Andes	31	8.213
Aroma	39	9.028
Nor Yungas	23	2.628
Abel Iturralde	59	1.454
Bautista Saavedra	49	1.923
Manco Kapac	30	1.930
Gualberto Villarroel	52	3.114
José Manuel Pando	55	1.402
Caranavi	51	8.482

Tabla 32-A: Disponibilidad de energía Por provincias de ORURO

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Cercado	45	5.315
Abaroa	44	3.369
Carangas	52	1.906
Sajama	37	1.066
Litoral	38	1.112
Poopó	30	1.552
Pantaleón Dalence	21	489
Ladislao Cabrera	36	1.794
Sabaya	25	785
Saucarí	60	2.610
Tomás Barrón	32	280
Sur Carangas	50	1.349
San Pedro de Totora	51	1.626
Sebastián Pagador	57	1.075
Mejillones	48	297
Nor Carangas	64	1.439

Tabla 33 -A: Disponibilidad de energía Por provincias de POTOSI

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Tomás Frías	44	7.219
Rafael Bustillo	35	4.253
Cornelio Saavedra	43	6.623
Chayanta	55	16.458
Charcas	74	8.687
Nor Chichas	34	3.679
Alonso de Ibañez	49	3.689
Sur Chichas	28	2.171
Nor Lípez	28	1.017
Sur Lípez	36	695
José María Linares	37	5.041
Antonio Quijarro	43	4.263
Bernardino Bilbao Rioja	44	1.337
Daniel Campos	40	874
Modesto Omiste	40	1.089
Enrique Baldivieso	36	177

Tabla 34-A: Disponibilidad de energía Por provincias de TARIJA

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Cercado	24	1.712
Aniceto Arce	19	1.223
Gran Chaco	18	2.094
Aviles	23	1.320
Méndez	21	1.856
Burnet O'Connor	40	1.704

Tabla 35-A: Disponibilidad de energía Por provincias de COCHABAMBA

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Campero	52	3.443
Ayopaya	52	8.412
Esteban Arze	37	3.752
Arani	30	1.598
Arque	57	3.770
Capinota	39	2.658
Germán Jordán	10	554
Quillacollo	23	3.204
Chapare	52	19.240
Tapacarí	66	5.360
Carrasco	54	20.346
Mizque	61	5.747
Punata	13	1.183
Bolívar	51	1.210
Tiraque	44	5.157

Tabla 36-A: Disponibilidad de energía Por provincias de ORURO

Provincia	Porcentaje de viviendas que no cuentan con energía eléctrica [%]	Número de viviendas
Oropeza	59	8.367
Azurduy	72	4.318
Zudáñez	58	4.509
Tomina	64	4.864
Hernando Siles	53	2.868
Yamparáez	53	3.502
Nor Cinti	59	9.736
Belisario Boeto	55	1.193
Sud Cinti	49	2.782
Luis Calvo	50	1.970

ANEXO B

Producción Agrícola por departamento (Tn/año)

Departamento	DESCRIPCION	2013	2014	2015	2016
Santa Cruz	Caña de Azúcar	7,601,300	7,088,820	6,646,297	6,326,558
	Soya	2,616,498	2,784,213	3,073,284	3,173,707
	Arroz con cáscara	1,667,485	1,811,021	2,257,497	2,027,242
	Girasol	277,807	198,257	105,18	130,371
	Sésamo	6,539	7,736	9,275	12,32
Chuquisaca	Arroz con cáscara	393	396	456	465
	Caña de Azúcar	4,118	6,453	8,633	8,841
	Girasol	1	1	1	1
	Sésamo	10	9	8	9
	Soya	186	184	173	178
La Paz	Arroz con cáscara	10,203	12,354	14,723	15,061
	Caña de Azúcar	17,837	28,992	50,589	76,654
	Girasol	0	0	0	0
	Sésamo	42	43	48	48
	Soya	25	12	19	14
Cochabamba	Arroz con cáscara	8,984	9,288	10,277	10,497
	Caña de Azúcar	6,361	5,976	6,087	6,228
	Girasol	0	1	1	1
	Sésamo	5	4	3	5
	Soya	684	655	667	730
Oruro	Arroz con cáscara	0	0	0	0
	Caña de Azúcar	0	0	0	0
	Girasol	0	0	0	0
	Sésamo	0	0	0	0
	Soya	0	0	0	0
Potosí	Arroz con cáscara	0	0	0	0
	Caña de Azúcar	21	21	21	21
	Girasol	0	0	0	0
	Sésamo	0	0	0	0
	Soya	0	0	0	0
Tarija	Arroz con cáscara	629	646	788	606
	Caña de Azúcar	391,034	424,085	436,327	446,869
	Girasol	1	1	1	2
	Sésamo	0	0	0	
	Soya	22,034	21,813	22,984	20,986
Beni	Arroz con cáscara	50,872	54,816	58,458	59,519
	Caña de Azúcar	41,347	41,443	41,586	42,59
	Girasol	293	306	357	366
	Sésamo	0	232	368	211
	Soya	6,349	7,443	8,811	9,024
Pando	Arroz con cáscara	3,111	3,245	3,407	3,489
	Caña de Azúcar	2,665	2,84	2,973	3,045
	Girasol	0	0	0	0
	Sésamo	0	0	0	0
	Soya	0	0	0	0

ANEXO C

Ficha Resumen Censo Población vivienda 2012- Comunidad Aguari

DEPARTAMENTO ESTADÍSTICO : SANTA CRUZ
 PROVINCIA ESTADÍSTICA : OBISPO SANTISTEVAN
 MUNICIPIO ESTADÍSTICO : FERNANDEZ ALONSO
 NOMBRE CIUDAD : AGUARI
 MANZANO(S) : 5788391057-A - 5788505768-A - 5789086332-A - 5789197901-A - 5789598(Adjunto listado de manzanos seleccionados)

POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN GRUPO DE EDAD			
Grupos de edad	Total	Hombres	Mujeres
Total	542	302	240
0-3	64	28	36
4-5	32	21	11
6-19	199	111	88
20-39	156	87	69
40-59	66	41	25
60 y más	25	14	11
Población de 18 años y más (población en edad de votar)	266	152	114
Población femenina de 15-49 años en edad fértil	117		117
Población en viviendas particulares	497	275	222
Población en viviendas colectivas	42	25	17
Población sin vivienda en tránsito	3	2	1
Población sin vivienda que vive en la calle	0	0	0
Población empadronada inscrita en el Registro Cívico	513	288	225
Población empadronada que tiene Cédula de Identidad	379	222	157
POBLACIÓN EMPADRONADA POR SEXO, SEGÚN IDIOMA EN EL QUE APRENDE A HABLAR(1)			
Idioma	Total	Hombres	Mujeres
Total	478	274	204
Castellano	392	221	171
Quechua	55	37	18
Aymara	4	1	3
Guarani	20	12	8
Otros Idiomas oficiales	2	0	2
Otros Idiomas	0	0	0
Idioma extranjero	1	1	0
No habla	0	0	0
Sin especificar	4	2	2
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 6 A 19 AÑOS POR SEXO, SEGÚN ASISTENCIA ESCOLAR(1)			
Asistencia escolar	Total	Hombres	Mujeres
Total	199	111	88
Asiste	166	91	75
No asiste	32	19	13
Sin especificar	1	1	0

LUGAR DONDE ACUDE LA POBLACIÓN CUANDO TIENEN PROBLEMAS DE SALUD			
Salud	Total	Hombres	Mujeres
Caja de Salud (CNS, COSSMIL, u otras)	56	30	26
Seguro de salud privado	12	10	2
Establecimientos de salud público	494	270	224
Establecimientos de salud privado	70	33	37
Médico tradicional	107	60	47
Soluciones caseras	357	199	158
La farmacia o se automedica	333	182	151
POBLACIÓN EMPADRONADA, POR SEXO, SEGÚN LUGAR DE NACIMIENTO Y RESIDENCIA HABITUAL			
Lugar de nacimiento	Total	Hombres	Mujeres
Total	542	302	240
Aquí	194	116	78
En otro lugar del país	345	184	161
En el exterior	3	2	1
Lugar de residencia habitual	Total	Hombres	Mujeres
Total	542	302	240
Aquí	518	289	229
En otro lugar del país	24	13	11
En el exterior	0	0	0
POBLACIÓN EMPADRONADA DE 10 AÑOS O MÁS DE EDAD, SEGÚN ACTIVIDAD ECONÓMICA Y CATEGORÍA OCUPACIONAL(1)			
Sector económico	Total	Hombres	Mujeres
Total	227	161	66
Agricultura, ganadería, caza, pesca y silvicultura	129	101	28
Minería e Hidrocarburos	0	0	0
Industria manufacturera	4	2	2
Electricidad, gas, agua y desechos	0	0	0
Construcción	11	11	0
Comercio, transporte y almacenes	23	17	6
Otros servicios	33	9	24
Sin especificar	7	5	2
Descripciones Incompletas	20	16	4
Categoría ocupacional	Total	Hombres	Mujeres
Total	227	161	66
Obrera/o o empleada/o	152	110	42
Trabajadora/or del hogar	0	0	0
Trabajadora/or por cuenta propia	56	43	13
Empleadora/or o socia/o	1	1	0
Trabajadora/or familiar o aprendiz sin remuneración	2	1	1
Cooperativa de producción/servicios	0	0	0
Sin especificar	16	6	10

VIVIENDA	
Viviendas	Total
Total	128
Número de viviendas particulares	121
Número de viviendas colectivas	7
Disponibilidad de energía eléctrica	Total
Total	112
Red de empresa eléctrica	96
Otra fuente	6
No tiene	10
Combustible o energía más utilizado para cocinar	Total
Total	112
Gas en garrafa	94
Gas por cañería	0
Leña	12
Otros (electricidad, energía solar)	6
Procedencia del agua que utilizan en la vivienda	Total
Total	112
Cañería de red	91
Píleta pública	17
Carro repartidor	0
Pozo o noria	4
Lluvia, río, vertiente, acequia	0
Otro (aguatero, lago, laguna/acequia)	0

Desague del servicio sanitario	Total
Total	102
Al alcantarillado	0
A una cámara séptica	12
A un pozo ciego	90
A la calle	0
A la quebrada, río	0
A un lago, laguna, curichi	0
Eliminación de la basura	Total
Total	112
La depositan en basurero público o contenedor	1
Servicio público de recolección (carro basurero)	0
La botan a un terreno baldío o en la calle	3
La botan al río	0
La queman	100
La entierran	7
Otra forma	1

ANEXO D

Demanda Energía Eléctrica

Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
0	0,65	0,64	0,66	0,67	0,66	0,64	0,64	0,66	0,64	0,65	0,64	0,66
1	0,67	0,66	0,66	0,65	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66	0,66	0,69	0,67
2	0,66	0,66	0,65	0,65	0,67	0,6	0,66	0,65	0,67	0,68	0,67	0,68
3	0,65	0,66	0,65	0,65	0,65	0,67	0,65	0,66	0,66	0,65	0,64	0,65
4	0,66	0,66	0,66	0,67	0,67	0,66	0,68	0,65	0,67	0,64	0,64	0,64
5	0,65	0,66	0,65	0,67	0,67	0,69	0,65	0,66	0,66	0,64	0,66	0,64
6	0,1	0,11	0,1	0,11	0,09	0,12	0,12	0,12	0,11	0,13	0,09	0,13
7	0,61	0,6	0,54	0,52	0,6	0,53	0,53	0,55	0,57	0,5	0,57	0,5
8	0,65	0,6	0,57	0,58	0,63	0,59	0,59	0,57	0,64	0,63	0,66	0,63
9	0,57	0,65	0,65	0,61	0,62	0,64	0,64	0,62	0,62	0,6	0,6	0,62
10	0,62	0,63	0,62	0,65	0,59	0,66	0,66	0,61	0,63	0,57	0,57	0,54
11	0,67	0,64	0,63	0,65	0,64	0,62	0,62	0,67	0,64	0,65	0,65	0,65
12	9,14	9,11	9,11	9,15	9,13	9,15	9,13	9,14	9,17	9,09	9,09	9,09
13	8,71	8,74	8,74	8,75	8,74	8,73	8,72	8,73	8,74	8,72	8,72	8,72
14	9,12	9,03	9,16	9,04	9,04	9,1	9,17	9,15	9,08	9,15	9,1	9,08
15	0,05	9,2	9,18	9,09	9,1	9,1	9,11	9,11	9,13	9,13	9,13	9,13
16	0,3	0,32	0,45	0,36	0,38	0,36	0,38	0,38	0,41	0,41	0,41	0,41
17	9,15	9,03	9,11	9,03	9,08	9,09	9,04	9,08	9,1	9,1	9,1	9,1
18	23,17	23,58	23,6	23,58	23,58	23,58	23,57	23,62	23,57	23,57	23,57	23,57
19	24,03	24,06	24,09	24,03	24,02	24,02	24	24,09	24,03	24,03	24,03	24,03
20	24,03	24,09	24,01	24,02	24,06	24,01	24,03	23,05	23,99	23,99	23,99	23,99
21	15,7	15,7	15,77	15,74	15,79	15,75	15,81	15,83	15,73	15,73	15,73	15,73
22	1,68	1,68	1,68	1,69	1,63	1,64	1,66	1,65	1,69	1,69	1,69	1,69
23	1	0,99	1,03	1,01	1	0,94	1,06	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01

ANEXO E

Ficha técnica equipo de refrigeración

Máquinas de pellets / Viveros / Madera | Máquinas para pellets

La refrigeración del motor y limpieza Pellets conmutador 350kgr / h



00010935

La máquina se coloca en la salida de la prensa Pellets , con el fin de enfriar y limpiar los gránulos producidos a partir de polvos y residuos. La máquina tiene operación dual simultánea recoge el polvo / serrín / residuos procedentes de la prensa en un colector especial (para su reutilización) y enfría los gránulos de la eliminación de la humedad y de la temperatura después del prensado. Así, el resultado es un lugar limpio y de calidad pelets listos para el envasado

[Click για Μεγέθυνση](#)

tipo	ACC3 0 0
movimiento	Los motores monofásicos 2,2hp / 1 CV
Tabla eléctrica	incluido
producción	30 0 -350kgr / h

ANEXO F

Catalogo Cinta Transportadora



CINTAS TRANSPORTADORAS

MOD: CT500
CATÁLOGO / FICHA TÉCNICA



DATOS TÉCNICOS	CT 500
Dimensiones máquina/mm	L 2-3-4metros
Altura de trabajo regulable	800-1000 mm. aprox.
Peso aproximado	70Kg. (Según longitud)
Ancho de banda	500 mm.

CARACTERÍSTICAS

- Estructura de acero inoxidable AISI 304
- Diseño higiénico sanitario
- Velocidad de avance por variador de velocidad
- Selector de sentido de giro
- Banda de plástico alimentario
- Cuadro adaptable a distintas posiciones

DOCUMENTOS:

- Certificado CE
- Declaración de conformidad CE
- Manual técnico de mantenimiento
- Manual técnico operador
- Listado de piezas
- Kit de repuesto mínimo

SUMINISTROS GENERALES

RED DE ELECTRICIDAD

Voltaje 380/400/440/460 V
Nº de fases 3 +N+ tierra
Frecuencia 50/60 Hz.
Potencia 0,5 KW

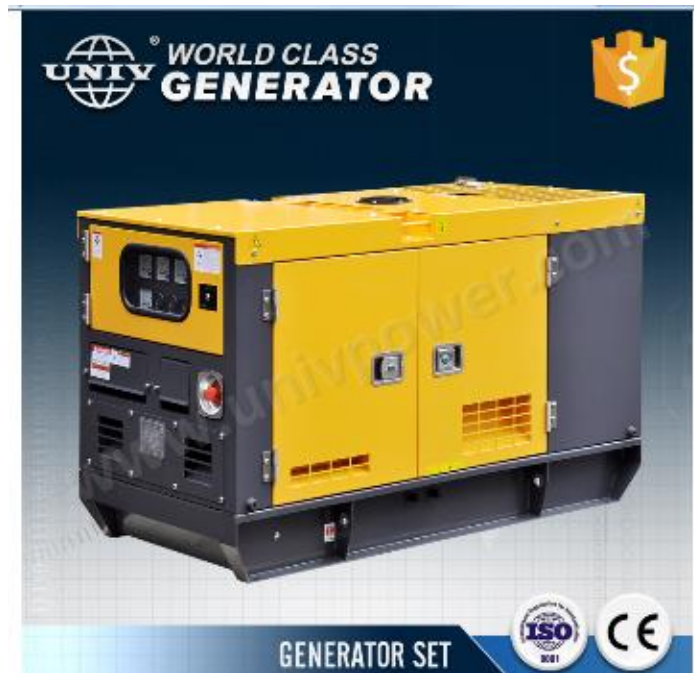
Voltaje 220/230 V TRIFASICA
Nº de 3 FASES+ tierra
Frecuencia 50/60 Hz.
Potencia 0,5 KW

Voltaje 220/230 V MONOFASICA
Nº de 2 FASES + tierra
Frecuencia 50/60 Hz.
Potencia 0,5 KW

ANEXO G

Descripción generador eléctrico

50Hz 15 kVA 12 kW generador silencioso



visión general

Detalles rápidos

Lugar del origen: Zhejiang, China (Mainland)	Marca: UNIV generador silencioso
Número de Mo... UGY15LD3	Tipo de la salida: CA trifásica
Velocidad: 1500 RPM/1800 rpm	Frecuencia: 50Hz/60Hz
Energía clasific... 15kva/12kw	Voltaje clasific... 230/400 V
Corriente clasifi... 21.6A	Motor: 4L22BD
Alternador: Stamford	Controlador: Deepsea 3110
Interruptor: Delixi o Schneider	Ruido: Tipo silencioso 65db/7 m
Consumo: 4.2L/hora	Entrega: 4 semanas
Garantía: Un año	Nombre del pro... 15 kVA generador
