



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS
CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ
EN PALENCIA, GUATEMALA**

Pablo Ovidio García Morales

Asesorado por el MA. Ing. Carlos Alejandro Alegre Ordoñez

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS
CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ
EN PALENCIA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO OVIDIO GARCÍA MORALES

ASESORADO POR EL MA. ING. CARLOS ALEJANDRO ALEGRE ORDOÑEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Jorge Mario Morales González
EXAMINADOR	Ing. Sergio Morales
EXAMINADOR	Ing. Hugo Bueso
EXAMINADOR	Ing. Edwin Adalberto Bracamonte Orozco
SECRETARIO	Ing. Edgar José Bravatti Castro

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS
CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ
EN PALENCIA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 18 de febrero de 2021.

Pablo Ovidio García Morales

Ref. EEPFI-0261-2021
Guatemala, 18 de febrero de 2021

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

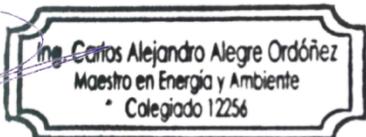
Estimado Ing. Urquizú:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ EN PALENCIA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Pablo Ovidio García Morales** carné número **8110500**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Carlos Alejandro Alegre Ordóñez
Asesor



Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético



Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIMI-011-2021

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ EN PALENCIA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Pablo Ovidio García Morales, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, febrero de 2021

DTG. 230.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE UN PROYECTO PARA ALIMENTACIÓN DE CALDERAS CON BRIQUETAS DE RESIDUOS SÓLIDOS DE UNA PLANTA DE BENEFICIO DE ARROZ EN PALENCIA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Pablo Ovidio García Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Hilda Morales Chúa (q.e.p.d.) porque supo brindarme su amor, comprensión, consejos y apoyo incondicional en todo momento y siempre fue mi ejemplo a seguir para alcanzar mis metas.

Mi esposa

Vilma Arango, amiga y compañera por brindarme su apoyo y solidaridad en todo momento para que culminara esta fase de mi vida.

Mis hijos

Pablo y Andrea García, que son el mejor regalo que la vida me brindo, mi mayor tesoro y también la fuente más pura de mi inspiración.

Mis hermanos

Patricia y Vinicio García, con quienes he compartido alegrías y tristezas en el transcurso de nuestras vidas y siempre han estado a mi lado.

Mi nieta

Valentina Ochoa, que es un rayito de luz y alegría en mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Gloriosa y tricentenaria, por ser mi *alma máter* en donde logre el desarrollo de mi formación académica como profesional.

Facultad de Ingeniería

Sede de todo el conocimiento adquirido en estos años, que permitió desarrollar mis actitudes técnicas y científicas, que permitieron alcanzar esta meta.

Mi familia

Por ser parte importante en mi desarrollo personal y profesional, en especial a mi tío Rufino Morales (q.e.p.d.) por sus sabios consejos.

Mi asesor

Mtro. Ing. Carlos Alegre por haberme acompañado con su experiencia y profesionalismo en la realización de este trabajo.

Mis amigos

Por todos los momentos que hemos compartido y por el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Pueblo de Guatemala

Por ser un pilar importante en el sostenimiento de esta casa de estudio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19
7.1. El cultivo del arroz	19
7.1.1. Aspectos botánicos.....	20
7.1.1.1. La planta de arroz.....	20
7.1.1.2. Grano de arroz o semilla	22
7.1.2. Cosecha	23

7.1.3.	Proceso en planta de beneficio	24
7.1.4.	Recepción	24
7.1.4.1.	Secado arroz en granza	24
7.1.4.2.	Almacenado en granza	25
7.1.4.3.	Parbolización.....	26
7.1.4.4.	Proceso de molienda.....	27
7.1.4.4.1.	Prelimpieza	27
7.1.4.4.2.	Descascarillado.....	27
7.1.4.4.3.	Pulido de arroz	28
7.1.4.4.4.	Clasificación y selección	28
7.1.4.4.5.	Empaque y almacenaje.....	28
7.2.	Caracterización de la cascarilla de arroz.....	29
7.2.1.	Uso de la cascarilla de arroz	30
7.2.1.1.	Como biocombustible	31
7.2.1.2.	Como abono orgánico	32
7.2.2.	Composición de la cascarilla de arroz	32
7.3.	La biomasa en procesos para generación de energía	34
7.3.1.	Definición.....	34
7.3.2.	La biomasa como fuente de energía	34
7.3.3.	Tipos de biomasa	36
7.3.3.1.	Biomasa natural	36
7.3.3.2.	Biomasa residual.....	36
7.3.3.3.	Excedentes agrícolas	37
7.3.3.4.	Cultivos energéticos	37
7.3.4.	Contenido energético de la biomasa	37
7.3.5.	Caracterización de la biomasa	38
7.4.	Briqueta ecológica.....	39

7.4.1.	Descripción	40
7.4.2.	Composición	41
7.4.3.	Tipos de procesos para fabricación de briquetas ...	41
7.4.3.1.	Fabricación artesanal	42
7.4.3.2.	Fabricación semiindustrial	42
7.4.3.3.	Fabricación industrial.....	43
7.4.4.	Biocombustibles sólidos	45
7.5.	Calderas de combustión de biomasa	45
7.5.1.	Tipos de calderas de biomasa por combustión.....	47
7.5.1.1.	Calderas de parrillas	48
7.5.1.2.	Caldera de lecho fluidizado	48
7.5.1.3.	Caldera de inyección	48
7.5.2.	Proceso de combustión de biomasa.....	49
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	51
9.	METODOLOGÍA.....	55
9.1.	Tipo de estudio	55
9.2.	Definición de variables.....	55
9.3.	Fases del estudio	56
9.3.1.	Fase 1: exploración bibliográfica	56
9.3.2.	Fase 2: recolección y preparación de la materia prima.....	57
9.3.3.	Fase 3: proceso para elaboración de las briquetas.....	58
9.3.3.1.	Equipo a utilizar para la elaboración de briquetas.....	58
9.3.3.2.	Composición de la formulación para la elaboración de la briqueta.....	59

9.3.3.3.	Diagrama de flujo de proceso para elaborar briquetas	60
9.3.4.	Fase 4: caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas.....	62
9.3.5.	Fase 5: determinación de los beneficios obtenidos del estudio	62
9.3.6.	Fase 6: presentación y discusión de resultados	63
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	65
11.	CRONOGRAMA	67
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
13.	REFERENCIAS	71
14.	APÉNDICES	77

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Partes de la planta de arroz	21
2.	Estructura del grano de arroz.....	23
3.	Proceso productivo del arroz.....	25
4.	Cascarilla de arroz	30
5.	Proceso de conversión y formas de energía	35
6.	Formas físicas de briquetas	40
7.	Máquinas de tipo artesanal para hacer briquetas	42
8.	Máquinas tipo semiindustrial para fabricar briquetas	43
9.	Diseño de planta, para fabricación industrial de briquetas	44
10.	Funcionamiento paso a paso de termoeléctrica de biomasa	46
11.	Caldera de agua caliente de biomasa DZL	47
12.	Proceso de combustión de la biomasa.....	49
13.	Máquina artesanal para fabricar briquetas rectangulares	59
14.	Diagrama de flujo de proceso para elaborar briqueta	61
15.	Cronograma de actividades	67

TABLAS

I.	Propiedades minerales de la cascarilla de arroz.....	31
II.	Características de briquetas comparando a otra fuente de combustibles	32
III.	Características químicas de cuatro variedades de cascarilla de arroz en Canadá	33

IV.	Poder calorífico inferior y composición elemental, de cuatro variedades de cascarilla de arroz en Canadá	33
V.	Rendimientos energéticos de algunas biomásas residuales	38
VI.	Parámetros físicos, químicos y energéticos de la biomasa	39
VII.	Descripción de variables	55
VIII.	Propiedades de la cascarilla de arroz	57
IX.	Formulación para determinar la combinación de almidón y agua para el aglutinante	58
X.	Fórmula de mezcla aglutinante y cascarilla	59
XI.	Características físicas de las briquetas.....	62
XII.	Propiedades fisicoquímicas de la briqueta.....	62
XIII.	Biomasa residual utilizada	63
XIV.	Costos de elaboración de briqueta	63
XV.	Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cal	Calorías
cm²	Centímetro cuadrado
cm³	Centímetro cúbico
CO₂	Dióxido de carbono
GLP	Gas licuado de petróleo
°C	Grados centígrados
g	Gramo
kcal	Kilo calorías
Kcal/kg	Kilo calorías por kilogramo
kJ	Kilo Julios
kg	Kilogramos
lb	Libras
PSI	Libras por pulgada cuadrada
MJ	Mega Julios
MJ/kg	Mega Julios por kilogramo
m³	Metro cúbico
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros
TJ	Tera Julios
ton	Toneladas

GLOSARIO

Adhesión	Fuerza de atracción que mantiene unidas moléculas de distinta especie.
Aglutinante	Sustancia o elemento, y sirve para unir o pegar un material de modo que resulte un cuerpo compacto.
Agroindustria	Industria relacionadas con la agricultura.
Almidón	Hidrato de carbono que constituye la principal reserva energética de casi todos los vegetales.
Arrocera	Fábrica donde se procesa el arroz.
Arroz paddy	Es el grano de arroz que conserva su cascara que lo envuelve firmemente.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Biocombustible	Combustible obtenido mediante el tratamiento físico o químico de materia vegetal o residuos orgánicos.
Biomasa	Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.

Briqueta	Conglomerado de carbón u otra materia en forma de ladrillo o cilíndrica.
Briquetado	Operación de aglutinar minerales molido, en briquetas bajo presión, a menudo con ayuda de un aglutinante.
Caldera	Es un equipo capaz de producir calor al quemar un combustible en su interior, transmitiendo ese calor a un fluido que en la mayoría de los casos será agua.
Carbono	Elemento químico, abundante en la naturaleza, tanto en los seres vivos como en el mundo mineral y en la atmósfera.
Cascarilla de arroz	Residuo generado del proceso de pilado, durante la molienda del grano de arroz, en una planta de beneficio.
Celulosa	Polímero compuesto exclusivamente de moléculas de glucosa.
Cisco	Cascarilla del grano de café.
Combustión	Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

Densidad	Es una propiedad intensiva que describe el cociente de la masa del material y el volumen que éste ocupa.
Energía	Capacidad para realizar un trabajo.
Fauna nociva	Son aquellas especies animales capaces de ocasionar daños a la salud, como transmisores de enfermedades epidémicas o destruyendo bienes personales.
Fotosíntesis	Proceso metabólico específico de ciertas células de los organismos.
Humedad	Es la cantidad de agua contenida en un cuerpo o material.
Inorgánico	Sustancia que no tiene el carbono como componente.
Lignina	Sustancia orgánica de color marrón que actúa como agente de enlace entre las fibras de los vegetales.
Lixiviado	Fluido residual que, a partir de un proceso de percolación, se filtra de un vertedero.
Mitigación	Medidas tomadas para reducir los impactos adversos sobre el medio ambiente, después de la emisión de contaminantes.

Orgánico	Sustancia que tiene como componente el carbono y que forma parte de los seres vivos.
Panícula	Inflorescencia formada por un eje con ramas, de las que nacen flores o frutos.
Pilado	Es el proceso por el cual se quita la cáscara al cereal, ya sea trigo, cebada, arroz, entre otros.
Piladora	Máquina utilizada para el desgranado y pelado de arroz.
Poder calorífico	Cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa.
Poder calorífico inferior	Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.
Poder calorífico superior	Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

Presión	Es la fuerza aplicada por unidad de área.
Prófilo	Es la primera hoja delgada de una rama auxiliar.
Raquis	Racimo vacío de palma es un material lignocelulósico, producto de la separación física de los frutos.
Residuo	Material que se desecha después de haber realizado un trabajo o cumplido con su objetivo.

RESUMEN

El presente trabajo expone la caracterización de la cascarilla de arroz como biomasa residual, y su viabilidad ambiental y económica al elaborar briquetas a partir del residuo agroindustrial de arroz como alternativa para alimentar calderas de biomasa.

Para cumplir con los objetivos propuestos es necesario realizar ensayos para determinar la composición óptima de cascarilla de arroz con almidón de yuca que maximicé el uso de la biomasa y minimicé el uso de otros componentes como aglutinantes en el proceso de elaboración de las briquetas. Esta busca en los residuos sólidos obtenidos de procesos industriales de piladoras, un biocombustible de biomasa para brindar solución a problemas ambientales causantes del cambio climático, mejoras energéticas y de los costos de operación.

Por esta razón, el objetivo del proyecto será caracterizar la biomasa para transformarla en un biocombustible sólido, dichos residuos pueden ser caracterizarse en función de parámetros establecidos y mediante ensayos de briquetado y así determinar el porcentaje de humedad, poder calorífico superior e inferior, durabilidad mecánica, densidad entre otros.

La mezcla cascarilla de arroz y almidón de yuca al ser compactada podrá aumentar la densidad y evaluar adhesión de las partículas. Para seleccionar la composición óptima se evaluó la adhesión de la briqueta, seleccionando una briqueta elaborada con 70 % cascarilla de arroz y 30 % almidón de yuca.

Con la composición seleccionada se hará un análisis de laboratorio para determinar las propiedades, fisicoquímicas y mecánicas de la briqueta y así determinar la factibilidad de traducir a energía viable dentro de calderas de biomasa o quemadores a nivel industrial; generando menores costes energéticos y aplicando energía limpia amigable al ambiente, al disminuir el uso de combustibles fósiles como el carbón mineral.

Es necesario que en el proceso de transformación se estimen los costos de producción industrial, tomando en cuenta la inversión inicial, costo de materia prima, costo de mano de obra, energía eléctrica determinando que la briqueta obtenida es apta para ser utilizada como biocombustible sólido.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de arroz es una industria en crecimiento, debido a que es un alimento de alto consumo para los guatemaltecos. El no tener un plan integral y uso de tecnología apropiada para el manejo de los residuos sólidos que son generados durante el proceso de molienda de una planta de beneficio de arroz, y el no reciclar estos residuos para elaborar un biocombustible sólido, tiene efectos al medio ambiente, como la contaminación del aire, la contaminación de suelos y la tierra, la contaminación del agua y también el deterioro que sufre el ornato, que se ve afectado al no tener depósitos de tratamiento adecuado de estos residuos sólidos.

Con el estudio se aportará una metodología de recolección del residuo de una planta de beneficio de arroz, para darle una solución factible al manejo de los residuos sólidos que son generados durante el proceso de producción de arroz, al ser reciclados para la elaboración de un biocombustible sólido a través de una briqueta energética considerando las propiedades fisicoquímicas de las misma. La briqueta obtenida podrá ser utilizada como fuente energética para alimentar la caldera y sustituir en parte el carbón que se emplea actualmente, lo cual tendrá un impacto positivo al reducir estos costos. También se dará una solución viable al acopio de residuos sólidos que se generan en el sector agroindustrial, especialmente en una Planta de Beneficio de Arroz que durante el proceso de pilado.

El resultado esperado del estudio es la definición de la metodología que proponga una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos, al elaborar una briqueta como un biocombustible sólido, desde la recolección y

procesamiento con el uso de implementos y maquinaria artesanal, haciendo un ensayo de producción a nivel de laboratorio para determinar sus propiedades fisicoquímicas que permitan utilizarla para alimentar una caldera de biomasa, analizando la calidad y producción energética de la misma.

Para la realización de este estudio, será fundamental la recolección y preparación de la materia prima, donde se realizarán entrevistas para conocer la situación actual y la localización de los residuos. A continuación, se hará una toma de muestras de los residuos sólidos, haciendo una identificación de estos, para la preparación composición de la formulación de aglutinante y cascarilla para la elaboración de la briqueta. Se tendrá una maquina artesanal para hacer las briquetas utilizando fuerza muscular para su compactación. Al terminar el proceso de elaboración se harán los análisis fisicoquímicos a las briquetas para determinar sus características y producción energética.

Se presentará un análisis de costos del proceso y del producto, para evaluar la viabilidad de su aplicación industrial. La investigación y los ensayos de laboratorio se realizarán con recursos propios, los gastos ya han sido definidos considerándose factible la metodología antes mencionada.

En el capítulo 1, se presentarán los antecedentes más importantes para esta investigación; en el capítulo 2, se hará una revisión bibliográfica pertinente sobre el cultivo del arroz y su proceso industrial, así como la caracterización de los residuos sólidos generados durante la producción. La información recolectada será la base para la elaboración de una briqueta, determinando sus propiedades fisicoquímicas, para ser utilizada un biocombustible sólido; en el capítulo 3, se desarrollará el proceso de selección y recolección de materia prima; en el capítulo 4, se mostrará el diseño experimenta a realizar; en el

capítulo 5, se detallará los resultados obtenidos, los beneficios económicos y ambientales al elaborar briquetas con residuos sólidos generados.

En los capítulos 6 y 7 se presentarán los resultados más significativos de la investigación y la discusión de estos. Finalmente se darán las conclusiones de la investigación y las recomendaciones para la continuidad de esta.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala se han realizado estudios sobre el aprovechamiento de la generación residuos sólidos como biocombustible sólido a partir de la biomasa residual en la agroindustria. A continuación, se presentan algunos estudios que aportan datos importantes sobre el tema, en plantas industriales similares que se encuentran en el país.

En la tesis *Análisis técnico financiero en la implementación de briquetas de aserrín, cáscara de café y olote, para disminuir el consumo de leña en San Juan Sacatepéquez* Álvarez (2018), se realizó un proyecto para evaluar una alternativa a través de briquetas aprovechando los residuos generados por algunas actividades productivas en San Juan Sacatepéquez, tales como la industria maderera, cultivo de café y maíz. Con base en el estudio se determinó que la formulación para las briquetas sería la siguiente: aserrín un 60 %, la cantidad de cascarilla de café sería de un 25 %, mientras que para el olote y papel reciclado como aglutinante serían un 10 % y 5 % respectivamente. Los resultados que obtuvieron dieron que el encendido era inmediato para la prueba de combustión y la emisión de gases de efecto invernadero había sufrido una reducción del 75 % aproximadamente. La capacidad calorífica promedio es de 4 010 Kcal/Kg y una eficiencia del 98 % respecto a la leña tradicional. Alcanza una densidad de 509 Kg/m³ que es aceptable para una combustión eficiente. El aporte a la investigación será metodológico para determinar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía.

Valiente, (2017) en su tesis *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de el*

Progreso, Jutiapa, realizó una investigación sobre la elaboración de briquetas de biomasa sólida a base de cascarilla de arroz para el aprovechamiento de este residuo agroindustrial. La composición óptima para elaborar briquetas a base del residuo agroindustrial es de 70 % cascarilla de arroz y 30 % aglutinante de almidón de yuca. De los análisis realizados a las briquetas de composición óptima se obtuvo, 48,53 % humedad, 9,81 % cenizas, 14,11 MJ/kg el poder calorífico y el periodo de combustión de 69,90 minutos. El aporte a la investigación será práctico y metodológico porque se tomarán los resultados de las propiedades que tiene la cascarilla de arroz, y la técnica empleada en el proceso para la elaboración de briquetas.

En la tesis *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, residuos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes* Martínez (2015), se desarrolló una investigación para evaluar cómo influye la cal y almidón al usarlos como aglutinantes, sobre las propiedades físicas, químicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, vacasa, residuos sólidos y tetrabrik. Se utilizó una formulación de 34 % de biocombustible y 9 % de almidón, caso diferente con la cal, ya que con ella fueron 39 % de biocombustible y 4 % de cal. Obteniendo que el biocombustible con mejores propiedades fue la briqueta de tetrabrik y almidón con los siguientes valores: poder calorífico 26,011 J/kg, densidad 0,830 g/cm³, porcentaje de humedad del 17,3 y resistencia a la compresión de 23,175 kg/cm². El aporte a la investigación será práctico porque se tomará los porcentajes para la formulación del aglutinante ideal a base de almidón y utilizará la información de la forma y tamaño óptimo para la elaboración de briquetas, para desarrollo del diseño experimental.

En otros países de Latinoamérica se encontraron estudios relacionados al tema de investigación y se presentan a continuación.

En la tesis *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café) como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*, Laboratorios de Química UNAN-Managua Arias y Meneses (2016), se realizó un estudio para la generación de biocombustible a partir de los residuos sólidos de la cascarilla de arroz y de café. Los resultados que se obtuvieron para la cascarilla de arroz y café respectivamente fueron los: porcentajes de humedad del 6,59 y 8,60; % ceniza 18,52 y 3,67; % celulosa 36,03 y 36,70; % lignina 18,49 y 15,93 y % hemicelulosa 45,48 y 4,37. El aporte a la investigación será práctico porque se tomarán los resultados de la caracterización de la cascarilla de arroz.

En Perú, Costilla y Aguirre (2017) en la publicación *Propuesta de una Briqueta Ecológica utilizando cascarilla y polvillo de arroz*, hacen una propuesta para la fabricación de una briqueta ecológica utilizando cascarilla y polvillo de arroz, analizando sus propiedades físicas. Se hicieron en total 15 muestras de ensayo, cinco de ellas se elaboró con una proporción de 40 % de engrudo hecho de polvillo de arroz mezclado con 60 % de cascarilla de arroz; otras cinco con proporción de 50 % de engrudo hecho de polvillo de arroz mezclado con 50 % de cascarilla de arroz y otras cinco con proporción de 60 % de engrudo hecho de polvillo de arroz mezclado con 40 % de cascarilla de arroz. Todos se compactaron a una presión de 400 PSI (libras por pulgada cuadrada). Con base en los ensayos realizados se concluyó que la proporción óptima de cascarilla de arroz que es de 40 gramos, con engrudo de polvillo de arroz de 60 gramos, de esta manera la briqueta tendrá una masa uniforme que ayudará a la comprensión para tener una textura sólida. El aporte a la investigación será metodológico porque se utilizará la técnica empleada en el proceso para la elaboración de briquetas.

En Colombia, en la publicación *Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz* (Rodríguez, Campos, y Pérez, 2019), hicieron un trabajo de investigación sobre los materiales absorbentes a partir de la cascarilla de arroz, para determinar su caracterización al ser producidos a través de una activación química con ácido fosfórico. Al realizar el análisis respectivo según la norma ASTM D3172, se concluyó que el material obtenido a partir de la calcinación de cascarilla de arroz está conformado por 16,7 % de humedad, 19,9 % de materia volátil, 35,9 % y 27,5 % para las cenizas y carbono fijo respectivamente. Se concluye que el material es una mezcla de componentes que presenta una superficie un alto porcentaje de carbón fijo el cual brinda atractivas propiedades de absorción. El aporte a la investigación será práctico porque se tomarán los resultados de la caracterización de la cascarilla de arroz.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la producción de arroz integral y precocido, son generados residuos sólidos en los diferentes procesos que se llevan en la molienda. El no tener un plan integral y uso de tecnología apropiada para el manejo de estos, hace que estos residuos no sean reciclados y aprovechados de mejor manera en su totalidad. Con ello, se podría mitigar los efectos que tiene el manejo inapropiado de estos residuos al medio ambiente y comunidades aledañas.

En una Planta de Beneficio de Arroz durante los procesos de prelimpia, descascarado y pulido se obtiene los residuos sólidos. La cascarilla y el polvillo o pulimento. No se cuenta con una alternativa para que se pueda aprovechar la biomasa residual generada durante los procesos que se realizan en la molienda para que se utilice como biocombustible sólido.

Entre los efectos al medio ambiente se tienen la contaminación del aire, la contaminación de suelos y la tierra, la contaminación del agua y el deterioro del ornato, entre otros. De la contaminación del aire, se tienen efectos de olores fétidos que se producen debido a su descomposición que emite biogás. De la contaminación del suelo y la tierra se tiene el manejo inapropiado de estos residuos, que, al no ser tratados debidamente como un abono orgánico, sustrato para macetas o una fuente de energía renovable perjudican a ambos. De igual forma, existe la contaminación del agua por lixiviación de los sólidos que han sufrido un proceso de saneamiento. También se tiene el deterioro que sufre el ornato, que se ve afectado al no tener depósitos de tratamiento adecuado de estos residuos sólidos.

Otras consecuencias que se tiene es la proliferación de fauna nociva entre otros, que son focos de enfermedades que afecta directamente a los colaboradores al tener contacto con superficies contaminadas por orina y heces de estas plagas, provocando enfermedades gastrointestinales, enfermedades de la piel por hongos, enfermedades respiratorias, enfermedades de la vista por infecciones debido a las partículas en el ambiente y también mordeduras de animales e insectos,

En la agroindustria arrocera, se originan residuos sólidos que deben ser tratados debidamente, ya que los costos de prevención son menores a los de mitigación al ser tratados y controlados de manera apropiada. Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿cómo podrían alimentarse calderas de biomasa de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, con briquetas de residuos sólidos obtenidos?

Esta pregunta se complementa con las respuestas a varias preguntas auxiliares:

- ¿Qué cantidad de residuos sólidos son generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?
- ¿Cómo elaborar briquetas con biomasa residual de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?
- ¿Cuál será el poder calorífico y rendimiento de briquetas hechas de biomasa residual generada en el proceso de producción en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?

- ¿Cuáles serán los beneficios económicos de reciclar los residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de energías renovables en el área de gestión energética de la Maestría en Energía y Ambiente.

El presente estudio de investigación tendrá como objetivo principal dar una solución viable al acopio de residuos sólidos que se generan en el sector agroindustrial, especialmente en una Planta de Beneficio de Arroz que durante el proceso de pilado se genera una biomasa residual que será utilizada para elaborar briquetas, como un biocombustible sólido por su capacidad calorífica y otras propiedades fisicoquímicas pueden ser utiliza para alimentar una caldera.

El proyecto permitirá desarrollar un proceso para la elaboración de briquetas que es un biocombustible sólido renovable. Utilizando cómo materia prima para su fabricación la biomasa residual generada durante el proceso de molienda de una Planta de Beneficio de Arroz, las briquetas son consideradas un sustituto de la leña tradicional o carbón, por su poder calorífico, su menor humedad, un encendido rápido y baja obtención de cenizas.

El estudio beneficiará a la agroindustria arrocera, al disminuir sus costos por la dependencia de combustibles fósiles, al aprovechar la biomasa residual como una fuente de energía renovable a través de briquetas. Igualmente, el medio ambiente se beneficia mitigando la emisión de gases de efecto invernadero, y las comunidades cercanas al tener menos residuos en sus alrededores saldrán beneficiadas.

El trabajo es pertinente para la ingeniería porque otorga soluciones prácticas a una problemática que presentan las empresas, que es el exceso de residuos sólidos. Contribuyendo con ello a la disminución de las emisiones de CO₂ respecto a otros combustibles fósiles, se disminuye los contaminantes sulfurados y los nitrogenados causantes de la lluvia ácida y contribuye a combatir el cambio climático que es de interés mundial.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Formular un proyecto para alimentar calderas de biomasa con briquetas de residuos sólidos de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.

5.2. Específicos

- Calcular la cantidad y calidad de residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.
- Elaborar briquetas con biomasa residual de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.
- Calcular el poder calorífico y rendimiento de briquetas hechas de biomasa residual generada en el proceso de producción en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.
- Describir los beneficios económicos de reciclar los residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz integral producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La falta de una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos generados durante el proceso de molienda en una planta de beneficio de arroz provoca que haya efectos negativos al medio ambiente y a las comunidades cercanas, es por ello por lo que se propone desarrollar un proyecto para alimentación de calderas con briquetas, aprovechando la biomasa residual como un biocombustible sólido. Para esto se debe conocer las propiedades fisicoquímicas de los residuos generados, estos datos son importante, porque aporta la metodología y la caracterización que puede ser usada en empresas similares, incluso para otros proyectos relacionados.

La causa principal que durante el proceso de molienda en un beneficio de arroz se genera residuos sólidos que podrán ser utilizados como materia prima para la elaboración briquetas. Entre otras causas está la falta de un plan integral y la carencia de un depósito conveniente para el manejo de residuos sólidos, lo que permitirá utilizar tecnología apropiada para el reciclaje y aprovechamientos de la biomasa residual.

Se propondrá una alternativa para una gestión adecuada para el aprovechamiento de residuos sólidos, con ello se podrá reducir la proliferación de vectores y focos de enfermedades que afecta a los colaboradores de la empresa y a las comunidades que son cercanas a la planta. De esa manera se cuidan de los recursos naturales a través de mantener un saneamiento ambiental, evitando en un futuro invertir en proyectos de mitigación.

Los beneficiarios directos serán los colaboradores de las diferentes áreas de trabajo, las comunidades aledañas a la planta, y la empresa ya que estará cumpliendo con sus compromisos ambientales, respecto al manejo adecuado de residuos sólidos generados en el proceso de molienda de una Planta de Beneficio de Arroz, y de igual manera sustituir en parte el carbón que se emplea actualmente, lo cual tendrá un impacto positivo al reducir estos costos.

Este estudio está delimitado a una escala de nivel laboratorio, ya que lo que se persigue es medir entre sus propiedades fisicoquímicas, la capacidad calorífica de las briquetas para poder alimentar una caldera de biomasa.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. El cultivo del arroz

El arroz es una de las plantas más antiguas, por tal razón es difícil lograr establecer el período o la época en que inicio su propagación por el hombre, aunque la literatura China menciona 3 000 años antes de Cristo. El arroz, tuvo su origen al sur de la India y llegó a América a través de China, Mesopotamia, Grecia, Egipto, Marruecos y España. Este cultivo, se manifiesta como el renglón con mayor beneficio neto por manzana en el conjunto de los granos básicos, y también ofrece la frecuencia más alta en términos de valores positivos en la relación beneficio-costos (CENTA, 2018).

El arroz es una planta herbácea, de tallos redondos y huecos formado por nudos y entrenudos, sus hojas de chapa plana unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es una espiga. Se cultiva a nivel nacional a una altura entre 0 a 800 metros sobre el nivel del mar, y a una temperatura de 25-30 °C para su crecimiento óptimo. Se trata de un cereal que es considerado alimento básico en varias culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de Latinoamérica. Detrás del maíz, el arroz es el segundo cereal de mayor producción a nivel mundial (Arias y Meneses, 2016).

La producción nacional de arroz no cubre la demanda del mercado, mientras que la industria arrocera si tiene la capacidad de molienda requerida. En este sentido la industria del arroz en Guatemala absorbe la totalidad de la cosecha nacional de arroz y realiza importaciones de arroz en granza, normalmente procedente de los Estados Unidos. Las principales zonas

productoras de arroz en el país son San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Jutiapa, Santa Rosa, Chiquimula, Quiché, Alta Verapaz, Izabal y Petén (Roldan, 2016).

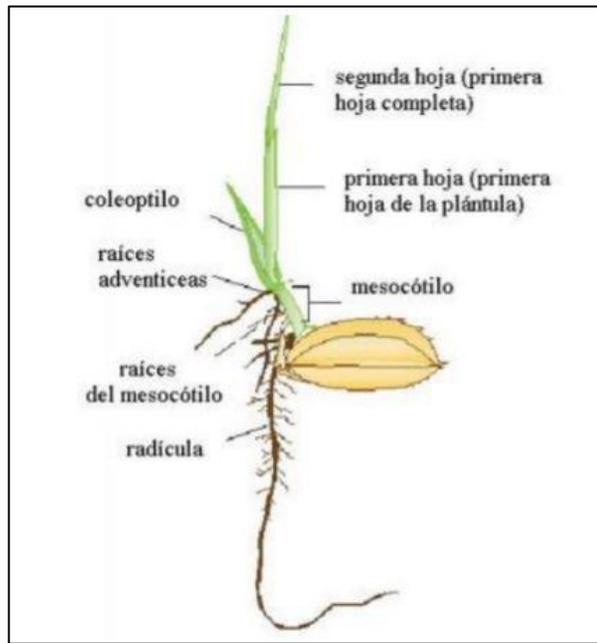
7.1.1. Aspectos botánicos

El conocimiento morfológico de la planta de arroz (*Oryza sativa L.*) es importante en la investigación, es por ello por lo que a continuación se describe la fisiología de los órganos de la planta.

7.1.1.1. La planta de arroz

Está formada de una raíz seminal y raíces secundarias que forman un fascículo no muy profundo, de cada uno de sus nudos nace una hoja y una yema con la capacidad de engendrar un nuevo tallo. Los tallos son huecos y más o menos redondos, formados por nudos y entrenudos que varían en número y tamaño según el cultivo de arroz que es una gramínea que se produce anualmente. Sus hojas tienen la forma de lámina plana, están unidas al tallo por la vaina y su inflorescencia es en panícula, se da en los climas templados y subtropicales, luego de la cosecha que se realiza puede sobrevivir como perenne al rebrotar. La altura de las plantas varía y esta depende de cada variedad y condición de su crecimiento, el rango es entre 0,4m a 1m. En la figura 1 se muestra las partes de una planta de arroz (Aguilar y Tulcán, 2018).

Figura 1. Partes de la planta de arroz



Fuente: Aguilar y Tulcán (2018). *Estudio del potencial energético de la cascara de arroz ecuatoriano peltizado para su uso como combustible*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20ca scara%20arroz%20ecuatoriano.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20ca%20scara%20arroz%20ecuatoriano.pdf).

- Raíz

La planta de arroz durante su desarrollo tiene una raíz seminales o temporales y otras raíces adventicias o permanentes (CENTA, 2018).

- Tallo

Al tallo lo conforman la variación de nudos y entrenudos. El entrenudo maduro tiene una superficie glabra es finamente estriado y vacío. Su brillo y color dependen la variedad, la longitud del entrenudo varía, siendo mayor en los

entrenudos de la parte superior del tallo, en la base los entrenudos se van engrosando y forman una parte firme y sólida del tallo (CENTA, 2018).

- Hojas

Estas son de formas laminadas de cara plana, y lo largo del tallo; se le denomina prófalo a la primera hoja que aparece en la base del tallo principal, el cual está formado por dos brácteas aquilladas, que son sujetadas por los bordes en cada nudo y por el reverso del prófalo. Por debajo de la panícula se desarrolla la hoja superior que se le conoce como la hoja bandera (CENTA, 2018).

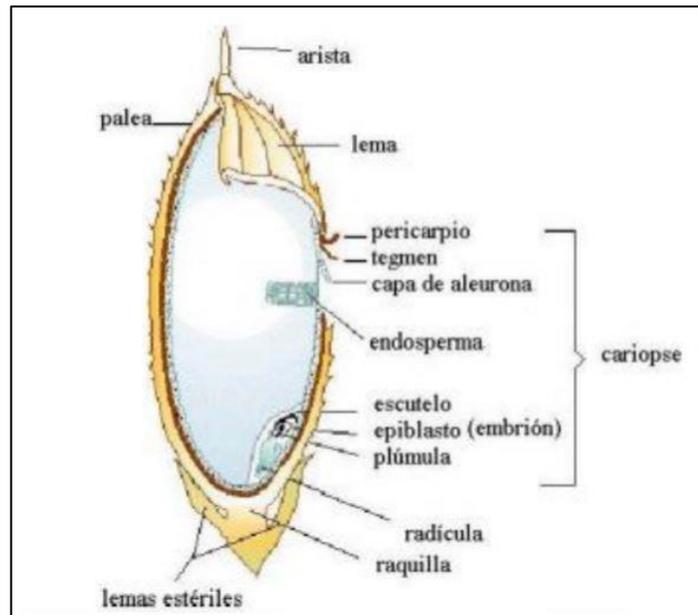
- Panícula

En la planta de arroz, sus flores se encuentran agrupadas en una inflorescencia compuesta denominada panícula; la cual está situada por encima del nudo ciliar o base de la panícula (CENTA, 2018).

7.1.1.2. Grano de arroz o semilla

Al grano de arroz, comúnmente se le llama semilla, recién cosechado está formado por el fruto llamado cariopse y por la cáscara que se compone por las glumelas (palea y lema). Industrialmente se considera al arroz en granza al conjunto de cariopse y glumelas (figura 2). Durante la molienda para producir arroz blanco o integral, el arroz en granza tiene un 20 % de cascara y 10 % es afrecho estos elementos son eliminados en los procesos de descascarados y pulido respectivamente, y el 70 % lo constituye el arroz blanco los cuales son granos enteros o quebrados (Aguilar y Tulcán, 2018).

Figura 2. Estructura del grano de arroz



Fuente: Aguilar y Tulcán (2018). *Estudio del potencial energético de la cascara de arroz ecuatoriano peltizado para su uso como combustible*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20ca scara%20arroz%20ecuatoriano.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20ca%20scara%20arroz%20ecuatoriano.pdf).

7.1.2. Cosecha

Cuando los granos de la parte superior de la panícula se muestran claros y firmes se inicia la recolección, y los granos de la base están en la etapa de endurecimiento, y la panícula se muestra inclinada, la humedad del grano es otro indicador que se debe considerar. El corte de la planta se realiza con cosechadoras mecánicas o de forma manual, después de la trilla el grano es depositado en un receptáculo. Conforme se va cosechando el arroz, el mismo es transportado en camiones a las industrias molineras (Periódico Los Molinos, 2020).

7.1.3. Proceso en planta de beneficio

Una vez que el arroz se encuentra listo para que se utilizado en proceso de molienda, de los silos de almacenamiento es trasladado para su proceso respectivo, inicialmente se inicia con la operación “pilado” para obtener un arroz blanco, listo para su venta. El rendimiento de la piladora está en función del arroz blanco que se obtenga durante del proceso (Reaño, 2015).

7.1.4. Recepción

El proceso productivo de arroz inicia con la recepción materia prima, arroz Paddy es decir, el arroz con cáscara o granza. Este producto pasa por un proceso de verificación para garantizar la calidad del mismo. Se recibe materia prima nacional e importada. La granza importada ingresa limpia seca y fumigada por lo que únicamente se almacena hasta que pasa al proceso de pilado (Lizama, 2013).

La recepción de granza nacional se realiza durante la época de cosecha en el país, de septiembre a noviembre. Los camiones, proveniente de los campos de cultivo llegan a las industrias arroceras, para su descarga, se toman muestras para ver sus propiedades de humedad e impurezas. Luego es llevado al área de secado para que el arroz cáscara presente la humedad adecuada y luego almacenada en lo silos (Reaño, 2015).

7.1.4.1. Secado arroz en granza

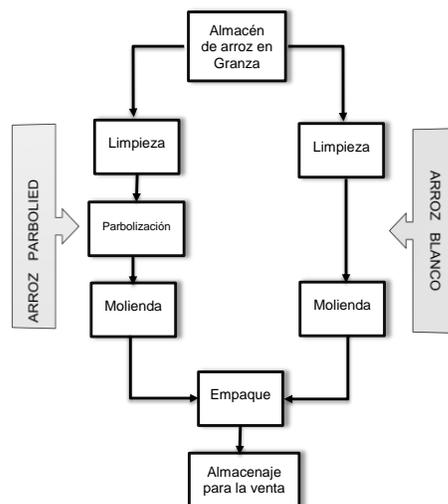
Este proceso es importante para evitar la fermentación del grano de arroz, debido a que cuando llega de las plantaciones, el grado de humedad varía entre el 18 hasta un 30 %, por lo que se hace imperativo bajar esos grados de

humedad a través del secado. El arroz se traslada hacia las plantas de beneficio a granel, luego se descarga en los depósitos, luego se pasa por las secadoras con la mira de ir bajando la humedad hasta obtener la humedad óptima para su almacenamiento. Existen las secadoras de tinajas, en este tipo de secadoras el arroz se mantiene fijo y el proceso es de inyectar aire y calor para lograr bajar la humedad del grano. Mientras que las secadoras de columna el arroz se mantiene en movimiento pasando por baffles, en donde se le inyecta aire caliente a su paso hasta alcanzar la humedad deseada (Periódico Los Molinos, 2020).

7.1.4.2. Almacenado en granza

Luego de un proceso de secado, para obtener la humedad deseada, el arroz en granza se almacena en silos. Posteriormente se lleva al proceso de manufactura o molienda, dentro de la planta de producción para obtener como producto final un arroz blanco, listo para su comercializado.

Figura 3. Proceso productivo del arroz



Fuente: elaboración propia.

7.1.4.3. Parbolización

Este proceso consiste en cocinar el arroz en granza, el propósito del proceso es producir modificaciones organolépticas, físicas y químicas al cereal, causando características con ciertas mejorías nutricionales. Las fases del proceso de precocción son, maceración, gelatinización y secado del producto (Lizama, 2013).

- Maceración (encharcamiento)

El arroz en granza es vertido en un tanque de remojo es el recipiente donde se realiza el mash o maceración, ahí se deja reposar durante 5 horas aproximadamente en agua caliente entre 70 °C y 85 °C. Este proceso permite que los minerales y vitaminas que se encuentran en la película y en el germen, penetren en el grano a medida que absorbe el agua. El objetivo de la maceración es aumentar la humedad del grano hasta 30-33 %, humedad necesaria para la posterior gelatinización del grano (Lizama, 2013).

- Gelatinización

En esta etapa del proceso se llega a la temperatura a la cual el granulo de almidón comienza a absorber agua y a aumentar de tamaño, perdiendo su estado cristalino y tornándose gelatinoso. El grano se torna más compacto y las vitaminas y minerales son fijados en su interior. La humedad ideal del arroz que ingresa para realizar este proceso es entre 30 % y 33 %.

- Secado

Primero el producto precocado se somete a un proceso de pre secado, utilizando un secador de lecho fluidizado. Se realiza esta operación para reducir

el contenido de humedad del grano a un nivel próximo del adecuado, en el menor tiempo posible. Luego pasa a secadores intermitentes verticales, el producto es recirculado dentro de la cámara de los secadores por medio de elevadores de cangilones. La humedad a la que debe llegar el grano es de 11-13 % (Lizama, 2013).

7.1.4.4. Proceso de molienda

Es el proceso por medio del cual el grano de arroz en granza se inicia con el pre limpia, luego pasa a la actividad de pilado, posteriormente sigue el pulido, seguidamente clasifica y selecciona para obtener el arroz elaborado que será empacado y almacenado listo para ser comercializado.

7.1.4.4.1. Prelimpieza

El arroz en granza, luego de la fase etapa de secado, pasa a través de zaranda vibratoria de manera continua, de esa manera el grano que llega al proceso de “pillado” va limpio libre de impurezas y contaminantes. Las impurezas que se encontraron se retiran a través de un juego de dos mallas donde inicialmente en la primera se separan las impurezas mayores y en la segunda el arroz queda retenido, listo para la siguiente fase (Reaño, 2015).

7.1.4.4.2. Descascarillado

El arroz con cascara (*Paddy*) es descascarado mediando dos rodillos de goma que giran en forma contraria, obteniéndose arroz descascarado y la cascarilla de arroz, posteriormente a una mesa seleccionadora que separa el arroz con cascara y el arroz sin cascara a través de movimientos vibratorios. Este es un circuito cerrado que se encarga de retornar el arroz *Paddy* para que

vuelva a pasar por la operación de descascarado. El arroz integral o sea sin cáscara pasa a la siguiente etapa que es el pulido (Reaño, 2015).

7.1.4.4.3. Pulido de arroz

En esta operación de pulido se remueve del grano la capa superficial, por lo que se realiza en dos etapas: el pulido con agua: el producto pasa por una pulidora vertical donde con agua a presión se inicia la eliminación de pulimento. El agua debe cumplir parámetros microbiológicos y fisicoquímicos para evitar contaminación del producto, por lo que es un punto crítico de control. A continuación, para eliminar totalmente el pulimento del grano, está el pulido secundario donde el producto se pasa por dos pulidoras continuas. En esta operación se encuentran dos puntos críticos de control (Lizama, 2013).

7.1.4.4.4. Clasificación y selección

Previo a ingresar el arroz pulido a la zaranda de clasificación, a través de un aspirador se elimina las impurezas finas que pudieran venir de las pulidoras. Posteriormente en la zaranda la que tiene como función separar el arroz blanco de mayor tamaño del arrocillo $\frac{1}{2}$ y por último el arroz entero y arroz $\frac{3}{4}$ pasan a una selección electrónica para separar granos con ciertos defectos. Los granos de arroz que son seleccionados pasan a la fase de empaque o envasado. Todo el rechazado se envasan en sacos de 50 kg para su venta (Reaño, 2015).

7.1.4.4.5. Empaque y almacenaje

El empaque es una operación que se realiza de manera manual, el colaborador va llenando y pesando sacos 50 kg de arroz posteriormente se cose, y luego se traslada a la bodega de producto termina. El arroz puede

permanecer un periodo de 2 a 3 meses en condiciones óptimas de inocuidad (Reaño, 2015).

7.2. Caracterización de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz, subproducto que se obtiene del proceso de la molienda del arroz, es un material de origen vegetal compuesto esencialmente por celulosa y óxido de silicio; que son dos elementos importantes en la elaboración de combustibles. La utilización de la cascarilla de arroz en la producción de biocombustibles es de vital importancia en la conservación de los recursos naturales, y representa un avance significativo en el desarrollo de nuevas tecnologías limpias y económicas; cabe mencionar que el arroz es uno de los elementos más importantes de las canastas familiares alrededor del mundo (Ríos, 2019).

La corteza dura que cubre al grano de arroz se llama cascarilla y aproximadamente tiene un 25 % de la porción que forma el arroz. Se le considera residuo por no ser comestible ya que su propiedad puede causar daños en el tracto digestivo. Las características que posee la cascara son: quebradizas, el color particular varía entre el pardo rojizo al púrpura oscuro. La densidad que posee es baja por eso al reunirlos ocupa gran parte del espacio. El peso específico es de 125 kg/m³, y un 10 % de humedad aproximadamente dependiendo de las zonas de cultivo (Aguilar y Tulcán, 2018).

Figura 4. **Cascarilla de arroz**



Fuente: Aguilar y Tulcán (2018). *Estudio del potencial energético de la cascara de arroz ecuatoriano peltizado para su uso como combustible*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20ca%20scara%20arroz%20ecuatoriano.pdf>.

7.2.1. Uso de la cascarilla de arroz

Según las variedades, el porcentaje de cascarilla extraída en la operación de descascarillado puede variar del 15 al 20 %. Puede tener varias aplicaciones de uso, para las cuales se considera como prioritario el aspecto económico que el técnico (Arias y Meneses, 2016).

Existen métodos para compactar biomasa residual de la agroindustria entre los que se hallan la peletización y diseño de briquetas, cuyo objetivo es reciclar estos residuos para la producción de energía calórica o térmica empleada como fuente natural y sustentable, al compactar cierta cantidad de residuos sólidos se obtiene un producto como pellet o briquetas, en la tabla I se presentan las propiedades minerales de la cascarilla de arroz (Aguilar y Tulcán, 2018).

Tabla I. **Propiedades minerales de la cascarilla de arroz**

Propiedad	Porcentaje %
Cenizas	18,59
Sílice (SiO ₂)	94,50
Oxido de Calcio (CaO)	0,25
Oxido de Magnesio (MgO)	0,23
Oxido de Potasio (K ₂ O)	1,10
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	0,78
Sulfatos (SO ₃)	1,13

Fuente: elaboración propia.

7.2.1.1. Como biocombustible

Según la variedad de arroz su composición varia, esta contiene del 17 al 20 % de cenizas de cascarilla seca; su poder calorífico oscila de 3,3 a 3,6 calorías/Kg. En las instalaciones de la industria arrocera, la cascarilla puede ser utilizada como biocombustible en las máquinas de vapor fijas o semifijas, destinadas a la mecanización. La carencia de elementos perjudiciales (el azufre en este caso) favorece la utilización de la cascarilla en las calderas, porque no provoca corrosión ni formación de adherencias o irritaciones. Algunas dificultades que hay que superar es el alto contenido de cenizas (Arias y Meneses, 2016).

En la tabla II se muestran el parámetro del poder calorífico que se obtuvo a través de un análisis realizado a diferentes tipos de biocombustibles, cada combustible tiene un poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior, este se basa en la cantidad de calor que entrega un kilogramo o metro cúbico de combustible al oxidarse en forma completa (Aguilar y Tulcán, 2018).

Tabla II. **Características de briquetas comparando a otra fuente de combustibles**

Combustible	PCI		Humedad %
	KJ/Kg	KWh/Kg	
Astillas	10 000 – 16 000	2,8 – 4,4	< 40
Briquetas	17 000 – 19 000	4,7 – 5,3	< 20
Cascara fruto seco	16 000 – 19,000	4,4 – 5,3	8 - 15
Hueso de aceituna	18 000 – 19 000	5,0 – 5,3	7 - 12
Leña	14 400 – 16 200	4,0 – 4,5	< 20
Pellets	17 000 – 19 000	4,7 – 5,3	< 15

Fuente: elaboración propia.

7.2.1.2. Como abono orgánico

El aprovechamiento de la cascarilla de arroz puede ser aprovechado como materia prima, para preparar abonos compuestos o artificiales o bien como sustrato para macetas, por ser rica en celulosa y lignina, facilita la fabricación de estos. No debe permanecer completamente seca, ya que el polvillo que produce es nocivo por lo que conviene evitarlo. Sin embargo, para eliminar los elementos de propagación de algunas enfermedades criptogámicas o bacterianas que pudiera contener, es indispensable su completa fermentación (Arias y Meneses, 2016).

7.2.2. Composición de la cascarilla de arroz

Las composiciones fisicoquímicas de la cascarilla de arroz son aspectos que hay que conocer, como el contenido de humedad, y la capacidad calorífica de la cascarilla, entre otras. Considerando estas propiedades de la cascarilla de arroz la construcción y el funcionamiento de hornos será más eficiente para la quema e incineración de este residuo agrícola; las propiedades físicas y químicas de la cascarilla podrán variar de acuerdo con su variedad y la zona de cultivo (Ríos, 2019).

La tabla III y IV presentan algunos parámetros de la caracterización y evaluación de cuatro variedades diferentes de cascarilla de arroz que se cultiva en Canadá. Que debido alto contenido de sílice que tiene, el cual es aproximadamente de 20 % hace que su uso sea limitado para alimento en harinas para animales. La celulosa es uno de los elementos que contribuye a la combustión de cascarilla de arroz, siendo este el componente principal de las fibras de este subproducto agrícola (Ríos, 2019).

Tabla III. **Características químicas de cuatro variedades de cascarilla de arroz en Canadá**

Parámetro	Muestras de Canadá			
	V.1	V.2	V.3	V.4
Celulosa	29,20	33,47	25,89	33,50
Hemicelulosa	20,10	21,03	18,10	21,35
Lignina	20,00	18,80	24,60	18,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Poder calorífico inferior y composición elemental, de cuatro variedades de cascarilla de arroz en Canadá**

Canadá	Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre	Ceniza	Poder Calorífico KJ/Kg
V.1	37,60	5,42	36,56	0,38	0,03	20,00	14,22
V.2	24,10	4,98	33,66	0,40	0,02	18,80	13,24
V.3	38,70	4,70	31,37	0,50	0,01	24,60	13,40
V.4	42,60	5,10	33,44	0,51	0,02	18,20	14,12

Fuente: elaboración propia.

7.3. La biomasa en procesos para generación de energía

El uso conveniente de la biomasa ofrece una alternativa para reducir los costos de operación por concepto de insumos energéticos, con ello disminuye la dependencia en el consumo de combustibles fósiles, contribuyendo con ello a la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero.

La biomasa es la una fuente de energía renovable que puede ser transformada en combustibles gaseosos, sólidos o líquidos, mediante procesos de conversión biológicos, fisicoquímicos y térmicos. Cuando se aplican los procesos de conversión se adquieren productos con densidades altas y un valor energético mayor, transformando la biomasa en recursos energéticos secundarios aprovechables en forma de biocombustibles; a partir de los cuales se puede producir energía en forma de calor, electricidad o fuerza motriz (Ríos, 2019).

7.3.1. Definición

Toda materia orgánica que proviene de la biosfera, o la proveniente de la agroindustria, ganadería, industria de alimentos, residuos urbanos entre otros, y que pueden ser convertidos en energía se le conoce como biomasa. La biomasa es considerada como una fuente de energía renovable, es materia orgánica susceptible de ser utilizada como fuente de energía, porque la misma proviene del sol. Al quemarse estos carbohidratos, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contienen (Álvarez, 2018).

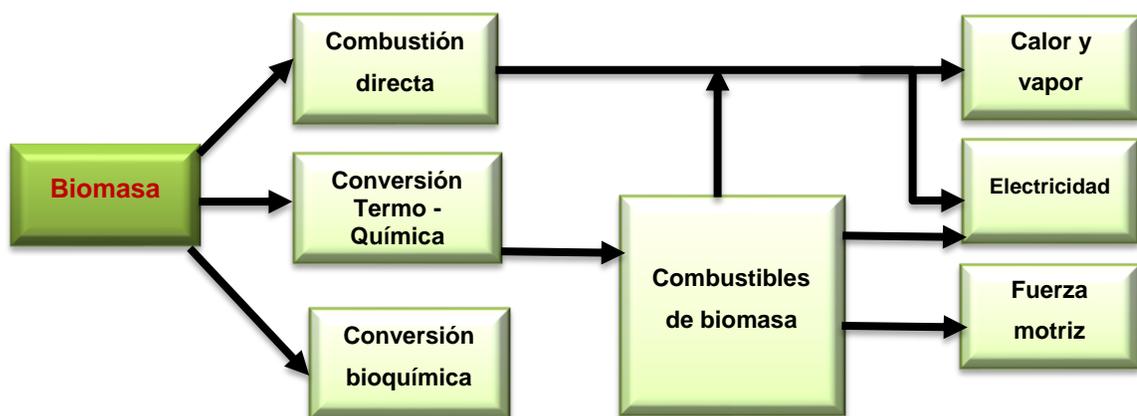
7.3.2. La biomasa como fuente de energía

La biomasa como fuente de energía no provoca un aumento del efecto invernadero, el CO₂ liberado al momento de la combustión ya formaba parte de

la atmósfera y fue absorbido por las plantas durante su crecimiento, por eso se considera como energía renovable, al contrario de los combustibles fósiles que el CO₂ ha estado encapsulado por millones de años y al liberarse provocan impacto al cambio climático (Valiente, 2017).

La utilización de biomasa con fines energéticos posee numerosas ventajas, entre las que destacan; disminución de las emisiones de CO₂ respecto a otros combustibles fósiles, y contaminantes sulfurados o nitrogenados (causantes de la lluvia acida), una gran problemática que presentan todas las empresas es el exceso de residuos, gracias al reciclaje de la biomasa se disminuyen los residuos agroindustriales esto contribuye a la diversificación energética del país, los cultivos energéticos no atentan contra la seguridad alimentaria presentando nuevas oportunidades para el sector agrícola, en la siguiente figura se ilustra el proceso de conversión y formas de energía (Quintero y Torrez, 2019).

Figura 5. **Proceso de conversión y formas de energía**



Fuente: elaboración propia.

7.3.3. Tipos de biomasa

Se cataloga a la biomasa con base en su procedencia u origen, y por el uso final que se le pueda darse, tomando en cuenta que la biomasa primaria es aquella que se obtiene directamente de un ecosistema natural para su utilización energética y la biomasa secundaria, también llamada residual, es aquella que se obtiene como residuo o subproducto de alguna actividad productiva (Gaona, 2014).

7.3.3.1. Biomasa natural

Es la que se genera sin intervención del ser humano, es decir que son los propios ecosistemas naturales la que la generan, son ejemplo de este tipo de biomasa los residuos de los árboles como la leña y ramas. La explotación desmedida de este recurso es un problema porque no se preserva la protección del medio ambiente, por lo que dejaría de ser un tipo de combustible renovable y ecológico (Combustibles Aragón, 2016).

7.3.3.2. Biomasa residual

Es toda aquella que se genera por algunos procesos agroindustriales que son realizados por la actividad del ser humano, como el de caña de azúcar, arroz, café y palma africana, a partir del uso energético de residuos agroindustriales, también se resalta que el potencial para aprovechamiento energético de las biomásas para alimentar de manera directa calderas como un combustible sostenible, y así generar el vapor necesario que satisfaga los requerimientos energéticas que son necesarios para llevar a cabo los diferentes procesos. Es por ello que la biomasa residual combinada con tecnologías

modernas permite tanto la producción de electricidad como la producción de calor con aplicaciones en el hogar, la industria y el comercio (Quintero, 2017).

7.3.3.3. Excedentes agrícolas

Se le conoce como excedente agrícola a todo lo que no es utilizado en la alimentación humana por alguna razón pueden ser utilizados como biomasa con fines energéticos, ya sea como combustible o transformado como biocombustible para la generación eléctrica (García, 2012).

7.3.3.4. Cultivos energéticos

Son cultivos destinados a la generación de energía, entre los que se encuentran algunos cultivos tradicionales como la caña de azúcar o algunos cereales, así como otros cultivos que son menos comunes. Se deben elegir plantas y árboles de fácil crecimiento y con un mantenimiento relativamente bajo, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo (Gaona, 2014).

7.3.4. Contenido energético de la biomasa

Esta propiedad es fundamental para determinar el tipo de biomasa que puede utilizarse como combustible. El proceso de la combustión es una reacción química relativamente rápida de los componentes de la biomasa a alta temperatura mediante la cual se combina con el oxígeno del aire, es suficiente para producir la oxidación de los elementos de los residuos sólidos, para obtener energía en forma de calor y dióxido de carbono, agua y cenizas como productos de la reacción. La oxidación de la materia que contenga carbono e hidrógeno, para generar metano y agua, y se lleva a cabo mediante una

reacción de oxidación exotérmica. El poder calórico inferior (PCI) es la variable que permite cuantificar la energía liberada en los procesos de combustión de la materia, en la tabla V se muestra el potencial energético de ciertas biomásas (Quintero, 2017).

Tabla V. **Rendimientos energéticos de algunas biomásas residuales**

Biomasa / Cultivo	Cantidad de producción (t)	Tipo de residuo	Masa de residuo (t)	Potencial energético total (TJ)
Arroz	1	Cascarilla	0,200	0,0028
Café	1	Pulpa	2,131	0,0247
		Cisco	0,205	
		Tallos	3,024	
Caña panelera	1	Bagazo	2,530	0,0084
Maíz	1	Rastrojo	0,934	0,0119
		Tusa	0,270	
		Cuesco	0,217	
Palma de aceite	1	Fibra	0,627	0,0303
		Raquis	1,060	
		Leña combustible	1	

Fuente: Quintero (2017). *Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar*. Consulta: 22 de junio de 2020. Recuperado de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3286>

7.3.5. Caracterización de la biomasa

Esta caracterización permite obtener una previsión del comportamiento de la biomasa ante las diferentes etapas involucradas en su uso como fuente de energía: obtención, transporte, tratamiento y conversión en energía. También sus propiedades fisicoquímicas y energéticas deben ser objeto para su análisis se muestran en la tabla VI (Gaona, 2014).

Tabla VI. **Parámetros físicos, químicos y energéticos de la biomasa**

Propiedades	Parámetros	Descripción
Físicas	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad real y aparente • Humedad • Distribución granulométrica 	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pretratamiento.
Químicas	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis elemental • Análisis inmediato • Componentes estructurales • Composición de cenizas 	Determinan el desempeño de la biomasa durante los procesos de transformación química y termoquímica.
Energéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Poder calorífico 	Determina la cantidad de energía aprovechable

Fuente: elaboración propia.

- **Propiedades físicas:** esta característica nos permite establecer el tipo de combustible energético que se puede generar la biomasa. Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar y dentro de estas tenemos algunas que son propiedades relacionadas al formato como la biomasa se presenta (Gaona, 2014).
- **Propiedades químicas:** las propiedades químicas pueden referirse a los elementos que constituyen a la biomasa (C, H, O, N, S). El contenido de cenizas, elementos inorgánicos y su comportamiento son de vital importancia en la caracterización de los combustibles sólidos. Por otra parte, el análisis más sencillo de la biomasa como combustible consiste en determinar carbón fijo, volátiles y cenizas (Gaona, 2014).

7.4. Briqueta ecológica

Es un producto ecológico y renovable, está catalogado como biocombustible sólido, generalmente tienen forma cilíndrica o de bloques

rectangulares (ver figura 6), por su capacidad calorífica y su alta densidad, el mismo puede ser utilizado y comercializado como un sustituto de la leña tradicional y el carbón. La materia prima utilizada proviene comúnmente de residuos de industriales forestales, agroindustriales, ganaderos, naturales, ecosistemas, entre otros (Martínez, 2015).

Figura 6. **Formas físicas de briquetas**



Fuente: Martínez (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, residuos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de <http://www.Repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>

7.4.1. Descripción

La briqueta es un biocombustible sólido producido a partir de biomasa residual de origen lignocelulósico u otros materiales los cuales son compactados. Se fabrican por compactación, la cual puede ser de manera artesanal hasta industrial donde la presión de compactación es grande y a temperatura elevada que produce una autoaglomeración y no es necesario el uso de un aglutinante. Mientras que de forma artesanal la presión es media y por lo mismo necesita de un aglomerante para tener una buena compactación.

Su uso puede ser doméstico o en la industria para la generación de calor y energía (Martínez, 2015).

7.4.2. Composición

Se debe considerar la mezcla óptima de los residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica, cuya caracterización permita evaluar el poder calorífico, un rápido encendido y reducida emisión de cenizas. La materia prima apropiada debe tener las condiciones adecuadas determinadas dentro de los parámetros de humedad, granulometría, aglutinante, presión y temperatura (Martínez, 2015).

Las briquetas son 100 % naturales y ecológicas, ya que están hechas de residuos de madera y aserrín; orujo de girasol, cascarilla de arroz, alforfón y otros cereales; maíz y mazorcas de maíz; la corvina, ramas, arbustos, hojas; paja, cañas; cáscaras de nuez, huesos de aceituna; lignina, turba y otros tipos de biomasa. Para fabricar briquetas los residuos sólidos deben ser triturados a una granulometría apropiada, para luego poder ser compactados obteniendo un bajo porcentaje de humedad, por lo regular tienen una forma cilíndrica o rectangular. Posee mayor poder calorífico superior a la leña tradicional, además enciende más rápido y no desprende humos, ni olores (Tienda biomasa, s.f.).

7.4.3. Tipos de procesos para fabricación de briquetas

A continuación, se describen los tipos de procesos que existen para la fabricación de briquetas de biomasa residual, para uso doméstico, comercial e industrial.

7.4.3.1. Fabricación artesanal

En este tipo de proceso no intervienen equipos sofisticados (ver Figura 7), ya que no se necesita producir gran cantidad, es por ello que son utilizados medios caseros, para preparar la mezcla y el prensado de briquetas con fuerza muscular. Es un proceso sencillo que persigue la elaboración de briquetas de manera práctica y sencilla con recursos mínimos y que estén al alcance y no generen costos de inversión, la materia prima es la que se encuentra en el entorno (Martínez, 2015).

Figura 7. Máquinas de tipo artesanal para hacer briquetas



Fuente: Martínez (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, residuos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>

7.4.3.2. Fabricación semiindustrial

Existe un proceso de fabricación, el cual tiende a ser continuo, con medianas producciones de briquetas, para poder desarrollar una microempresa y comercializar a pequeña escala dentro de la comunidad. Se requiere de una

pequeña inversión para la compra del equipo básico necesario (mezcladora, prensa, molino, entre otros). La presión de compactación es un elemento importan, debido a que la presión ejercida por la máquina de briquetadora permite que la materia prima logre alcanzar un grado de auto aglomeración, por lo que el uso de un aglutinante para la mezcla es mínimo o nulo. La humedad de la materia prima la cual debe estar entre el 15 al 20 % deber ser considera en el proceso. En la figura 8 se muestran unos tipos de máquinas briquetadoras semiindustriales (Martínez, 2015).

Figura 8. **Máquinas tipo semiindustrial para fabricar briquetas**



Briquetadora de biomasa

Briquetadora de madera

Fuente: Alibaba (s.f). *Fabricante, Empresa de Trading. Henan, China*. Consulta: 22 de junio de 2020. Recuperado de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/briquette-machine-wood-sawdust-charcoal-briquette-machine-60717189835.html>

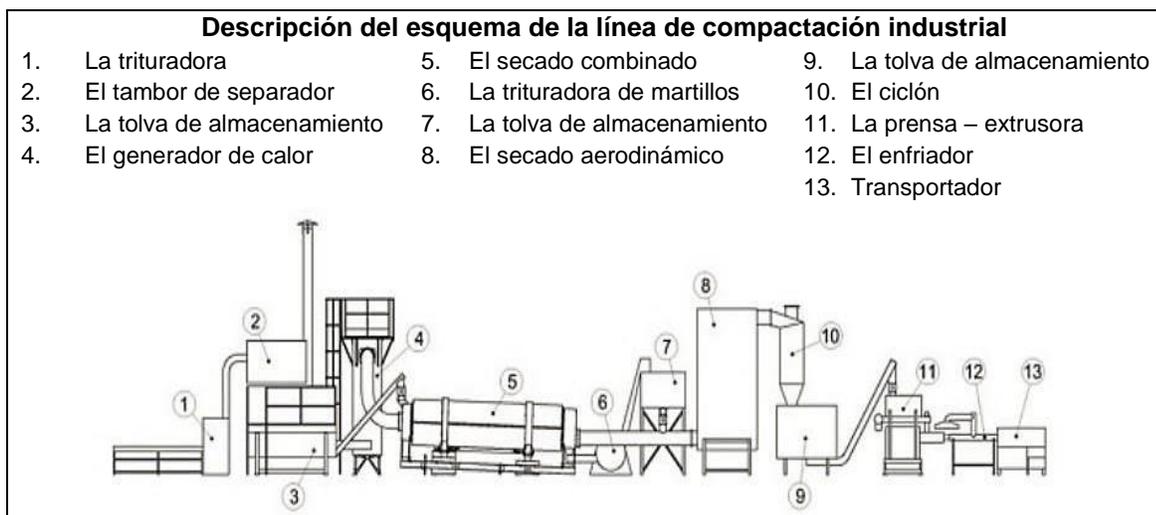
7.4.3.3. **Fabricación industrial**

En el mercado se encuentran máquinas con grandes niveles de producción continua y con altas presiones de compactación que alcanzan los 100 MPa. Además, no es necesario utilizar aglutinante, pero si es necesario que

la materia prima se encuentre lo más seca factible, con una humedad entre el 5 y 15 %. Por la presión ejercida en la compactación y el aumento de la temperatura la materia prima de la mezcla se auto aglomera, debido a que es material lignocelulósico que suministra lignina propia como aglutinante (Martínez, 2015). En la figura 9 se muestra un diseño de una planta industrial para fabricar briquetas.

En la fabricación industrial se tienen varias etapas en el proceso de producción, algunos equipos esenciales como las secadoras, tamizadoras, filtros, trituradoras, recolectores de polvo entre otros, permiten obtener briquetas de buena calidad con excelentes propiedades fisicoquímicas y mecánicas, pues todo ello ayuda a la auto aglomeración, más las presiones elevadas de compactación (Martínez, 2015).

Figura 9. **Diseño de planta, para fabricación industrial de briquetas**



Fuente: Martínez (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, residuos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. Consulta: 15 de junio de 2020. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>

7.4.4. Biocombustibles sólidos

Una de las principales características de un biocombustible sólido es su poder calorífico, tanto superior como inferior. El poder calorífico superior (PCS) se define como la energía liberada cuando una sustancia de biocombustible se quema con Oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones normalizadas. El PCS que se obtiene a través de un análisis en laboratorios, permite establecer la energía contenida en la biomasa que se consumirá en evaporar el agua producida en la combustión (Quintero y Torrez, 2019).

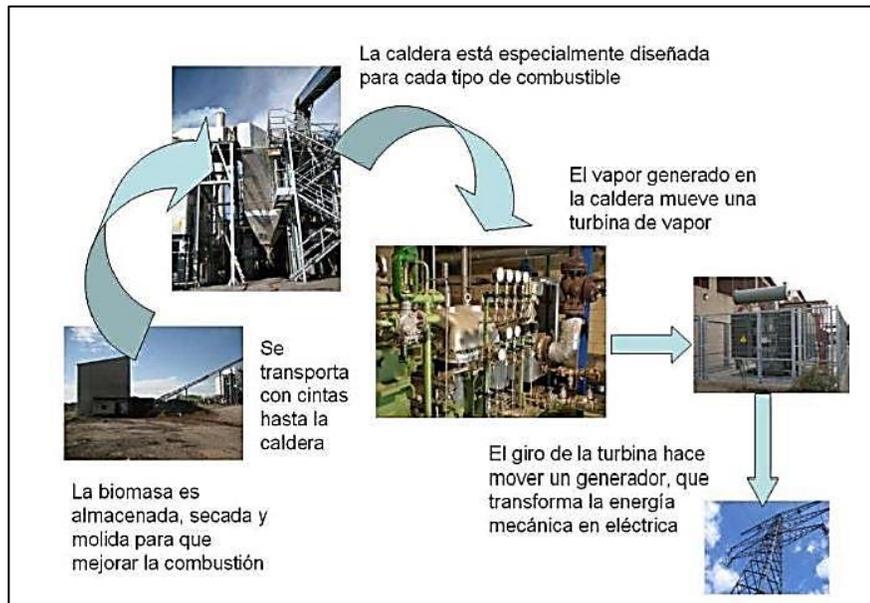
Los biocombustibles sólidos de origen lignocelulósico proceden del sector agroindustrial, la ganadería y la industria de alimentos, esta biomasa residual es la más común para elaboración de biocombustibles sólidos sostenible. Una de las maneras comunes de la utilización de este tipo de combustibles sólidos son los residuos de astillas, aserrín, pellets y briquetas (Velasco, 2017).

7.5. Calderas de combustión de biomasa

La caldera es un módulo cerrado que está diseñado para producir vapor o calentamiento de agua, por medio de la acción del calor a una temperatura por arriba al ambiente y de igual manera la presión debe estar por encima a la atmosférica. Regularmente los intercambios de calor tienen lugar por radiación-convección del lado de los gases de combustión, y por conducción convección del lado del fluido calo portador (Velasco, 2015).

Las calderas de combustión de biomasa o combustibles provechosos, hoy día, pueden obtener eficiencias superiores al 86 % sobre PCI (Poder calorífico inferior). Se utilizan presiones de vapor de más de 30 bares y temperaturas del orden de los 450°C, en la Figura 10 se muestra el proceso de una termoeléctrica de biomasa (Quintero y Torrez, 2019).

Figura 10. **Funcionamiento paso a paso de termoeléctrica de biomasa**



Fuente: Serrano (2018). *Principales tipos de calderas y Cuestiones prácticas de una central.*

Consulta: 22 de junio de 2020. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328391912_TIPOS_DE_CALDERAS_PARA_CENTRALES_TERMOELECTRICAS_DE_BIOMASA

Las calderas de biomasa en su mayoría cuentan con los sistemas siguientes según Velasco (2015).

- Sistema de almacenamiento y alimentación de combustible. Puede ser manual, o mediante tornillo sin fin o empujador hidráulico.
- Sistema de combustión. Ahí se produce la conversión de la biomasa. Consta de hoguera, parrilla, entradas de aire y encendedor.
- Sistema de extracción de cenizas. Es un cenicero bajo la parrilla para extracción de las cenizas obtenidas.

- Sistema de extracción de gases. Lo que permite regular el grado de carga de la caldera es la variación del régimen del extractor.
- Sistema de control. Permite controlar el exceso de aire.

7.5.1. Tipos de calderas de biomasa por combustión

Se debe seleccionar una caldera apropiada de acuerdo al tipo de industria para cumplir con los requerimientos que se deben cubrir, considero un presupuesto que cubra los costos de un mantenimiento preventivo. Con base en la tecnología empleada existen varios tipos de calderas de vapor. Las calderas de parrilla, las de lecho fluidizado, y las de inyección son las que tienen una tecnología de vanguardia. A continuación, los detalles de cada una de ellas por separado, en la Figura 11 se muestra las características de una caldera de biomasa DZL (Serrano, 2018).

Figura 11. Caldera de agua caliente de biomasa DZL



Fuente: Zozen Boiler (s.f.). *Fabricantes de calderas modernas en China*. Consulta: 22 de junio de 2020. Recuperado de <https://es.zozen.com/?5xyFrom=google-NT>

7.5.1.1. Calderas de parrillas

Su funcionamiento es simple, se basan en el transporte de la biomasa a través de una serie de parrillas en las que se llevara a cabo la combustión es la de mayor demanda a nivel industrial. Su mecanismo es a través de parrillas, siendo la más común la de parrillas móviles viajera que utiliza cintas rotativas para facilitar el avance de la biomasa. También están las de parrillas fijas y mixtas (Serrano, 2018).

7.5.1.2. Caldera de lecho fluidizado

En este tipo de calderas se incorpora un componente inerte a la biomasa, el aire que se le suministra es de manera ascendente, de este modo se logra tener un comportamiento afín a la de un líquido, logrando mantener una temperatura uniforme dentro de la cámara. Para los combustibles difíciles o de baja densidad energética, este tipo de calderas facilita su combustión, por lo que tiene un mejor rendimiento. Su operación es más compleja que las de parrilla debido a su tecnología (Serrano, 2018).

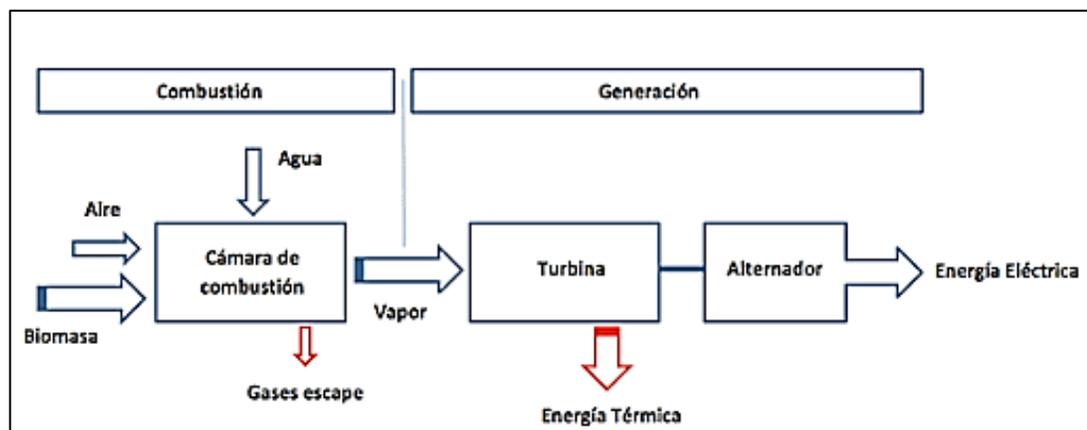
7.5.1.3. Caldera de inyección

Este tipo de calderas dispone de varios quemadores a diferentes alturas, son las más utilizadas en centrales convencionales de carbón, a través del arrastre una corriente de aire el combustible es alimentado a la caladera. Para este tipo de calderas el combustible que vaya a ser utilizado debe estar bien triturado en partículas finas no mayor de 5mm y con una humedad por debajo del 15 % (Serrano, 2018).

7.5.2. Proceso de combustión de biomasa

La combustión de la biomasa es un proceso esencial para la generación de la energía térmica o calorífica, la quema de la biomasa requiere de un agente oxidante que por lo regular es usado el oxígeno contenido en el aire, que reacciona exotérmicamente generando calor y una serie de gases de combustión. Pueden ser usados diferentes tipos de materiales como combustibles de combustión, tales como combustibles fósiles, residuos o biomasa. Se considera que un combustible es bueno en la medida que este es amigable al medio ambiente y posee una capacidad calorífica alta. La combinación del valor calorífico y las condiciones de operación determina la calidad de la combustión y, por lo tanto, el calor de salida obtenido, la Figura 12 se muestra el proceso de combustión de la biomasa para la generación energética (BEFS, 2014).

Figura 12. Proceso de combustión de la biomasa



Fuente: Grupoider (2013). *Plantas de generación eléctrica*. Consulta: 22 de junio de 2020.

Recuperado de <http://www.grupoider.com/calderas-de-biomasa/>

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El cultivo del arroz

2.1.1. Aspectos botánicos

2.1.1.1. La planta de arroz

2.1.1.2. Grano de arroz o semilla

2.1.2. Cosecha

2.1.3. Proceso en planta de beneficio

2.1.4. Recepción arroz en granza

2.1.5. Secado arroz en granza

2.1.6. Almacenado en granza

2.1.7. Precocado

2.1.8. Proceso de molienda

2.1.8.1. Prelimpieza

- 2.1.8.2. Descascarillado
 - 2.1.8.3. Pulido de arroz
 - 2.1.8.4. Clasificación y selección
 - 2.1.8.5. Empaque y almacenaje
- 2.2. Caracterización de la cascarilla de arroz
 - 2.2.1. Uso de la cascarilla de arroz
 - 2.2.1.1. Como biocombustible
 - 2.2.1.2. Como abono orgánico
 - 2.2.2. Composición de la cascarilla de arroz
- 2.3. La biomasa en procesos para generación de energía
 - 2.3.1. Definición
 - 2.3.2. La biomasa como fuente de energía
 - 2.3.3. Tipos de biomasa
 - 2.3.3.1. Biomasa natural
 - 2.3.3.2. Biomasa residual
 - 2.3.3.3. Excedentes agrícolas
 - 2.3.3.4. Cultivos energéticos
 - 2.3.4. Contenido energético de la biomasa
 - 2.3.5. Caracterización de la biomasa
- 2.4. Briquetas energéticas
 - 2.4.1. Descripción
 - 2.4.2. Composición
 - 2.4.3. Tipos de procesos para la fabricación de briquetas
 - 2.4.3.1. Fabricación artesanal
 - 2.4.3.2. Fabricación semiindustrial
 - 2.4.3.3. Fabricación industrial
 - 2.4.4. Biocombustibles sólidos
- 2.5. Calderas de combustión de biomasa
 - 2.5.1. Tipos de calderas de biomasa por combustión

- 2.5.1.1. Calderas de parrillas
- 2.5.1.2. Calderas de lecho fluidizado
- 2.5.1.3. Calderas de inyección
- 2.5.2. Proceso de combustión de biomasa

3. SELECCIÓN Y RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

4. DISEÑO EXPERIMENTAL

5. OBTENCIÓN DE DATOS

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo, pues éste busca describir la metodología de recolección de residuos sólidos generados durante la molienda de una planta de beneficio de arroz (cascarilla y pulimento) para la elaboración de una briqueta que sirva de combustible sólido para alimentar calderas de biomasa. El diseño de la investigación será de tipo experimental a una pequeña escala.

9.2. Definición de variables

En la tabla VII se presenta la descripción de las variables que serán evaluadas en el presente estudio.

Tabla VII. Descripción de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional
Cantidad de residuos	Masa de residuos generados en la molienda de arroz.	En kilogramos (kg), será utilizada una balanza de tipo industrial.
Ceniza	La ceniza es el producto de la combustión de algún material, compuesto por sustancias inorgánicas no combustibles, como sales minerales	Porcentaje residual, después de la combustión. Diferencia de la masa que se quema y lo que sobra (%).
Composición	Porcentaje o cantidad en masa de cada elemento presente en un compuesto o en un todo.	Formula en porcentaje de cascarilla de arroz y aglutinante de almidón que presenta mejores características físicas.
Costo	Cantidad de dinero que se va se paga por algo.	Costo de producir briquetas de cascarilla de arroz, tomando en cuenta la materia prima, insumos, equipo, mano de obra.
Densidad	La densidad se define como el cociente entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa.	La densidad se calcula por medio de la siguiente formula: $D= m/v$, kg/m^3 .

Continuación tabla VII.

Humedad	El grado de humedad está directamente relacionado, con la porosidad de las partículas. La porosidad depende a su vez del tamaño de los poros, su permeabilidad y la cantidad o volumen total de los poros.	El contenido de humedad se puede calcular mediante la siguiente formula: $P = ((W-D) / D) \times 100$. Donde P es el contenido de humedad (%); W es la masa inicial de muestra (kg) y D es la masa de la muestra seca (kg).
Periodo de combustión	La duración de la combustión se define como el tiempo que transcurre entre el 10 y 90% de fracción de masa quemada.	Tiempo que dura el periodo de combustión en prueba de laboratorio, se mide en horas o fracción.
Poder calorífico	El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible.	El poder calorífico de una muestra de combustible se mide en una bomba calorimétrica (KJ/kg) o (Kcal/kg).
Volumen	El Volumen es la cantidad de espacio ocupado por un cuerpo.	El volumen es la magnitud derivada, que encuentra multiplicando 3 dimensiones: ancho, profundidad y longitud (m^3).

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fases del estudio

A continuación, se describen las fases de estudio.

9.3.1. Fase 1: exploración bibliográfica

En esta fase se realiza una revisión de la bibliografía oportuna sobre del cultivo del arroz y su proceso industrial, así como de los residuos sólidos generados durante la producción de este. La información recolectada se tomará de base para el diseño del procesamiento de la biomasa residual, para la elaboración de una briqueta, determinando sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas, para poder ser utilizada como un biocombustible sólido en una caldera de biomasa. En la tabla VIII se presentan las propiedades fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.

Tabla VIII. **Propiedades de la cascarilla de arroz**

Caracterización de la cascarilla de Arroz		
Composición elemental masa seca.	Características físicas	%
Carbono	Humedad	
Hidrógeno	Cenizas	
Oxígeno	Material volátil	
Nitrógeno	Carbono fijo	
Azufre		
Poder calorífico superior (PCS):		

Fuente: elaboración propia.

9.3.2. Fase 2: recolección y preparación de la materia prima

La recolección de la cascarilla se hará directamente en donde es depositada luego del proceso de pilado y que se encuentra fuera del área de producción, No se tiene un almacenamiento apropiado para la cascarilla, ya que se considera un desperdicio y por otro lado representa un problema de contaminación al no ser tratado adecuadamente.

Durante la etapa de pulido se obtiene a través de las máquinas pulidoras, el polvillo o pulimento, considerando un subproducto, el cual es comercializado como producto balanceado mezclándolo en el concentrado para los animales de corral, además por sus características puede ser utilizado como almidón.

- Almidón: el aglutinante de almidón tiene propiedades de adhesión y expansión superiores. Actúa como aglutinante natural para la fabricación de pellets, briquetas, se prepara con agua caliente formando un adhesivo de alta adherencia. El aglutinante de almidón tiene un costo menor comparado con otros aglutinantes químicos. El almidón de yuca está formado por una mezcla de amilosa y amilopectina.

Para determinar la composición ideal de aglutinante, se realizarán tres combinaciones de agua y almidón de yuca, polvillo de arroz y maíz, para lograr un producto con mayor viscosidad y eficiencia de adherencia, según se muestra en la tabla IX.

Tabla IX. **Formulación para determinar la combinación de almidón y agua para el aglutinante**

No de Muestra de Proporción	Aglutinante		Porcentaje de ensayo	Características del almidón después de cocido	Conclusión
	Agua (ml)	Almidón (gr)			
1	%	%	100 %		
2	%	%	100 %		
3	%	%	100 %		

Fuente: elaboración propia.

9.3.3. Fase 3: proceso para elaboración de las briquetas.

El diseño de la investigación será de tipo experimental a una pequeña escala, es por ello que serán utilizados medios domésticos, para preparar la mezcla y el prensado de briquetas con fuerza muscular. Es un proceso sencillo que persigue la elaboración de briquetas de manera práctica con recursos mínimos que no generen altos costos de inversión, la materia prima a utilizar son los residuos sólidos del proceso de molienda.

9.3.3.1. Equipo por utilizar para la elaboración de briquetas

En la figura 13, se ilustra la máquina de tipo artesanal, accionada con fuerza muscular para la comprensión de la mezcla de materia prima que será utilizada para la elaboración de briquetas a pequeña escala.

Figura 13. **Máquina artesanal para fabricar briquetas rectangulares**



Fuente: elaboración propia.

9.3.3.2. **Composición de la formulación para la elaboración de la briqueta**

Se determinará el porcentaje de aglutinante y cascarilla de arroz óptima para la elaboración de la briqueta mediante los ensayos de las mezclas respectivas, según se muestra en la tabla X.

Tabla X. **Fórmula de mezcla aglutinante y cascarilla**

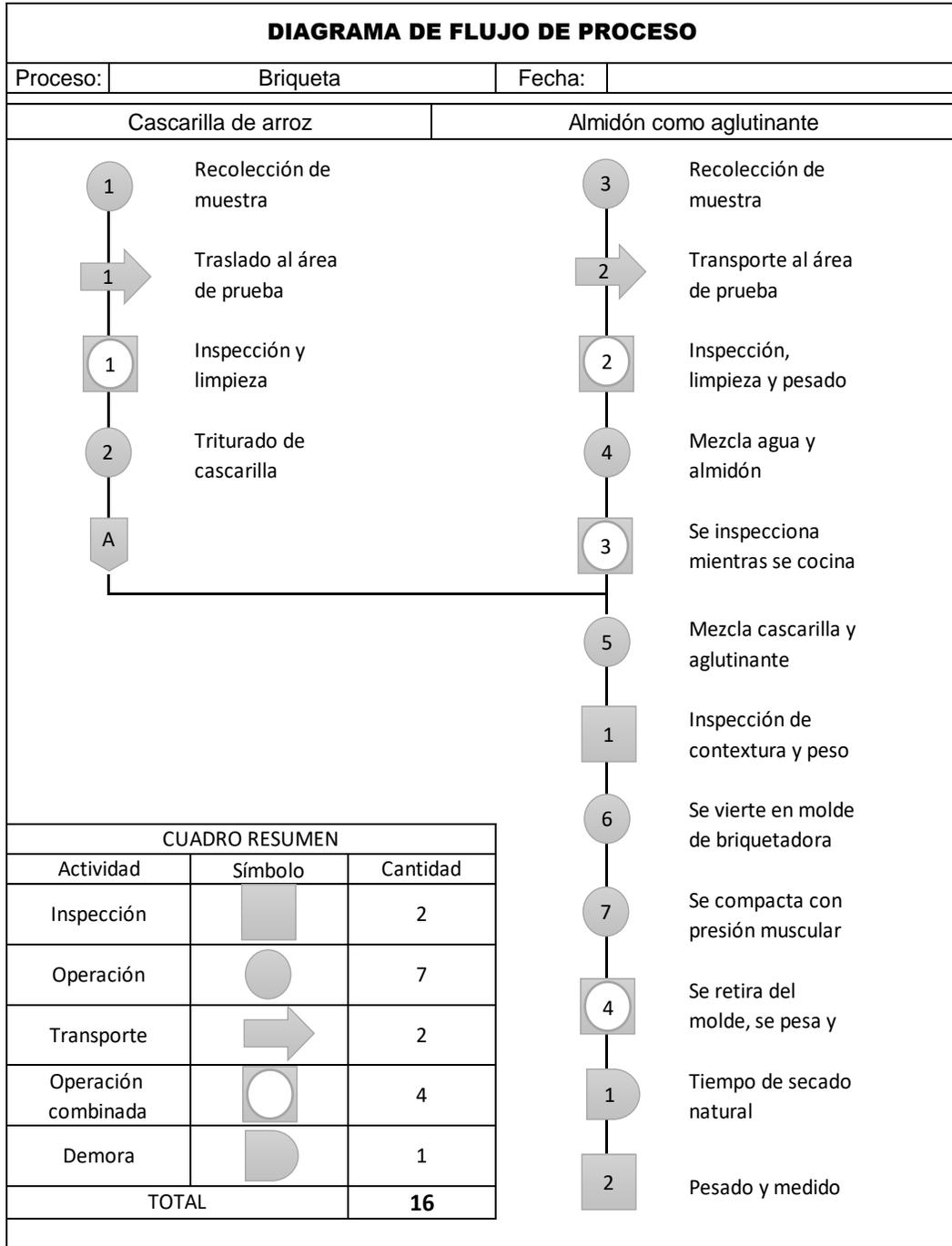
Proporción según muestra	% / gr. de aglutinante	% / gr. de cascarilla de arroz	% / gr. de ensayo	Observación
1	_____	_____	_____	
2	_____	_____	_____	
3	_____	_____	_____	

Fuente: elaboración propia.

9.3.3.3. Diagrama de flujo de proceso para elaborar briquetas

En la figura 14, se presenta el diagrama de flujo de proceso para la elaboración de briquetas de los residuos sólidos generados durante el proceso de molienda en una planta de beneficio de arroz en Palencia, Guatemala.

Figura 14. Diagrama de flujo de proceso para elaborar briqueta



Fuente: elaboración propia.

9.3.4. Fase 4: caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas

En las Tablas XI y XII, se detallan los resultados de las propiedades fisicoquímico realizados a las briquetas.

Tabla XI. **Características físicas de las briquetas**

No de ensayo	Masa de Briqueta		Muestra	Presión (PSI)	Tiempo de secado (días)	Propiedades físicas de la briqueta			Tiempo de encendido (minutos)
	Almidón	Cascarilla				Volumen (m3)	Masa (kg)	Densidad (kg/m3)	
1	/	/							
2	/	/							
3	/	/							

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Propiedades fisicoquímicas de la briqueta**

Muestra	Masa de Briqueta		No de ensayo	Propiedades de Briqueta			
	Almidón	Cascarilla		Humedad %	Ceniza %	Poder Calorífico	Periodo de combustión
1	/	/					
2	/	/					
3	/	/					

Fuente: elaboración propia.

9.3.5. Fase 5: determinación de los beneficios obtenidos del estudio

Con el presente estudio se contribuirá a fortalecer las políticas de medio ambiente que se tienen en la empresa, la reducción en el uso de combustibles fósiles, que se verá reflejado en la reducción de los costos de operación.

- La reducción de los residuos sólidos generados durante la producción de arroz integral y representa un beneficio al ambiente y a la salud de los colaboradores de la empresa. Los datos se presentan en la tabla XIII.

Tabla XIII. **Biomasa residual utilizada**

Masa de residuos generados	Masa de residuos utilizados	% de residuos utilizados	Producción de briquetas (Cantidad)
kg	kg	%	Unidades

Fuente: elaboración propia.

- En la tabla XIV se presenta un resumen del costo unitario para la elaboración de briqueta, se evalúa la cantidad y costos de materia prima, mano de obra y energía eléctrica utilizados en el proceso.

Tabla XIV. **Costos de elaboración de briqueta**

Descripción	unidad de medida	Consumo	Costo unitario	Costo Total
Cascarilla	kg			
Almidón	kg			
Agua	ml			
Energía eléctrica	KW			
Mano de obra	Q/hora			
TOTAL				

Fuente: elaboración propia.

9.3.6. Fase 6: presentación y discusión de resultados

En esta fase hará la presentación de los resultados del trabajo investigación, para que los mismo puedan ser discutidos e interpretación para llegar a conclusiones y recomendaciones pertinentes al desarrollo del estudio realizado.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información obtenida para la caracterización de las briquetas elaboradas con cascarilla de arroz, los datos de eficiencia energética de la caldera y los datos que se podrían obtener mediante la propuesta, se utilizarán las técnicas siguientes:

Los análisis técnicos y financieros se realizan en hojas Excel.

Herramientas de recolección de datos:

- Tabla de las propiedades de la cascarilla de arroz.
- Tabla de la formulación para determinar la combinación de almidón y agua para el aglutinante óptimo.
- Tabla de la fórmula de mezcla aglutinante y cascarilla.
- Tabla de la característica física de las briquetas.
- Tabla de las propiedades fisicoquímicas de la briqueta.
- Tabla del porcentaje de biomasa residual utilizada.
- Tabla de costos de elaboración de briqueta.
- Diagrama de flujo de proceso para elaborar briqueta.

Herramientas estadísticas:

- Promedio producción residuos en Ton/día.
- Media y desviación estándar de las todas mediciones.
- Gráfico de control poder calorífico.
- Gráfico de control porcentaje de humedad.

- Gráfico de control porcentaje de ceniza.
- Gráfico de control periodo de combustión.
- Gráfico de barras comparativos parámetros cenizas, humedad, poder Calorífico.
- Gráfico de barras comparativo beneficio/costo carbón mineral vrs briquetas de cascarilla de arroz.

11. CRONOGRAMA

Figura 15. Cronograma de actividades

Actividad	Año 2021					
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Fase 1: exploración bibliográfica	█					
Fase 2: recolección y preparación de la materia prima	█	█				
Fase 3: proceso para elaboración de las briquetas			█	█		
Fase 4: caracterización de las propiedades fisicoquímicas de la briqueta			█	█	█	
Fase 5: determinación de los beneficios obtenidos del estudio					█	█
Fase 6: presentación y discusión de resultados						█

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar este tipo de investigación se procederá a utilizar los recursos que se detallan a continuación los cuales serán financiados por el estudiante.

Tabla XV. **Recursos necesarios para el desarrollo de la investigación**

Descripción		Costos
Equipo para fabricar		
Máquina artesanal		Q 1,470.00
Triquet		Q 120.00
Materia prima		
Cascarilla	300 lb	Q 150.00
Almidón	50 lb	Q 50.00
Estudios de laboratorio		
Análisis fisicoquímico		Q 1,200.00
Movilización		
		Q 500,00
Asesor de tesis		
		Q 2,500,00
TOTAL		Q 5,990.00

Fuente: elaboración propia.

Este trabajo de investigación es totalmente factible, ya que se cuentan con los recursos necesarios para la ejecución de las 6 fases planteadas en el presente documento y de esa forma cumplir con los objetivos planteados.

13. REFERENCIAS

1. Aguilar, J. y Tulcán, E. (2018). *Estudio del potencial energético de la cascara de arroz ecuatoriano peltizado para su uso como combustible*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/33180/1/401-1317%20-%20potencial%20energetico%20cascara%20arroz%20ecuatoriano.pdf>
2. Alibaba. (s.f). *Fabricante, Empresa de Trading*. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://spanish.alibaba.com/products/briqueta_maquina/CID100009480.html?IndexArea=product_en
3. Álvarez, E. (2018). *Análisis técnico financiero en la implementación de briquetas de aserrín, cáscara de café y olote, para disminuir el consumo de leña en San Juan Sacatepéquez*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10260/1/Erick%20Jony%20Alvarez%20Maldonado.pdf>
4. Arias, R. y Meneses, J. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de

Nicaragua, Managua, Nicaragua. Recuperado de <https://repositorio.unan.edu.ni/3793/1/53860.pdf>

5. BEFS. (2014). Bioenergía y seguridad alimentaria evaluación rápida (BEFS RA). *Manual de usuario, sección 3 combustión*. Alemania: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-bp848s.pdf>
6. CENTA. (2018). *Programa de granos básicos*. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería. Recuperado de http://centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Centa_Arroz%202019.pdf
7. Combustibles Aragón. (22 de mayo, 2016). Tipos de biomasa. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://combustiblesaragon.es/tipos-de-biomasa/>
8. Costilla, Y. y Aguirre, R. (2017). *Propuesta de una Briqueta Ecológica utilizando cascarilla y polvillo de arroz*. (Tesis de licenciatura). Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI, Perú. Recuperado de <file:///C:/Users/casa/Downloads/Tesis%20propuesta%20de%20una%20briqueta%20ecologica%20utilizando%20cascarilla%20y%20polvillo%20de%20arroz.pdf>
9. Gaona, D. (2014). *Mezcla de cascarilla de nuez de palmiste y raquis como combustible alternativo para generación eléctrica*. (Tesis de licenciatura). Universidad Central de Ecuador. Quito, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3498/1/T-UCE-0017-84.pdf>

10. García, S. (11 de octubre, 2012). *Centrales termoeléctricas de biomasa*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.plantasdebiomasa.net/tipos-de-biomasa.html>
11. Grupoider. (2013). *Plantas de generación eléctrica*. Zaragoza, España: IDER. Recuperado de <http://www.grupoider.com/calderas-de-biomasa/>
12. Lizama, S. (2013). *Diseño de investigación de la implementación del sistema de eficiencia global de equipos (OEE) en la sección de empaque de una empresa procesadora de arroz, ubicada en Villa Nueva, Guatemala, para el aumento en la productividad*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1346_Q.pdf
13. Martínez, A. (2015). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas y mecánicas de briquetas elaboradas con aserrín, residuos sólidos, vacasa y tetrabrik, utilizando almidón y cal como aglutinantes*. (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3256/1/Ana%20Luc%C3%ADa%20Mart%C3%ADnez%20Maldonado.pdf>
14. Periódico los Molinos. (3 de enero, 2020). *Producción de arroz*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://molineria.online/produccion-de-arroz/>

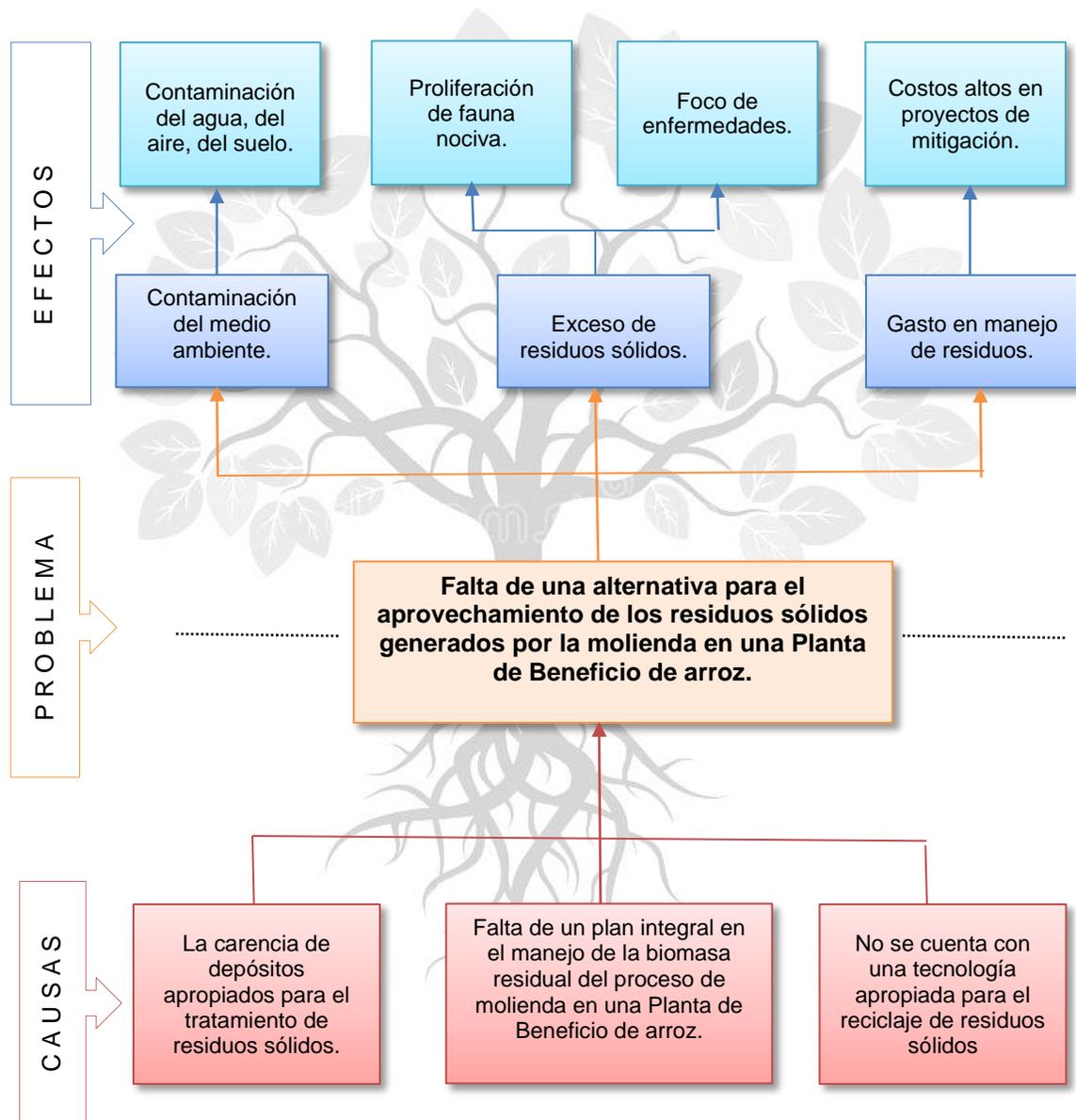
15. Quintero, L. (2017). *Evaluación de potencial energético de los residuos sólidos agroindustriales del proceso de extracción de aceite de palma africana como alternativa energética para el reemplazo de la leña en la zona norte del departamento del Cesar*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Colombia. Recuperado de <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3286>
16. Quintero, L., y Torrez C. (febrero de 2019). Análisis de residuos sólidos de Palma Africana, como alternativa de aprovechamiento de energías renovables en el departamento del Cesar/Analysis of African palm solid waste, as an alternative to use renewable energy in the department of Cesar. *Ingenierías USBmed*, vol 10(1), pp. 8-19. Recuperado de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/IngUSBmed/article/view/3662/3256>
17. Reaño, R. (2015). *Propuesta de mejora de la productividad en el proceso de pilado de arroz en el Molino Latino S.A.C.* (Tesis de licenciatura). Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Chiclayo, Perú. Recuperado de http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/502/1/TL_Reano_Villalobos_RaulErnesto.pdf
18. Ríos, I. (2019). *Producción de pellets de cascarilla de arroz con máximo contenido energético*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. Recuperado de <http://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/1218/1/RI005085.pdf>

19. Rodríguez, A., Campos, A. y Pérez, A. (junio de 2019). Obtención y caracterización de materiales adsorbentes a partir de cascarilla de arroz. *Revista Motus*, vol 9(1), pp. 29-39. Recuperado de <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1515/1487>
20. Roldan, E. (2016). *Análisis de situación de país para la fortificación del arroz*. Guatemala: Programa Mundial de Alimentos. Recuperado de <https://sightandlife.org/wp-content/uploads/2017/04/Guatemala-FINAL.pdf>
21. Serrano, M. (19 de mayo, 2018). Principales tipos de calderas y Cuestiones prácticas de una central. [Mensaje de blog]. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328391912_TIPOS_DE_CALDERAS_PARA_CENTRALES_TERMOCALORIFICAS_DE_BIOMASA
22. Telemadrid. (12 de marzo, 2018). *Proceso cultivo del arroz*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <http://www.telemadrid.es/noticias/proceso-cultivo-arroz-0-1555044523--20140312011738.html>
23. Tienda Biomasa. (s.f.). *Especialistas en biomasa*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://tiendabiomasa.com/briqueta>
24. Valiente, A. (2017). *Elaboración de briquetas para aprovechamiento del residuo de arroz en beneficios del municipio de El Progreso, Jutiapa*. (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjrkd/2017/02/02/Valiente-Astrid.pdf>

25. Velasco, J. (2015). *Caracterización y simulación del lecho de una caldera de biomasa en contracorriente*. (Tesis de licenciatura). Universidad de Valladolid, España. Recuperado de <https://1library.co/document/oz1vgd8z-caracterizacion-simulacion-lecho-caldera-biomasa-contracorriente.html>
26. Velasco, K. (2017). *Formulación de un biocombustible a partir de los residuos de la industria extractora de aceite*. (Tesis de licenciatura). Universidad Central de Ecuador, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13593/1/T-UCE-0017-0081-2017.pdf>
27. Vera, A. (2014). *Diseño de briquetas ecológicas para la generación de energía calórica y mejoramiento de ecosistemas en el corregimiento de Nabusimake, municipio de Pueblo Bello-Cesar*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia. Recuperado de <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6111/92694041.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
28. ZOZEN BOILER. (s.f.). *Fabricantes de calderas modernas en China*. [Mensaje de blog]. Recuperado de <https://es.zozen.com/?5xyFrom=google-NT>

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol del problema: análisis de causa y efectos**



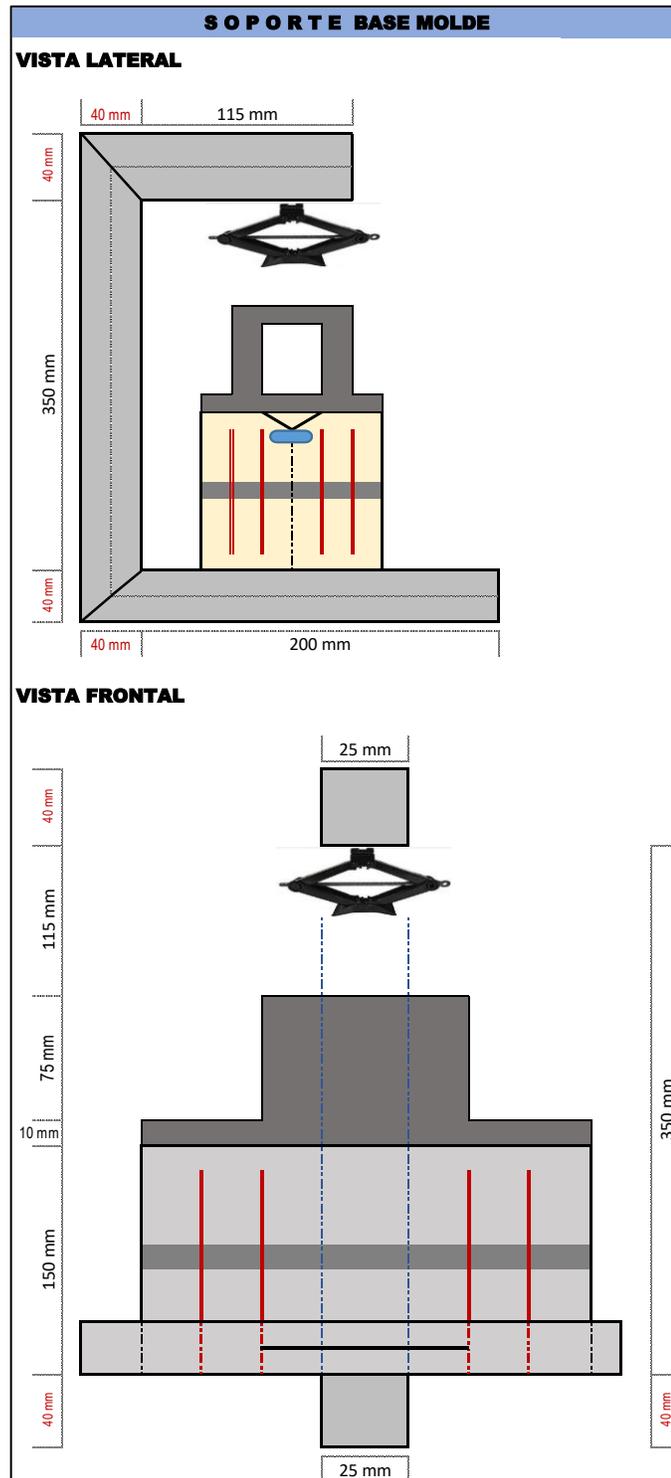
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

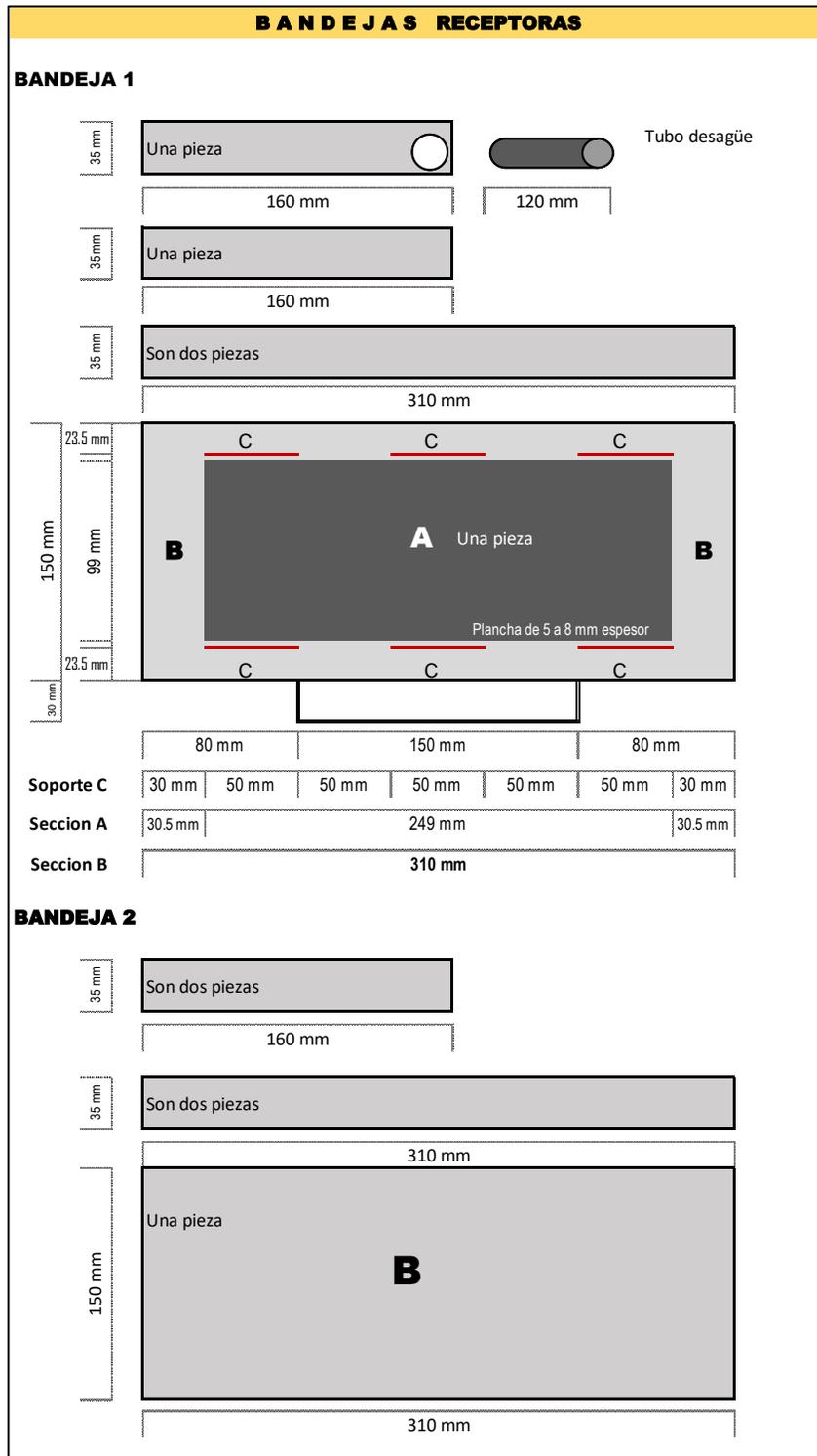
Problema	Objetivos	Variables	Metodología	Plan de acción
Pregunta principal: ¿Cómo podrían alimentarse calderas de biomasa de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, con briquetas de residuos sólidos obtenidos?	Objetivo general: Formular un proyecto para alimentar calderas de biomasa con briquetas de residuos sólidos de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> Briquetas. 	<ul style="list-style-type: none"> Exploración bibliográfica. Gestión de residuos sólidos. Diseño de briquetas. 	<ul style="list-style-type: none"> Establecer las herramientas para realizar el proyecto de elaboración de briquetas de cascarilla de arroz.
Preguntas auxiliares: 1. ¿Qué cantidad de residuos sólidos son generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?	Objetivos específicos: 1. Calcular la cantidad y calidad de residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> Residuo sólido generado Ton. Propiedades de combustión para biomasa de la cascarilla de arroz. (porcentaje humedad, porcentaje ceniza, poder calorífico superior MJ/Kg). 	<ul style="list-style-type: none"> Exploración bibliográfica de las propiedades fisicoquímicas de los residuos sólidos de un beneficio de arroz. Tomar muestras de residuos sólidos generados para análisis de laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener datos de las propiedades de combustión para biomasa de un beneficio de arroz (4 días). Enviar muestras para análisis físico y químico de muestras (15 días).
2. ¿Cómo elaborar briquetas con biomasa residual de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?	2. Elaborar briquetas con biomasa residual de una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones de la briqueta (Largo, ancho, alto en cm). Composición de la briqueta en porcentaje. Masa kg. 	<ul style="list-style-type: none"> Diseñar máquina artesanal para hacer briquetas. Preparar mezcla de los residuos sólidos para elaborar para briquetas. Muestreo de briquetas de biomasa residual de cascarilla de arroz. 	<ul style="list-style-type: none"> Hacer máquina para fabricar briquetas con base en el diseño. (20 días). Triturar residuos sólidos y preparar la mezcla para la fabricación de briquetas (1 día). Elaborar briquetas de acuerdo a especificaciones (5 días).
3. ¿Cuál será el poder calorífico y rendimiento de briquetas hechas de biomasa residual generada en el proceso de producción en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?	3. Calcular el poder calorífico y rendimiento de briquetas hechas de biomasa residual generada en el proceso de producción en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> Caracterización de las propiedades fisicoquímicas de las briquetas. Poder calorífico MJ/Kg. Porcentaje de humedad Rendimiento de combustión porcentaje. Porcentaje de cenizas Densidad Kg/m³ 	<ul style="list-style-type: none"> Descripción de las propiedades de combustión para briquetas de residuos sólidos de la molienda de arroz. Análisis fisicoquímico de la briqueta en laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> Obtener datos de las propiedades fisicoquímicas de briquetas de biomasa residual de la molienda de arroz. (7 días) Envío de muestras al laboratorio y espera de resultados (10 días) Tabulación de datos obtenidos del laboratorio para su análisis (2 días)
4. ¿Cuáles serán los beneficios económicos de reciclar los residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala?	4. Describir los beneficios económicos de reciclar los residuos sólidos generados por cada tonelada de arroz producido en una Planta de Beneficio de Arroz en Palencia, Guatemala.	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de biomasa residual utilizada como biocombustible. % de reducción de residuos sólidos. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis económico. Gestión de residuos. 	<ul style="list-style-type: none"> Análisis de costo beneficio (3 días). Enumerar los beneficios obtenidos (1 día).

Fuente: elaboración propia.

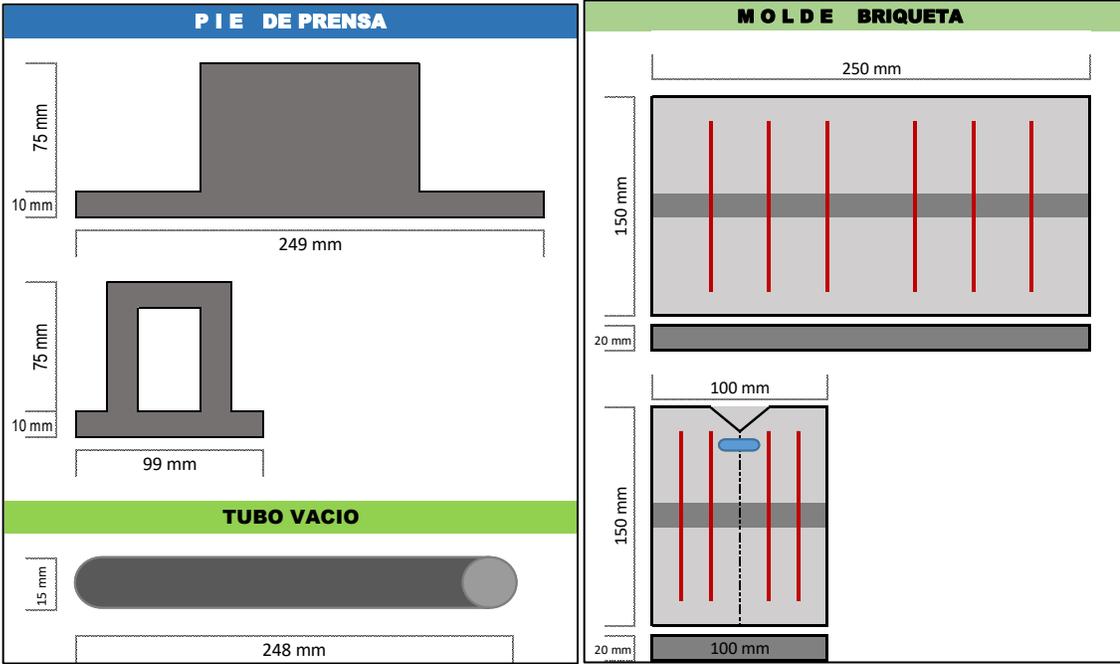
Apéndice 3. Planos de máquina briquetadora



Continuación apéndice 3.



Continuación apéndice 3.



Fuente: elaboración propia.

