



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR
VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR
COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL
MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO**

Manuel Rudy Soto Paz

Asesorado por el Ing. Byron Roberto Hernández Pineda

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR
VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR
COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL
MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MANUEL RUDY SOTO PAZ

ASESORADO POR EL ING. BYRON ROBERTO HERNÁNDEZ PINEDA

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

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Federico Mijangos Martínez
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Jerez Juárez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 28 de noviembre 2020.

Manuel Rudy Soto Paz

Ref. EEPFI-1500-2020
Guatemala, 17 de noviembre de 2020

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: POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO**, presentado por el estudiante **Manuel Rudy Soto Paz** carné número **200412846**, 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 Gestión Industrial.

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.

"Id y Enseñad a Todos"

BYRON ROBERTO HERNANDEZ PINEDA
Ingeniero Industrial
Colegiado 4838

Mtro. Byron Roberto Hernández Pineda
Asesor

M. A. Ing. Mec. Ind.
Hugo Humberto Rivera
Pérez
2020-11-18 19:37:06:00

Mtro. Hugo Humberto Rivera Pérez
Coordinador de Gestión Industrial
Plan entre semana

Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EEP-EIMI-073-2020

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: **POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Rudy Soto Paz**, 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, noviembre de 2020

DTG. 196.2021

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 POLLINAZA COMO COMBUSTIBLE PARA GENERAR VAPOR EN CALDERA DE PLANTA DE ABONO ORGÁNICO PARA REDUCIR COSTOS, GARANTIZAR EL ABASTECIMIENTO DE BIOMASA Y EL MONITOREO DEL IMPACTO AMBIENTAL DE SU USO**, presentado por el estudiante universitario: **Manuel Rudy Soto Paz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, mayo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por marcarme el camino y permitirme culminar con éxito tan anhelada carrera.
Mis padres	Rudy Soto y Maria Eugenia Paz. Por el amor y ser pilar fundamental en mi vida.
Mi esposa	Nanci De León. Por el amor y darme fortaleza e inspiración.
Mis hijas	Anayansi y Zoe Soto. Por ser mi inspiración y brindarme tanto amor.
Mis hermanas	Marcela y Marielos Soto. Por su cariño y apoyo.
Mis sobrinos	Luis, José (q. d. e. p.), Raúl y Rudy Alvarado, Diego Barrios y Luciana García.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por haberme recibido y ayudarme a transformarme en un profesional listo para enfrentar nuevos retos.

Mis amigos de la Facultad

Eddy Burgos, Carmen Villatoro, Hugo Woc y Carolina Véliz. Por haber compartido en diferentes etapas de la carrera.

Mi asesor

Msc. Ing. Byron Roberto Hernández Pineda, por la amistad, apoyo y asesoramiento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general.....	9
3.2. Descripción del problema.....	10
3.3. Formulación del problema.....	10
3.4. Delimitación del problema	11
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	23
7.1. Caldera	23
7.1.1. Clasificación según la disposición de fluidos.....	24

	7.1.1.1.	Calderas acuotubulares	24
	7.1.1.2.	Caldera pirotubulares.....	26
7.1.2.		Clasificación de las calderas por su tecnología	28
	7.1.2.1.	Calderas de agua caliente	28
	7.1.2.2.	Calderas de agua sobrecalentada	28
	7.1.2.3.	Calderas de fluido térmico	29
	7.1.2.4.	Calderas de vapor.....	29
7.1.3.		Combustibles utilizados en las calderas	29
	7.1.3.1.	Biomasa.....	31
		7.1.3.1.1. Grupos de la biomasa....	33
		7.1.3.1.2. Tipos de biomosas.....	33
7.2.		Huella de carbono	36
7.3.		Abono orgánico	37
	7.3.1.	Tipos de abonos orgánicos.....	37
	7.3.2.	Ventaja de utilizar abono orgánico.....	38
7.4.		Pruebas físicas y químicas	38
	7.4.1.	Análisis de humedad	39
	7.4.2.	Peso volumétrico.....	39
	7.4.3.	Granulometría	40
	7.4.4.	Poder calorífico	40
7.5.		Costos	41
	7.5.1.	Clasificación de costos	43
	7.5.2.	Elementos de un producto.....	43
		7.5.2.1. Relación con la producción	44
		7.5.2.2. Relación con el volumen	45
7.6.		Técnicas de análisis de información	45
	7.6.1.	Distribución de frecuencias.....	45
	7.6.2.	Medidas de tendencia central.....	46
	7.6.3.	Medidas de variabilidad.....	46

8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	49
9.	METODOLOGÍA	53
9.1.	Características del estudio	53
9.2.	Unidades de análisis	54
9.3.	Variables	54
9.4.	Fases del estudio	55
10.	TÉCNICAS ANÁLISIS INFORMACIÓN.....	59
11.	CRONOGRAMA	61
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	63
12.1.	Recursos necesarios.....	63
13.	REFERENCIAS	65
14.	APÉNDICES	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Caldera de vapor	23
2.	Detalle de caldera acuotubular.....	26
3.	Detalle de caldera pirotubular	27
4.	Caldera de vapor de biomasa en planta.....	31
5.	Clasificación de la biomasa.....	35
6.	Ecuación para el consumo de combustible	42
7.	Ecuación para determinar el costo del vapor	43
8.	Cronograma de actividades	62

TABLAS

I.	Fase I. Recolección de datos.....	18
II.	Fase II. Pruebas de laboratorio de la biomasa	19
III.	Fase III. Análisis e interpretación de resultados	20
IV.	Fase IV. Realizar pruebas en caldera	21
V.	Fase V. Realizar propuesta	22
VI.	Variables de estudio	54
VII.	Costos del proyecto	64

1. INTRODUCCIÓN

La producción de vapor dentro de las plantas que producen abonos orgánicos es de vital importancia para la producción de vapor de calidad, el principal costo de la producción de vapor es el combustible usado en la caldera.

La biomasa es un combustible renovable que puede ser de origen animal, vegetal o mixta. La pollinaza es de origen mixta, por la composición de cascarilla de arroz que es de origen vegetal y excreto de aves que es de origen animal.

Para la producción de vapor de calidad a bajo costo, es imprescindible usar biomasa con humedad y poder calorífico estable, el logro de estos parámetros es complicado, porque usa astillas de madera, como en el caso de la planta de abono orgánico donde se efectúa el presente estudio, el problema principal es el origen de la madera con la cual se fabrican las astillas que se usan como combustible en la caldera, la madera usada es originaria de bosques que no son plantados con el objetivo de ser usados como biomasa, por lo mismo, la mayoría de los proveedores de astillas de madera la logran adquirir de la poda de distintas clases de árboles, provocando la diversidad en humedad y poder calorífico por las distintas especies de árboles que se usan. No obstante, la calidad de la pollinaza es estable debido a los controles en alimentación de las aves y el material de cama que usan en las granjas.

Por lo tanto, la estandarización en la calidad de la pollinaza contribuye a mantener la generación de vapor estable, garantizando el abastecimiento y disminución de los costos debidos en la generación de vapor.

A través, de la presente investigación se espera determinar el impacto de la huella de carbono ocasionada por la combustión de pollinaza en la caldera, realizando un cotejo con la combustión de astillas de madera y la posibilidad de usar la ceniza resultante de la combustión de la pollinaza como abono orgánico.

El enfoque del estudio será cuantitativo, porque se analizarán distintas variables entre estas: consumo de biomasa en la caldera, demanda de vapor, vapor generado, poder calorífico de las astillas de madera que es el combustible que se usa en la actualidad y la pollinaza que es el combustible que se examina como sustituto, con el fin esencial de minimizar costos y garantizar el abastecimiento de biomasa usada en la caldera para la generación de vapor.

En el estudio se llevará a cabo un análisis de costo beneficio, para establecer la reducción de costos que se logrará con la sustitución de las astillas de madera por pollinaza como combustible. El estudio se estructurará en las 5 fases siguientes:

- Fase I: se realizará la revisión bibliográfica y la recolección de datos de consumo y producción de vapor utilizando astillas de madera en la planta de abono orgánico.
- Fase II: se realizarán análisis de laboratorio físicos y químicos a las astillas de madera y a la pollinaza, entre los análisis se encuentran: humedad, poder calorífico y granulometría.
- Fase III: en esta fase se cotejarán los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio y se realizará el pronóstico de consumo de pollinaza, para cumplir con la demanda de vapor.
- Fase IV: se realizarán pruebas en caldera, las cuales iniciarán mezclando

astillas de madera con 10 % de pollinaza, este porcentaje aumentará gradualmente en 10 % hasta alcanzar el 100 % de pollinaza como combustible en la caldera.

- Fase V: con los datos obtenidos se procederá a realizar el análisis de los resultados de la utilización pollinaza como combustible en la caldera para realizar la propuesta.

2. ANTECEDENTES

Las calderas de biomasa usan combustible renovable, la biomasa que se usa en la caldera por lo general es originaria de: residuos forestales, residuos agrícolas leñosos, residuos de industrias y cultivos energéticos. Es importante mencionar que la pollinaza es un residuo de la crianza de aves, que se utiliza como material de cama (cascarilla de arroz) y las excretas de las aves.

Romero (2010) refiere que, la biomasa es un conjunto de materias orgánicas, que debido a su origen, composición y naturaleza pueden ser utilizadas para generar energía.

La energía que se origina de la biomasa como combustible, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2007), es usada en las aplicaciones térmicas para producir calor y agua caliente, asimismo refiere que las más comunes son las usadas de biomasa como combustible.

Para Murillo (1999), la avicultura desde el enfoque biológico es en el crecimiento de las aves que están en granjas en un promedio de 40 días, que producen en promedio 2 libras de pollinaza por ave, provocando una disponibilidad considerable de pollinaza en la producción avícola, además surge un crecimiento en la cantidad de aves.

Para Rico, Aguilar, Méndez, Cid, y Alor (2014), el poder calorífico de la pollinaza estriba de dos elementos esenciales: el material de cama usado y la humedad de la pollinaza y el poder calorífico que se encuentra entre 2578.4 y 3281.6 Kcal/Kg.

Para Asociación Española de Valoración Energética de la Biomasa (2008), el poder calorífico de las astillas de madera se define por el tipo de árbol de donde se origine y de la humedad de las mismas, por lo tanto, el poder calorífico de las astillas de madera se encuentra en un intervalo de 16.5 a 19 Mj/Kg que equivale a 3943-4541 Kcal/kg.

Es decir, que comparado con el poder calorífico que tiene la paja, el poder calorífico de las astillas de madera es superior, provocando una desventaja cuando es reemplazada por paja, no obstante, quedan confusos los siguientes elementos: cantidad de humedad de los productos, material de cama usado en la paja analizada y el tipo de árbol del cual provienen las astillas y granulometría de los productos, estos análisis son esenciales para determinar la viabilidad de la sustitución de las astillas de madera por paja.

Según Portero (2018), las propiedades principales de la biomasa son, el poder calorífico, el contenido de cenizas, análisis elemental o su densidad que varía en función de la especie que se analice y el pretratamiento al que se haya estado sometido.

En el mismo sentido, es preciso mencionar a la Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (2015) que refiere, las calderas se clasifican por la disposición de fluidos, de la siguiente forma; calderas acuotubulares o calderas pirotubulares, en donde la diferencia esencial es el requerimiento de presión de vapor.

Para Thermal Engineering LTDA (2020), los costos esenciales de la generación de vapor son, el consumo y el costo de combustible, consumo y costo de productos químicos, consumo y costo del agua de reposición, consumo y costo de energía eléctrica.

Con base a lo antes expuesto, puede observarse que existe variada información que se relaciona al tema de la biomasa y calderas, en donde la fuente de estudio principal es el uso de astillas de madera para la combustión, en el tema de utilización de pollinaza no existe una investigación que demuestre la eficiencia de usar este material como biomasa en la caldera.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La investigación se realizará en una planta que produce abono orgánico, utilizando como materia prima pollinaza, que proviene de la crianza de pollos de engorde que pertenece a otra empresa de la corporación, que está estructurada con más de 10 empresas. El área en las que se desarrolla la empresa es el área avícola que cubre desde, las granjas de gallinas que ponen los huevos hasta la venta de pollo al consumidor final, y la segunda área es la de alimentos balanceados que inicia desde la fabricación de harinas hasta la venta de alimentos balanceados a clientes internos y externos.

En la planta se sustituyó la caldera de bunker por una caldera de biomasa, la cual usa como combustible astillas de madera que se compran a proveedores locales, no obstante, este producto ha presentado escases en los meses de invierno donde los productores de astillas de madera tienen dificultades para transportar el producto desde las fincas en donde se encuentra hacia la planta, también la humedad del producto en invierno aumenta de 25 % hasta 40 % provocando problemas en la combustión y la inestabilidad de la calidad del vapor.

Desde otra perspectiva, se cuenta con disponibilidad de pollinaza que ingresan desde las granjas de la corporación. Es importante mencionar que la pollinaza es el material que se utiliza de cama en este caso cascarilla de arroz que se usa en las galeras para el crecimiento de los pollos de engorde, en donde efectúan sus excretas durante su crecimiento, que dura aproximadamente 40 días, seguidamente las aves son retiradas con destino a la planta de proceso

para su sacrificio o trasladadas con el cliente final como venta de carne en pie. Asimismo, cuando la galera donde se crían las aves está vacía se procede a retirar la pollinaza de las galeras y se traslada a la planta para su compostaje y transformación en abono orgánico.

3.2. Descripción del problema

En los meses de invierno se tiene dificultad para el abastecimiento de las astillas de madera, la humedad de estas aumenta a un 15 % provocando que la calidad de vapor obtenido en la caldera disminuya, además por el desabastecimiento de las astillas de madera se tiene que usar la caldera de bunker, esta es una caldera de emergencia y no cubre la cantidad necesaria de vapor, al usar la caldera de bunker el costo de la generación de vapor se eleva. Se identifica la necesidad de tener una materia prima alternativa para el abastecimiento de la caldera de biomasa.

3.3. Formulación del problema

Con la finalidad de centrarse en el problema que se requiere resolver, se realiza una pregunta central y cinco preguntas auxiliares.

- Pregunta central

¿Cuál será el desempeño al utilizar la pollinaza como biomasa en la caldera para resolver los problemas de abastecimiento de combustible y su impacto en la reducción de costos?

- Preguntas auxiliares

- ¿Cómo el uso pollinaza garantizará el abastecimiento de la caldera con producto de humedad estable?

- ¿Cuál será la calidad del vapor generado por la caldera utilizando pollinaza como combustible?
- ¿Cómo se impactará en los costos de la producción de vapor utilizando pollinaza como biomasa en la caldera?
- ¿Cómo impactará la utilización de pollinaza en la huella de carbono ocasionada por la combustión de pollinaza en la caldera?
- ¿Cuál será la variación de contenido de macronutrientes (NPK) de la ceniza resultante de la combustión de la pollinaza?

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará sobre la sustitución de astillas de madera por pollinaza como combustible en caldera de biomasa en la planta de fertilizantes y concentrados, en el municipio de Escuintla. El periodo de ejecución de la investigación será desde noviembre 2020 hasta junio 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

El estudio se trabajará bajo la línea de investigación: metodologías de producción con teoría de las limitaciones. El mismo se ubica en esta línea debido a que se tiene el limitante de la disponibilidad de astillas de madera en cantidad y calidad.

Con esta investigación se pretende conocer la posibilidad de utilizar la pollinaza como biomasa en calderas para la generación de vapor a menor costo, con un abastecimiento constante con producto de humedad estable.

Se determinará: la calidad de vapor generada con la utilización de pollinaza como biomasa, la reducción de costos de producción de vapor, el abastecimiento con materia prima con calidad constante referente a la humedad y se determinará la cantidad de macronutrientes (NPK) de la ceniza resultante de la combustión de pollinaza, para utilizarla como abono orgánico en la agricultura.

Esta investigación se podrá replicar en otras plantas en donde se cuenten con calderas de biomasa y cuente con pollinaza como subproducto de la explotación avícola, impactando en la reducción de costos y la conservación de bosques.

En Guatemala no existe legislación que prohíba la venta de pollinaza sin transformación en abono orgánico, para la transformación de la pollinaza a abono orgánico se tiene que pasar por un proceso de compostaje, el cual garantice que la pollinaza es inocua, la falta de legislación es un riesgo ya que los agricultores por precio prefieren utilizar pollinaza sin proceso de compostaje lo cual provoca

problemas ambientales como: propagación de moscas en las áreas de aplicación, posible contaminación del suelo con nematodos.

Los sistemas intensivos de producción animal (bovinos, cerdos y aves) pueden crear enormes problemas de polución, debido a las grandes cantidades de sustancias contaminantes que producen. Además, originan grandes volúmenes de estiércol que se depositan en el suelo. El fósforo, una vez en el suelo, se libera mediante la acción de las fitasas que producen los microorganismos de este ecosistema. Después, pasa a ríos y lagos, lo que da lugar a los fenómenos de eutrofización de las corrientes de agua y de los reservorios acuáticos. En estas circunstancias, hay un crecimiento acelerado de las algas y un agotamiento del contenido de oxígeno del agua, lo que provoca la mortalidad de la fauna acuática.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Comprobar que el uso de la pollinaza como combustible es factible en la caldera, reduciendo costos, garantizado el abastecimiento de la biomasa y monitoreando el impacto ambiental, en la planta de abono orgánico.

5.2. Específicos

- Identificar los parámetros de consumo de biomasa en la caldera y disponibilidad de pollinaza anuales en planta, para garantizar el abastecimiento con producto de humedad controlada.
- Determinar la calidad de vapor generado con la utilización de pollinaza como combustible en la caldera de biomasa, para comprobar eficiencia de la pollinaza como combustible.
- Determinar si el uso de la pollinaza en la caldera como biomasa disminuirán los costos de la producción de vapor.
- Determinar el impacto de la huella de carbono ocasionada por la combustión de pollinaza en la caldera, comparada con la combustión de astillas de madera.
- Determinar el contenido nutricional de macronutrientes (NPK), de la ceniza resultante de la combustión y el impacto en el mejoramiento del abono

orgánico, para minimizar los desechos generados.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Se busca que la dependencia de combustibles fósiles disminuya, una opción para lograr esto, es utilizar energía renovable, la biomasa es parte de las energías renovables con la cual se busca la disminución de la contaminación por emisiones y la reducción de costos en la producción de energía, en este caso en la producción de vapor en una planta de producción de abonos orgánicos.

Existen diferentes fuentes para la obtención de biomasa entre ellas están: residuos agrarios, residuos animales o restos de mataderos, residuos forestales, residuos industriales, en este caso se analizaron los residuos forestales y animales.

La utilización de residuos forestales conlleva un control más detallado, para utilizar biomasa que provenga de esta fuente se debe tener el control de los proveedores de las astillas de madera, ya que por ser un recurso natural todas las empresas que se dedican al procesamiento de este producto deben contar con autorizaciones emitidas por el Instituto Nacional de Bosques, para garantizar que no se utilice leña proveniente de la tala ilegal. Usando la pollinaza se puede contribuir a mejorar el manejo de los subproductos provenientes de la avicultura, en este caso el manejo de la pollinaza, porque al no darle el tratamiento adecuado es una fuente de contaminación ambiental.

Dentro de las plantas de producción en donde es necesario la utilización de vapor se deben considerar varios factores para la selección de la fuente de combustible, entre las principales están; precio, poder calorífico y disponibilidad.

Para determinar los consumos y costos se realizarán diferentes análisis de las biomásas, entre los principales están; poder calorífico, peso volumétrico, humedad y granulometría.

La ceniza resultante de la combustión tanto de astillas de madera y pollinaza serán sometidas a un análisis de abono orgánico en el cual se analizará; pH, concentración de sales, porcentaje de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, boro, cobre, hierro, magnesio y Zinc.

- Fase I. Recolección de datos

Esta es la fase inicial, en la cual se recolectan los datos para elaborar la investigación

Tabla I. **Fase I. Recolección de datos**

Actividad	Metodología	Tiempo(semanas)
Necesidades de vapor a cubrir histórico.	Revisión de literatura referente a los temas de investigación.	2
Demanda de Biomasa histórico y necesidades de vapor.	Determinar el consumo promedio de biomasa según datos históricos. Revisión de necesidades de vapor mensual según registros de la planta.	2
Verificar necesidades de vapor a cubrir.	Toma de datos en el área de calderas para comparar los históricos.	3
Verificar necesidades de Biomasa.	Toma de datos en el área de calderas para comparar los históricos.	3

Fuente: elaboración propia.

- Fase II. Pruebas de laboratorio de la biomasa

En esta fase se realizan todas las pruebas físicas y químicas de laboratorio a la pollinaza y astillas de madera para comparar los resultados.

Tabla II. **Fase II. Pruebas de laboratorio de la biomasa**

Actividad	Metodología	Tiempo(semanas)
Realizar análisis de humedad en biomasa.	Determinar la humedad de pollinaza y astillas de madera con la utilización de balanza determinadora de humedad.	1
Realizar análisis granulométrico y peso volumétrico de bioma.	Realizar análisis de granulometría de la pollinaza y astillas de madera mediante la utilización de tamizadores.	1
Determinar poder calorífico inferior de la pollinaza	Enviar muestra a laboratorio externo para el análisis del poder calorífico de las astillas de madera y la pollinaza.	1
Crear tabla comparativa de resultado de las biomasas.	Realizar tabla comparativa de los diferentes resultados para ser utilizados en los pronósticos de consumo de biomasa.	1

Fuente: elaboración propia.

- Fase III. Análisis e interpretación de resultados

Con los datos obtenidos se realizan pronósticos de demanda de pollinaza y de vapor en la planta.

Tabla III. **Fase III. Análisis e interpretación de resultados**

Actividad	Metodología	Tiempo(semanas)
Comparar necesidades de vapor.	Comparar las necesidades de vapor históricas con los datos obtenidos.	2
Comparar demanda de Biomasa histórico.	Comparar el consumo promedio de biomasa histórico con los datos obtenidos.	2
Crear pronóstico de necesidades de vapor.	Realizar los pronósticos de necesidades de vapor.	1
Crear pronóstico de demanda de biomasa.	Realizar los pronósticos de necesidades de biomasa.	1

Fuente: elaboración propia.

- Fase IV. Realizar pruebas en caldera

En esta fase se inician las pruebas en la caldera de biomasa, con la utilización inicial de astillas de madera para recolectar información y comprobar los datos históricos, luego de esto se inicia con las pruebas de utilizar pollinaza como combustible.

Tabla IV. **Fase IV. Realizar pruebas en caldera**

Actividad	Metodología	Tiempo(semanas)
Pruebas en caldera utilizando pollinaza.	Realizar mezcla de biomasa entre astillas de madera y Pollinaza para probar el comportamiento en la generación de vapor con diferentes proporciones (70-30 %,50-50 %,30-70 % y 0-100 % Pollinaza).	2
Análisis de humo en caldera.	Realizar estudio de generación de humo en chimenea de caldera.	1
Comparar diferentes resultados.	Comparar consumos de biomasa, costos y vapor generado.	3
Propuesta de utilización de pollinaza.	Realizar propuesta de utilización de pollinaza en la caldera.	3
Determinar las propiedades de la ceniza resultante.	Realizar análisis F4 (abonos orgánicos) para determinar la cantidad de macro y micronutrientes para la utilización como abono orgánico de la ceniza.	1

Fuente: elaboración propia.

- Fase V. Realizar propuesta

Con los datos obtenidos durante la fase IV se realiza la propuesta para la utilización de pollinaza como combustible en la caldera.

Tabla V. **Fase V. Realizar propuesta**

Actividad	Metodología	Tiempo(semanas)
Realizar propuesta de la investigación.	Realizar resumen y propuesta de la investigación.	2
Presentación de propuesta de la investigación.	Presentar resumen y propuesta de la investigación.	1

Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Caldera

La caldera es definida como un intercambiador de calor, donde la energía química de los combustibles es convertida en energía calorífica. Para la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), la función del intercambiador del calor es, con un líquido donde por lo general se usa agua. Es decir, dentro de la caldera se produce la combustión donde la liberación del calor producida por el combustible y la atracción del calor es liberado por el fluido.

Figura 1. **Caldera de vapor**



Fuente: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía básica calderas industriales eficientes.*

La caldera se usa principalmente para efectuar distintos trabajos dentro de las plantas de producción, también para el confort de las personas para recibir calor en todos los lugares que usan una caldera. Que se transmite por los mecanismos básicos de transformación, es entonces la conducción el calor que pasa de una parte a la otra de la pared del hogar, o de los tubos de humos; en el proceso de convección, los tubos de humos se calientan al contacto con los productos de combustión y, al final, la radiación que se produce es un intercambio de calor de la llama a las paredes del hogar de la caldera.

7.1.1. Clasificación según la disposición de fluidos

Según la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), las calderas pueden clasificarse por la forma del paso del fluido caloportador en los tubos de intercambio internos. Estas por lo general se pueden clasificar en: acuotubulares y pirotubulares.

7.1.1.1. Calderas acuotubulares

Para la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), las calderas acuotubulares son las que el fluido de trabajo es desplazado por el interior de tubos en su calentamiento y los gases de combustión circulan por el exterior de los mismos. Por lo general, estas calderas son usadas cuando se requiere que la presión de vapor sea mayor de 22 bares.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), hace referencia a algunas ventajas de usar esta clase de calderas:

- Menor peligro de explosión, esto debido la presión que trabajan.
- Bajo tiempo de arranque.

- Alto rango de potencia, lo cual hace que se puedan utilizar en diferentes tamaños y se adaptan a la necesidad de vapor que se requiera.

De igual manera la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), refiere las desventajas de utilizar esta clase de calderas:

- El agua con que se alimentan debe de ser pura.
- El costo es más elevado comparado con las calderas pirotubulares.
- Mayor costo de mantenimiento.

Por lo tanto, las calderas acuotubulares son usadas cuando se requiere lograr cantidades elevadas de vapor y alta presión, estas calderas funcionan con temperaturas bajas, para lo cual es necesario que se minimice la presión del vapor en estos casos.

Figura 2. **Detalle de caldera acuotubular**



Fuente: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía básica calderas industriales eficientes.*

7.1.1.2. Caldera pirotubulares

Para la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), las calderas pirotubulares son aquellas en las que los gases y el líquido se encuentran en un recipiente atravesado por los tubos de las mismas.

Figura 3. **Detalle de caldera pirotubular**



Fuente: Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía básica calderas industriales eficientes.*

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), menciona algunas ventajas del uso de éstas:

- La demanda la calidad del agua es menor comparada con las calderas acuotubulares.
- Menor costo inicial comparada con las acuotubulares.
- Mantenimiento de menor costo y menos complicado.

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), menciona algunas desventajas de utilizar este tipo de calderas:

- Tamaño y peso mayor a las calderas Acuotubulares.
- Tiene mayor tiempo de calentamiento para subir la presione iniciar a funcionar.
- No se usan con altas presiones.

7.1.2. Clasificación de las calderas por su tecnología

Las calderas funcionan siguiendo el principio; aplicando calor a un combustible ya sea gaseoso, líquido o sólido, utilizando quemadores diseñados precisamente para cada combustible.

7.1.2.1. Calderas de agua caliente

Para la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), menciona que las calderas de agua caliente son, aquellas en las que el fluido caloportador es el agua y tienen una temperatura máxima de servicio inferior a 100°C. Generalmente estas calderas son usadas ampliamente por el sector terciario y residencial, funcionan con combustibles: sólidos, líquidos y gaseosos.

7.1.2.2. Calderas de agua sobrecalentada

Esta clase de calderas son descritas por la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), como las que el fluido caloportador es el agua y tienen una temperatura máxima de servicio superior a 110°C. También este tipo de calderas se utiliza ampliamente en centrales de calefacción, por ser versátiles son instaladas para diversos usos en la industria.

En las calderas de agua sobrecalentada, el agua recircula por los tubos dentro de la caldera, presentando baja resistencia al paso de los gases, que es alcanzado con el diseño de la sección de los tubos y la separación de los mismos.

7.1.2.3. Calderas de fluido térmico

La Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), expresa que las calderas de fluido térmico son, las que el fluido caloportador es diferente al agua. Es importante mencionar que, este tipo de calderas no tienen un nivel establecido, porque son de funcionamiento automático y con vigilancia indirecta, por lo mismo, son alimentadas con combustibles líquidos y gaseosos. Únicamente pueden ser acuotubulares por el funcionamiento interno de las mismas.

7.1.2.4. Calderas de vapor

Las calderas de vapor son descritas por la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015), en las que el fluido calor portador es vapor de agua. Esta clase de calderas pueden ser acuotubulares o pirotubulares, actualmente son las que presentan mayor demanda en las industrias, y en las cuales se pueden usar distintos tipos de combustibles como; carbón, combustibles fósiles y biomasa.

7.1.3. Combustibles utilizados en las calderas

Los combustibles más usados en las calderas descritos por la Asociación Española de Valoración Energética de la Biomasa (2008), son los siguientes.

- Carbón: es el nombre genérico que se le da a la familia de combustibles

sólidos con un alto contenido de carbono, estos pueden clasificarse por su formación y volumen: turba, lignito, semibituminosos, antracita y bituminoso. Los dos últimos los que más se usan como combustibles para las calderas.

- **Petróleo:** son los residuos del proceso de producción de petróleo crudo, una vez destilado, es usado para la producción de productos más ligeros como: aceite para motor, parafina, queroseno, gasolina y diésel.
- **Gas:** es la forma de combustible más práctica para quemar, algunos de los gases son; gas natural que se produce de manera natural bajo la tierra; Gas licuado de petróleo conocido como GLP producto para refinar el petróleo y es almacenado bajo presión.
- **Biomasa:** originaria de los residuos de origen vegetal como: pastos residuos de árboles y de origen animal; entre estos las excretas de los animales que se crían de manera intensiva.

Figura 4. **Caldera de vapor de biomasa en planta**



Fuente: elaboración propia.

7.1.3.1. Biomasa

La biomasa es un tipo de combustible de origen animal, vegetal o mixto según la Asociación Española de Valoración Energética de la Biomasa (2008), lo caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Es decir, en la biomasa el poder calorífico varía por dos elementos esenciales que son: el tipo de biomasa y la humedad que esta posee.

La Secretaria de Energía (2008), clasifica la biomasa por su precedencia:

- Agroforestales con poder calorífico entre 3000–3500 kcal/kg.
- Residuos urbanos con poder calorífico entre 2000–2500 kcal/kg.
- Combustibles líquidos con poder calorífico alrededor de 10000 kcal/kg.

La biomasa es un producto con excelentes resultados para combustible, debido al bajo porcentaje de azufre. También existen beneficios para el medio ambiente.

Según la Secretaria de Energía (2008), algunos de los beneficios para el medio ambiente es que no favorece al incremento de los gases de efecto invernadero, debido al balance neutro de emisiones.

El dióxido de oxígeno que se origina en la combustión de la biomasa es absorbido de nuevo por el proceso de la fotosíntesis natural del crecimiento de las plantas que después son usadas como biomasa, provocando que la cantidad de dióxido de oxígeno a la atmósfera no se eleve.

Para Estrada y Meneses (2004), la biomasa es un tipo de energía renovable que puede reemplazar el uso de algunos combustibles fósiles como el carbón mineral y el gas natural. En otras palabras, la biomasa es el combustible que está disponible en todas partes, siendo esta una de las ventajas de usar esta clase de combustible.

7.1.3.1.1. Grupos de la biomasa

En este apartado se describen los grupos de la biomasa según su clasificación. La biomasa se divide en los dos grupos siguientes:

- Biomasa seca: refiere al contenido de humedad que es menor al 60 %, parte de esta es la leña y la paja. La mejor manera de usarlos es a través de procesos termoquímicos o fisicoquímicos, para la producción de energía térmica en las calderas.
- Base húmeda: se distingue porque su contenido de humedad es mayor a 60, así lo describe la Secretaria de Energía (2008), entre estos se encuentran los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática, entre otros. Es principalmente adecuada para su tratamiento a través de procesos químicos.

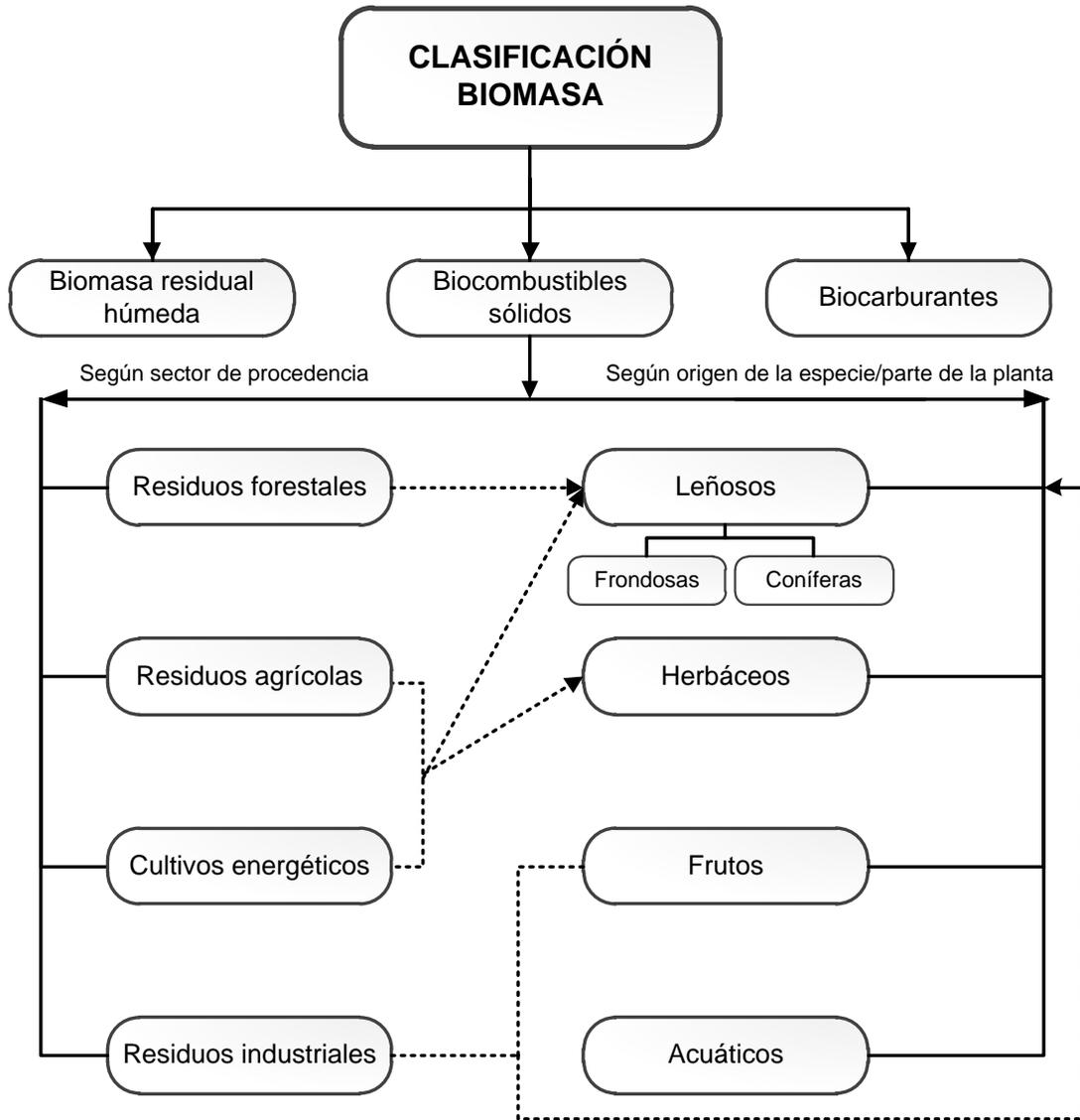
7.1.3.1.2. Tipos de biomosas

Los tipos de biomasa generalmente son clasificados en cuatro grupos; recursos forestales y forestales industriales, agrícolas, pecuarios y agroindustriales:

- Recursos forestales y forestales industriales: engloba los residuos y plantaciones energéticas, con la explotación de bosques naturales con el objetivo de lograr madera para ser aserrada o para la fabricación de papel, entre estos recursos están las especies no aptas para aserradero, residuos de cosechas y residuos de aserraderos.

- Recursos agrícolas: es parte de la biomasa para energía proveniente de residuos y cultivos energéticos, los cultivos energéticos son los cultivados con el objetivo de producir materia energética, como las plantaciones de caña, plantaciones de girasoles, donde se da una competencia entre a la producción de energía y producción de alimentos.
- Recursos pecuarios: estas son las excretas originarias de crianzas intensivas en su mayoría usadas para lo producción de biogás.
- Recursos agroindustriales: se originan del proceso de industrialización que son fuentes de biomasa, el azúcar es un claro ejemplo de estos procesos donde se siembra caña de azúcar para seguidamente ser cosechada y extraerle el jugo quedando como subproducto del proceso el bagazo de caña que puede ser usado como combustible en la caldera.

Figura 5. Clasificación de la biomasa



Fuente: Portero (2018). *Estudio experimental de peletizado en planta piloto y combustión en caldera de biomasa a baja potencia.*

7.2. Huella de carbono

Valderrama, Espínola, y Quezada (2011), refiere que la huella de carbón está presente en los productos que se consumen y los servicios que se prestan, estos tienen un impacto sobre el clima, produciendo gases de efecto invernadero en la producción, transporte, almacenamiento, uso y disposición final. En otras palabras, la huella de carbono es la medida cuantificable del efecto de estos gases en el impacto del cambio climático. Es decir, que la huella de carbono es la medida cuantificable del efecto de estos gases sobre el impacto del cambio climático.

Para Valderrama, Espínola, y Quezada (2011), entre los métodos más sobresalientes para el cálculo de la huella de carbono están los siguientes.

- Protocolo de gases efecto invernadero: tiene como referencia el protocolo GEI, 2005 se mide en Kg CO₂ eq/año tiene un enfoque corporativo se usa a escala empresa.
- Balance de carbono: tiene como referencia el BC, 2011 es medido en Kg CO₂ eq/año o en Kg CO₂ eq/unidad funcional tiene una perspectiva corporativa se usa a escala empresa, territorio y producto.
- Especificaciones públicamente disponibles: tiene como referencia el BSI, 2008 es medido en Kg CO₂ eq/unidad funcional tiene un enfoque de producto se usa a escala producto.
- Método compuesto de las cuentas contables MC3: tiene como referencia el DoménechI, 2004a; 2004b es medido en tCO₂ eq/año tiene un enfoque corporativo más producto, se usa a escala empresa y producto.

7.3. Abono orgánico

Según el Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (2010), el abono orgánico es el proceso de descomposición en presencia de oxígeno (aeróbica) y control de temperatura de residuos orgánicos a través de poblaciones de microorganismos, que existen en los residuos, bajo condiciones controladas, y que producen un material parcialmente estable de lenta descomposición.

Es importante mencionar, que para la elaboración de abonos orgánicos se deben usar productos que procedan de origen animal o vegetal, con el fin de garantizar que son inocuos, además deben transformarse bajo un método de compostaje, entre los métodos de compostaje se mencionan: los aeróbicos y los anaeróbicos.

En referencia a la producción y uso de abono orgánicos, mencionan Ormeño y Ovalle (2007) son una alternativa económica para los pequeños y medianos productores, sin embargo, se debe estandarizar la producción para que la calidad de los mismos se mantenga en el tiempo.

Por lo tanto, para la producción de abonos orgánicos es imprescindible controlar los parámetros más imprescindibles entre estos: macronutrientes, micronutrientes, relación C/N y el más importante es el contenido de materia orgánica que generalmente deberá ser mayor al 40 %.

7.3.1. Tipos de abonos orgánicos

Existe gran variedad de abonos orgánicos, entre estos se pueden mencionar: compost, bokashi y los abonos verdes, es importante mencionar que, en todos, la acción de fabricación de los microorganismos es imprescindible para

la preparación. Asimismo, estos tipos van variando, según el método de elaboración que se efectuó y la clase de materia prima que se usa.

7.3.2. Ventaja de utilizar abono orgánico

Algunas de las ventajas del uso de abonos orgánicos están las siguientes:

- Mejoran las propiedades físicas del suelo: esto se logra a la gran cantidad de materia orgánica que contribuyen al suelo mejorando la porosidad, permeabilidad lo que eleva la capacidad de retención del agua.
- Mejoran las propiedades químicas: refiere a los abonos orgánicos que además de contener macronutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio de igual forma aportan micronutrientes al suelo como; el boro, zinc, magnesio, entre otros, esto eleva la capacidad de retener nutrientes para que sean disponibles a los cultivos.
- Mejoran la actividad biológica del suelo: porque el abono orgánico actúa como alimento para los microorganismos que habitan en el suelo.

7.4. Pruebas físicas y químicas

Las pruebas físicas y químicas son realizadas a los materiales que requieren ser evaluados, siguiendo los procedimientos establecidos para establecer la composición.

Menciona Vargas y Alvaro (2013), que con el uso de pruebas físicas y químicas se logra la caracterización de los productos evaluados para poder ser comparados entre sí y con otros tipos de producto.

7.4.1. Análisis de humedad

Para Martines y Lira (2010), el análisis de la humedad se usa para describir la cantidad de agua que tienen los materiales o sustancias. Uno de los métodos para establecer la humedad es, el uso de balanzas determinadoras de humedad, la forma en que estas funcionan es: colocando la cantidad del material que se desea conocer, la balanza calienta la muestra para que esta pierda su humedad y realice una comparación con el peso inicial de la muestra con el peso final, revelando el porcentaje de agua que se perdió en el proceso y este es el resultado del análisis de humedad en la muestra.

La ecuación para el cálculo es:

$$\frac{m1 - m2}{m2} * 100$$

Donde:

m1= masa inicial

m2= masa final, resultante después del secado en la balanza determinadora de humedad.

7.4.2. Peso volumétrico

También es conocido como peso específico, es definido como el peso de la sustancia por unidad de volumen, esto es el resultado de dividir un peso conocido entre un volumen conocido.

La ecuación para calcular es:

$$\rho = \frac{m(Kg)}{V(m^3)}$$

Donde

$m=$ es el peso del volumen conocido

$v=$ es el volumen conocido, regularmente se usan recipientes de 1 litro

7.4.3. Granulometría

Es la prueba efectuada a los productos con gránulos de manera legamosa y el cálculo de la presencia que corresponde a los distintos tamaños considerados por una escala de tamices con el objetivo de analizar el origen de las propiedades mecánicas.

Nogués, Garcia-Galindo, y Rezeau (2010), describen la manera de realizar la caracterización de la granulometría, se realiza por cribado sucesivo de la biomasa, y los resultados pueden presentarse como variables estadísticas (tamaño promedio y dispersión), como porcentaje en masa de cada uno de los intervalos.

7.4.4. Poder calorífico

Ayala, Aparicio, y García (2016), definen el poder calorífico como la cantidad de calor liberado por la combustión completa a condiciones estándar establecidas por cada país de una unidad de volumen del gas a condiciones de referencia normal en el caso de Europa (273,15 K y 1013,25 mbar) y estándar para el caso de Estados Unidos (288,15 K y 1013,25 mbar).

Asimismo, esta puede presentarse de dos maneras diferentes:

- Poder calorífico inferior (PCI): es el resultante de asumir que, el agua producto de la combustión está en estado de vapor.

- Poder calorífico superior (PCS): refiere al agua resultante de la combustión se encuentra en estado líquido.

7.5. Costos

Sepúlveda (2019) define el costo como, un recurso sacrificado para obtener un bien o un servicio. Es importante mencionar que, entre las funciones básicas de las empresas están: crear y entregar un producto o servicio de calidad, elevar las ventas con una buena gestión. Administrativamente es imprescindible el control en la ejecución de los costos.

En referencia a los costos, estos se distinguen de los gastos porque se recuperan y los gastos no, es decir, que el costo es una inversión imprescindible para producir un producto y el gasto es el dinero el cual se desembolsa para efectuar las actividades necesarias en la producción de los productos. Para establecer los costos de producción de vapor en la planta de abono orgánico es imprescindible considerar distintos costos como:

- Costo de la caldera.
- Costo de Instalación.
- Años de vida de la caldera.
- Gastos de mantenimiento.
- El rendimiento medio.
- Precio del combustible.
- Rendimiento del combustible.
- Pérdidas de calor en el proceso.

Thermal Engineering LTDA (2020), refiere la producción de vapor y consumo de combustibles como, el consumo de combustible es proporcional a la demanda de vapor del sistema, para lo cual se calcula con la ecuación descrita en la siguiente figura.

Figura 6. **Ecuación para el consumo de combustible**

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{m}_{vapor} \cdot (h_V - h_{AA}) \cdot 10000}{PCS \cdot \eta}$$

Donde:

- \dot{m}_{comb} : Consumo de combustible (kg/h)
- \dot{m}_{vapor} : Producción de vapor (ton/h)
- h_V : Entalpía del vapor saturado a la presión de trabajo de la caldera (kJ/kg)
- h_{AA} : Entalpía del agua de alimentación (= 105 kJ/kg @ 25°C)
- PCS : Poder calorífico superior del combustible (kJ/kg)
- η : Eficiencia de la caldera respecto al PCS (%)

Fuente: Thermal Engineering LTDA (2020). *Precio de Generación de Vapor.*

Los costos anteriores dependerán de las variables siguientes:

- Consumo y precio de los combustibles.
- Consumo y precio de productos químicos utilizados para los procesos.
- Consumo y precio del agua utilizada.
- Consumo y precio de la energía eléctrica.
- Costos de mantenimiento.

Para Thermal Engineering LTDA (2020) el 90 % de costos de la generación de vapor pertenecen al combustible, para establecer el costo de la generación de vapor se usará la ecuación descrita en la siguiente figura.

Figura 7. **Ecuación para determinar el costo del vapor**

$$PV = \frac{(h_V - h_{AA})}{PCS \cdot \eta} \cdot PC \cdot 100 + PQ + A + EE + OM$$

Donde:

- PV : Costo del vapor (\$/kg vapor)
- PC : Precio combustible (\$/kg combustible)
- PQ : Costo de consumo de productos químicos (\$/kg vapor)
- A : Costo de consumo de agua (\$/kg vapor)
- EE : Costo de consumo de energía eléctrica (\$/kg vapor)
- OM : Costo de operación y mantención (\$/kg vapor)

Fuente: Thermal Engineering LTDA (2020). *Precio de Generación de Vapor*.

7.5.1. Clasificación de costos

Existen distintos textos para la clasificación de los costos, Sepúlveda (2019), los clasifica como costos generales tomando como referencia solo los elementos del producto: los materiales directos, la mano de obra directa y los Costos Indirectos de Fabricación (CIF).

7.5.2. Elementos de un producto

La clasificación según los elementos de un producto se divide en materiales, mano de obra y costos indirectos.

- **Materiales:** para Sepúlveda (2019), son los recursos principales para la elaboración de un producto y se clasifican en directos e indirectos. Los primeros pueden ser identificados en la fabricación del producto y representan el costo más importante entre los materiales necesarios para la elaboración.
- **Mano de obra:** continua Sepúlveda (2019), describiendo que es el esfuerzo físico o mental empleado en la fabricación de un producto o en la prestación de un servicio.
- **Costos indirectos de fabricación:** para Sepúlveda (2019) se relacionan para registrar los costos que no pueden ser identificados en el proceso de los productos específicos.

7.5.2.1. Relación con la producción

Los costos relacionados con la producción se centran en dos tipos, los cuales se describen a continuación:

- **Costos primos:** definidos por Sepúlveda (2019), como los materiales y mano de obra directa que están relacionados de forma directa con la producción.
- **Costos de conversión:** para Sepúlveda (2019), son los costos relacionados con la transformación de los productos directos en productos finales en donde se integra la mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación.

7.5.2.2. Relación con el volumen

Los costos relacionados con el volumen son parte de los elementos de un producto, estos cambian según el tamaño de producción y pueden clasificarse en fijos variables y mixtos.

- Costos variables: para Sepúlveda (2019), tienen variación proporcional directa con el volumen, en donde el costo unitario variable se mantiene constante.
- Costos fijos: no presentan alguna variación en el total, provocada por los volúmenes de venta o producción, son variados de manera unitaria debido a que no dependen del volumen.
- Costos mixtos: estos presentan la peculiaridad de contener, costos fijos y variables al mismo tiempo.

7.6. Técnicas de análisis de información

Entre las técnicas para evaluar y analizar la información se usan técnicas de estadística descriptiva como; distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y medidas de variabilidad.

7.6.1. Distribución de frecuencias

Para Hernández, Fernández y Baptista (2010), la distribución de frecuencias engloba un conjunto de puntuaciones respecto de una variable ordenadas en sus categorías correspondientes. Por lo tanto, con el uso de la distribución de

frecuencias se facilita el resultado de información de los datos de las pruebas y análisis realizados de manera ordenada.

7.6.2. Medidas de tendencia central

Hernández, Fernández y Baptista (2010), las describe como puntos en una distribución lograda, los valores medios o centrales de esta, y ayuda a ubicarla dentro de la escala de medición de la variable analizada. Entre los puntos se pueden mencionar los siguientes:

- **Moda:** corresponde al valor o categoría que se repite, la mayor cantidad de veces en los datos analizados.
- **Mediana:** refiere a la división de los datos analizados por la mitad.
- **Media:** corresponde al promedio aritmético de los datos analizados de una distribución.

7.6.3. Medidas de variabilidad

Para Hernández (2010), las medidas de variabilidad son la dispersión de los datos en la escala de medición de la variable considerada. Es preciso resaltar que, se usarán con el objetivo de determinar la diseminación de las puntuaciones y valores logrados de los análisis realizados en las pruebas que se efectuarán durante la investigación.

Hernández, Fernández y Baptista (2010), entre las medidas de variabilidad están:

- Rango: es conocido como recorrido, es la diferencia la puntuación mayor y la puntuación menor de los datos analizados.
- Desviación estándar: conocido como el promedio de la desviación de las puntuaciones en referencia a la media.
- La varianza: para determinarla se eleva la desviación estándar al cuadrado y es representada como S^2 .

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO REFERENCIAL

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Estructura organizacional
- 1.3. Misión
- 1.4. Visión
- 1.5. Valores

2. MARCO TEÓRICO

- 2.1. Caldera
 - 2.1.1. Clasificación según la disposición de los fluidos
 - 2.1.1.1. Calderas acuotubulares
 - 2.1.1.2. Caldera pirotubulares
 - 2.1.2. Clasificación de las calderas por su tecnología
 - 2.1.2.1. Calderas de agua caliente
 - 2.1.2.2. Calderas de agua sobrecalentada
 - 2.1.2.3. Calderas de fluido térmico

- 2.1.2.4. Calderas de vapor
 - 2.1.3. Combustibles utilizados en las calderas
 - 2.1.3.1. Biomasa
 - 2.1.3.1.1. Grupos de la biomasa
 - 2.1.3.1.2. Tipos de biomasa
 - 2.2. Huella de carbono
 - 2.3. Abono orgánico
 - 2.3.1. Tipos de abonos orgánicos
 - 2.3.2. Ventaja de utilizar abono orgánico
 - 2.4. Pruebas físicas y químicas
 - 2.4.1. Análisis de humedad
 - 2.4.2. Peso volumétrico
 - 2.4.3. Granulometría
 - 2.4.4. Poder calorífico
 - 2.5. Costos
 - 2.5.1. Clasificación de costos
 - 2.5.1.1. Elementos de un producto
 - 2.5.1.2. Relación con la producción
 - 2.5.1.3. Relación con el volumen
 - 2.6. Técnicas de análisis de información
 - 2.6.1. Distribución de frecuencias
 - 2.6.2. Medidas de tendencia central
 - 2.6.3. Medidas de variabilidad
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES
RECOMENDACIONES
ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación se realiza sobre la utilización de pollinaza como combustible para una caldera de biomasa, con el fin de producir vapor estable a un menor costo de lo que se hace actualmente, donde el combustible utilizado es con astillas de madera, en una planta dedicada a la producción de abono orgánico.

9.1. Características del estudio

El enfoque del estudio es cuantitativo ya que se evaluarán múltiples variables como: precio, humedad, poder calorífico, inferior de las biomasas analizadas que se usan como combustible en la caldera.

El alcance de la investigación es descriptivo, porque se analizarán distintas variables como: consumo de biomasas, vapor generado y demanda, poder calorífico de las biomasas, huella de carbono y la comparación para el estudio de la utilización de pollinaza como combustible en calderas de biomasa.

El diseño adoptado será experimental, porque se realizarán distintas pruebas en la caldera para determinar el % de pollinaza óptimo, que se puede utilizar para mejorar la producción de vapor y disminuir los costos por combustible utilizados en la caldera.

9.2. Unidades de análisis

La población en estudio será la biomasa utilizada como combustible en la caldera para la generación de vapor en una planta de abono orgánico. Las biomásas analizadas serán: astillas de madera y pollinaza.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla VI. **Variables de estudio**

Variable	Definición teórica	Definición operativa
Poder calorífico Inferior.	Es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.	1) Energía/masa de combustible (kJ/kg)
		2) Energía/volumen de combustible (kJ/m ³)
		3) Energía/mol de combustible (kJ/mol)
Disponibilidad de Pollinaza.	Es la pollinaza generada por las granjas de engorde mensualmente que ingresa a la planta de abono orgánico.	Se medirá por qq/mensuales de pollinaza.
Humedad.	Es la cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de materia que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación.	Peso húmedo = GN
		Peso en seco = GT
		Contenido seco = T
		Contenido de agua = M
		$T[\%] = \frac{GT[g]}{GN[g]} \times 100$
$M[\%] = 100 - T$		

Continuación de la tabla VI.

Granulometría	Es la distribución de las partículas dentro de una muestra determinada, clasificada según el tamaño de las partículas expresa en %	Se expresa en % según el tamaño de los tamices utilizado del total de la muestra.
Costos	Análisis de los factores económicos que intervienen para la producción de vapor e la caldera de biomasa	Q/Unidades de vapor generado
Huella de carbono	Describe el impacto total, que una organización tiene sobre el clima a raíz de la emisión de Co ²	Factor de emisión de [t CO ₂ /TJ o t o m ³]
Rendimiento nominal y calidad de vapor	tiene una definición análoga, pero utilizando la potencia calorífica nominal de la caldera	$\eta_n = \frac{\dot{Q}_n}{\dot{Q}_c}$ $\eta_n = \frac{\dot{m}_v (h_v - h_w)}{\dot{m}_c PCI}$

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

Para el estudio se realizará: análisis de laboratorio en los que se evaluará humedad, poder calorífico y granulometría de la biomasa además se realizarán

ensayos en la caldera, donde se utilizan diferentes mezclas de biomasa entre pollinaza y astillas de madera.

La investigación se dividirá en cinco fases:

- Fase I: revisión de literatura y recolección de datos

En esta fase se analizará y clasificará toda la bibliografía disponible, además se recolectarán datos de consumo de biomasa en la caldera, generación de vapor de la caldera y demanda en la planta.

- Fase II: análisis de laboratorio

Aquí se realizarán pruebas de laboratorio para determinar el: poder calorífico, humedad, granulometría de las astillas de madera y la pollinaza.

- Fase III: análisis e interpretación de resultados

En esta fase se realiza el análisis de los diferentes ensayos y análisis realizados para determinar la eficiencia de la utilización de astillas de madera como combustible en la caldera, la comparativa para la eficiencia se realizará entre combustible utilizado contra vapor generado, comparando las astillas de madera con la pollinaza.

- Fase IV: realizar pruebas en caldera

Con base a los datos obtenidos y analizados en las fases anteriores, donde se determinaron las características y eficiencia del uso de astilla de madera se

iniciará con la fase de pruebas en campo, directamente en la caldera donde se iniciará con 10 % de pollinaza y 90 % de astillas utilizado como combustible, y gradualmente se estará aumentando en 10 % la pollinaza utilizada y se disminuirá en la misma proporción las astillas de madera hasta alcanzar la mezcla óptima, en costo y producción de vapor.

- Fase V: realizar propuesta

Con base a los datos obtenidos y analizados en la fase anterior, se realizará una propuesta sustentada por el análisis de costos y producción de vapor, en la que se incluirán las diferentes alternativas para la utilización de la pollinaza como combustible en la caldera.

10. TÉCNICAS ANÁLISIS INFORMACIÓN

Entre las técnicas para evaluar y analizar la información se utilizan técnicas de estadística descriptiva.

Para el análisis de la información se utilizará la distribución de frecuencias que facilitará la obtención de información de los datos de las pruebas y análisis realizados de forma ordenada. Las pruebas que se realizarán y la organización de resultados son: peso volumétrico, granulometría, humedad, consumos, producción de vapor.

Las medidas de tendencia central que se utilizarán son:

- La moda: se determinará el dato con mayor frecuencia absoluta dentro de la muestra.
- La media: se determinará el promedio donde, se encuentran las diferentes variables que se analizarán entre estas: poder calorífico, humedad y granulometría de las muestras de pollinaza y astillas de madera.
- La mediana: se utilizará para devolver la tendencia central en el caso de distribuciones numéricas sesgadas.

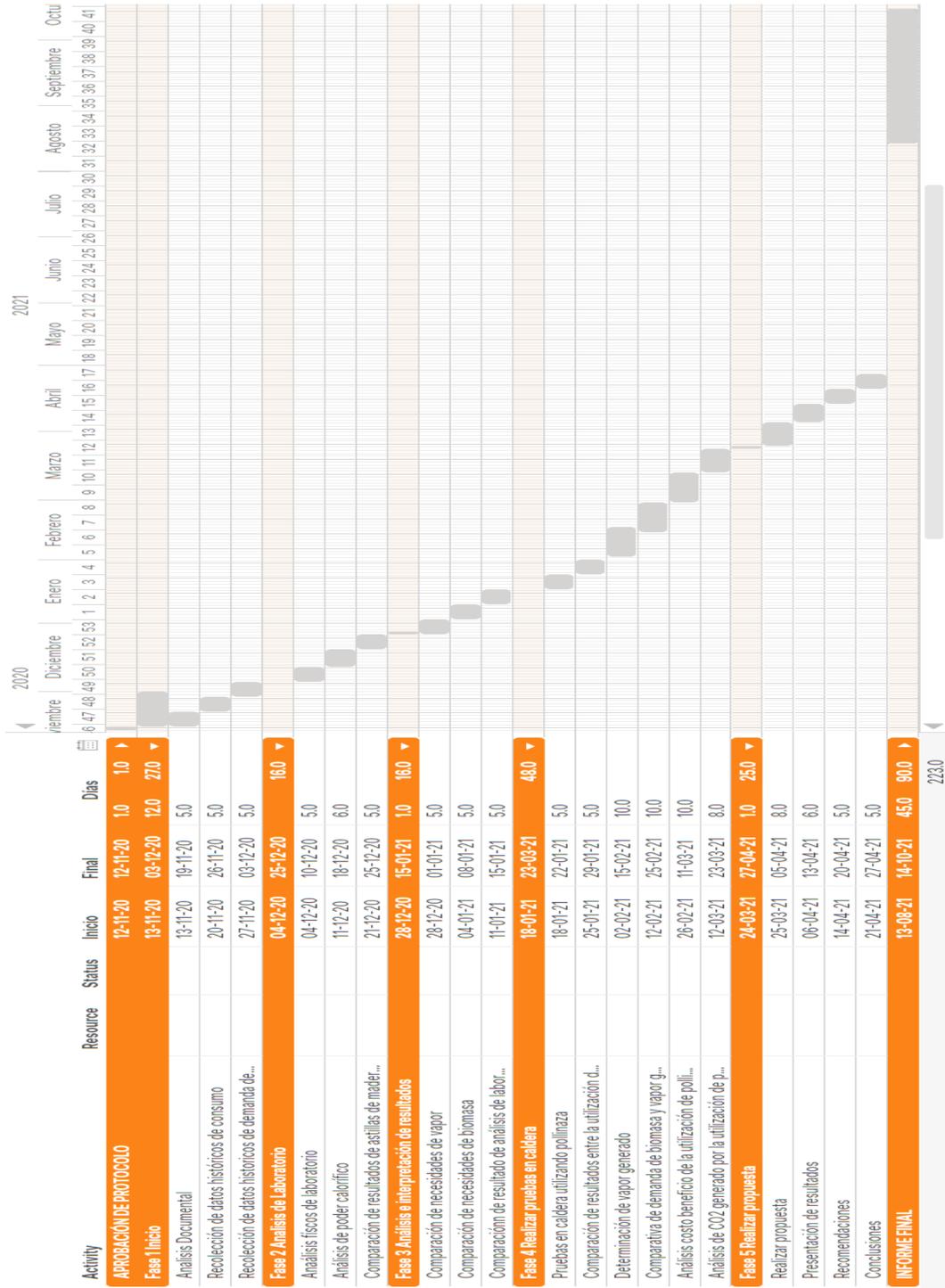
Con estas medidas se podrá determinar la tendencia de los resultados obteniendo la realización de las pruebas en la caldera con el fin de determinar la constancia de la calidad de las materias primas analizadas.

Las medidas de variabilidad tienen el fin de determinar la diseminación de las puntuaciones y valores obtenidos de los análisis realizados durante las pruebas que se realizarán durante la investigación.

11. CRONOGRAMA

El cronograma que se presenta a continuación es una lista de todas las tareas, con las fechas previstas de duración, comienzo y final, es un esquema en el que se distribuye y organiza en forma de secuencia temporal el conjunto de actividades diseñadas a lo largo del presente proceso.

Figura 8. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La ejecución del proyecto es factible, ya que se cuenta con la autorización de la gerencia de planta para la elaboración del proyecto y se brindará toda la información necesaria además de autorizar el uso del laboratorio de calidad para realizar los análisis.

12.1. Recursos necesarios

Teniendo la autorización de la gerencia de planta se necesitarán los siguientes recursos:

- Humanos: disponibilidad de personal para compartir la información necesaria y personal operativo para realizar las pruebas en calderas.
- Tecnológicos: utilización de computadora con acceso a internet.
- Infraestructura y equipos: en infraestructura se necesita una oficina y en equipo los instrumentos para la realización de análisis en el laboratorio, entre los cuales se encuentran, balanzas, determinadores de humedad, recipientes.
- Información: accesos a datos de consumo y producción de vapor en el área de calderas.

Los costos de la investigación se detallan continuación, donde el 35 % de los mismos serán cubiertos por el investigador y el 65 % restante por la empresa donde se realizará la investigación.

Tabla VII. **Costos del proyecto**

1	Humano	Tiempo de investigador	Q1 300,00	Mes	6	Q7 800,00	35 %
2	Humano	Asesor	Q0,00	Mes	6	Q0,00	0 %
3	Alimentación	Alimentación	Q300,00	Mes	6	Q1 800,00	8 %
4	Transporte	Combustible y depreciación	Q1 100,00	Mes	6	Q6 600,00	29 %
5	Material y útiles	papelería y útiles	Q130,00	Mes	6	Q780,00	3 %
	Servicio de internet	Internet	Q300,00	Mes	6	Q1 800,00	8 %
6	Análisis de laboratorio externos	análisis de poder calorífico	Q1 200,00	Unidad	3	Q3 600,00	16 %
Total						Q22 380,00	100 %

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Acevedo, N., Dávalos, J. y Torres, F. (febrero, 2015). Importancia de la calidad certificada de la leche bovina para consumidores del área metropolitana de la ciudad de México. *Revista de Agrociencia*, 49(1), 101-112. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v49n1/v49n1a8.pdf>
2. Asociación Española de Valoración Energética de la Biomasa (2008). *Manual de combustibles de madera*. Valladolid: Autor. Recuperado de <https://docplayer.es/11944307-Manual-de-combustibles-de-madera-produccion-requisitos-de-calidad-comercializacion.html>
3. Ayala, E., Aparicio, A. y García, C. (noviembre, 2016). Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. *Revista ION*, 29(2), 87-99. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/3420/342050982008.pdf>
4. Estrada, C. y Meneses, A. (agosto, 2004). Gasificación de biomasa para producción de combustibles de bajo poder calorífico y su utilización en generación de potencia y calor. *Revista Scientia Et Technica*, 2(25), 155-159. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7229/4237>

5. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2015). *Guía básica calderas industriales eficientes*. Madrid: Autor. Recuperado de http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicjlg/biblio_sin_paredes/fac_ing/Quimica/cald_efi_indus.pdf
6. Gabriels, D. y Lobo, D. (enero, 2006). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Revista Venesuelos*, 14(1), 37-48. Recuperado de <http://saber.ucv.ve/handle/123456789/4149>
7. Heizer, J. y Render, B. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson educación.
8. Hernández, R, Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F, México: McGraw-Hill.
9. Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola (2010). *Elaboración de Abonos Orgánicos Sólidos, Tipo Compost*. Quetzaltenango: Autor. Recuperado de: <https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Suelos/abonosOrganicos.pdf>
10. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. (1999). *Plan de fomento de las energías renovables en España*. Madrid: Autor. Recuperado de: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_4044_pfer2000-10_1999_1cd4b316.pdf

11. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. (2020). *Los Abonos Orgánicos, beneficios, tipos y contenidos nutrimentales*. Celaya: Autor. Recuperado de <https://www.intagri.com/articulos/agricultura-organica/los-abonos-organicos-beneficios-tipos-y-contenidos-nutrimentales>
12. Martínez, E. y Lira, L. (octubre, 2010). Análisis y aplicación de las expresiones del contenido de humedad en sólidos. *Simposio de metrología 2010*. Simposio llevado a cabo en Querétaro, México. Recuperado de: <http://cenam.mx/sm2010/info/pviernes/sm2010-vp01b.pdf>
13. Murillo, T. (Julio, 1999). Alternativas del uso de la gallinaza. *XI Congreso Agronómico nacional y de recursos naturales*. Congreso llevado a cabo en San Jose, Costa Rica. Recuperado de http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_427.pdf
14. Nogués, F., Garcia, D., Galindo, D., y Rezeau, A. (2010). *Energía de la Biomasa*. Zaragoza, España: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
15. Ormeño, M. y Ovalle, A. (diciembre, 2007). Preparación y aplicación de abonos orgánicos. *Revista Ciencia y Producción vegetal*, 1(2), 29-34. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Maria_Ormeno/publication/273321490_Preparacion_y_aplicacion_de_abonos_organicos/links/54fe8aee0cf2eaf210b32c72.pdf

16. Portero, H. (2018). *Estudio experimental de paletizado en planta piloto y combustión en caldera de biomasa a baja potencia*. (Tesis doctoral). Universidad de Castilla-La Mancha, España. Recuperado de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/18416/TESIS%20Portero%20Gonz%c3%a1lez.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
17. Romero, A. (junio, 2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 104(2), 331-345. Recuperado de <https://rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
18. Sepúlveda, L. (2019). *Manual para la asignatura de costos empresas de producción y servicios*. Medellín, Colombia: Corporación Universitaria Remington.
19. Thermal Engineering LTDA. (2020). *Costo de generación de vapor*. Santiago de Chile: Autor. Recuperado de http://www.thermal.cl/docs/articulos_tecnicos/arti__culo___precio_generacio__n_vapor.pdf.
20. Valderrama, J., Espinola, C. y Quezada, R. (marzo, 2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar ausente en Cursos de ingeniería y ciencias. *Revista formación universitaria*, 4(3), 3-12.
21. Vargas, L., Y Álvaro, P. (enero, 2013). Caracterización del subproducto cascarilla de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos. *Revista científica*, 23(1), 86-101.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Matriz de coherencia**

Nombre proyecto/problema: pollinaza como combustible para generar vapor en caldera de planta de abono orgánico para reducir costos, garantizar el abastecimiento de biomasa y el monitoreo del impacto ambiental de su uso.

Problemas	Objetivos	Metodología	Resultados Esperados
<p>Pregunta General</p> <p>¿Cuál será el desempeño al utilizar la pollinaza como biomasa en la caldera para resolver los problemas de abastecimiento de combustible y su impacto en la reducción de costos?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Comprobar que el uso de la pollinaza como combustible es factible en la caldera, reduciendo costos, garantizado el abastecimiento de la biomasa y monitoreando el impacto ambiental, en la planta de abono orgánico.</p>	<p>Tipo de investigación: descriptiva.</p> <p>Técnicas: cuantitativas.</p> <p>Instrumentos: estudio experimental, investigación bibliográfica.</p> <p>Como: análisis de información</p> <p>Cuando: durante el tiempo de ejecución de del proyecto.</p> <p>Dónde: en planta de fertilizantes.</p> <p>Con que recursos: humano, físico, financiero, tiempo.</p>	<p>Determinar la posibilidad de la utilización de la pollinaza como combustible en la caldera de biomasa.</p>

Continuación de apéndice 1.

<p>Pregunta Auxiliar 1</p> <p>¿Cómo el uso pollinaza garantizará el abastecimiento de la caldera con producto de humedad estable?</p>	<p>Objetivo Especifico 1</p> <p>Identificar los parámetros de consumo de biomasa en la caldera y disponibilidad de pollinaza anuales en planta para garantizar el abastecimiento con producto de humedad controlada.</p>	<p>Tipo de investigación: descriptiva.</p> <p>Técnicas: cuantitativas.</p> <p>Instrumentos: estudio experimental, investigación bibliográfica.</p> <p>Como: análisis de información recolectada con análisis de distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y medidas de variabilidad.</p> <p>Cuando: durante el tiempo de ejecución de del proyecto</p> <p>Dónde: en planta de fertilizantes</p> <p>Con que recursos: humano, físico, financiero, tiempo</p>	<p>Cantidad de quintales de consumo mensual de pblilio ollinaza y disponibilidad de materia prima anual.</p>
--	---	--	--

Continuación de apéndice 1.

Pregunta Auxiliar 3	Objetivo Especifico 3	Tipo de investigación:	
<p>¿Cómo se impactará en los costos de la producción de vapor utilizando pollinaza como biomasa en la caldera?</p>	<p>Determinar si el uso de la pollinaza en la caldera como biomasa disminuirán los costos de la producción de vapor.</p>	<p>Descriptiva</p> <p>Técnicas: cuantitativas.</p> <p>Instrumentos: estudio experimental, investigación bibliográfica.</p> <p>Como: análisis de costos de forma comparativa entre la utilización de astillas de madera y pollinaza como combustible en caldera de biomasa.</p> <p>Cuando: durante el tiempo de ejecución de del proyecto.</p> <p>Dónde: en planta de fertilizantes.</p> <p>Con que recursos: humano, físico, financiero, tiempo.</p>	<p>Conocer la cantidad de ahorro anual que se obtendrá con la utilización de la pollinaza y el flujo de efectivo del proyecto.</p>

Continuación de apéndice 1.

<p>Pregunta Auxiliar 4</p> <p>¿Cómo impactara la utilización de pollinaza en la huella de carbono ocasionada por la combustión de pollinaza en la caldera?</p>	<p>Objetivo Especifico 4</p> <p>Determinar el impacto de la huella de carbono ocasionada por la combustión de pollinaza en la caldera comparada con la combustión de astillas de madera.</p>	<p>Tipo de investigación: descriptiva.</p> <p>Técnicas: cuantitativas</p> <p>Instrumentos: estudio experimental, investigación bibliográfica.</p> <p>Como: análisis de información de la bibliografía sobre de CO² recolectada y determinación de parámetros de forma comparativa.</p> <p>Cuando: durante el tiempo de ejecución de del proyecto.</p> <p>Dónde: en planta de fertilizantes.</p> <p>Con que recursos: humano, físico, financiero, tiempo.</p>	<p>Determinar la cantidad medidos en unidades de dióxido de carbono equivalente por la utilización de pollinaza como combustible.</p>
---	---	--	---

Continuación de apéndice 1.

<p>Pregunta Auxiliar 5</p> <p>¿Cuál es la variación de contenido de macronutrientes (NPK) de la ceniza resultante de la combustión de la pollinaza?</p>	<p>Objetivo Especifico 5</p> <p>Determinar el contenido nutricional de macronutrientes (NPK), de la ceniza resultante de la combustión y el impacto en el mejoramiento del abono orgánico, para minimizar los desechos generados.</p>	<p>Tipo de investigación: descriptiva.</p> <p>Técnicas: cuantitativas.</p> <p>Instrumentos: estudio experimental, investigación bibliográfica.</p> <p>Como: análisis de macro y micronutrientes de la ceniza resultante con análisis de distribución de frecuencias, medidas de tendencia central y medidas de variabilidad.</p> <p>Cuando: durante el tiempo de ejecución de del proyecto.</p> <p>Dónde: en planta de fertilizantes.</p> <p>Con que recursos: humano, físico, financiero, tiempo.</p>	<p>Cantidad de Macronutrientes de la ceniza resultante de la combustión y el impacto de la utilización como fertilizante.</p>
--	--	---	---

Fuente: elaboración propia.

