



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS
RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE TRIGO Y
PAJA DE CEBADA ENRIQUECIDOS CON NANOPARTÍCULAS
DE CELULOSA COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGÍA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JOHANA NATHALY HUARACA SAGÑAY

DIRECTOR: Dr. ROBERT ALCIDES CAZAR RAMÍREZ MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

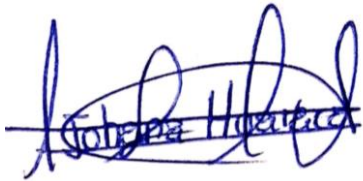
©2022, Johana Nathaly Huaraca Sagñay

Se autoriza la reproducción total o parcial con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del autor.

Yo, JOHANA NATHALY HUARACA SAGÑAY declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 08 de diciembre de 2022


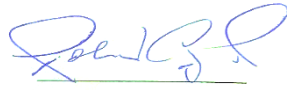

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Johana Nathaly Huaraca Sagñay', with a horizontal line drawn through the middle of the signature.

Johana Nathaly Huaraca Sagñay

060560850-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE TRIGO Y PAJA DE CEBADA ENRIQUECIDOS CON NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA COMO UNA ALTERNATIVA DE ENERGÍA**, realizado por la señorita **JOHANA NATHALY HUARACA SAGÑAY**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Adrián Alejandro Rodríguez Pinos MGs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-08
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-08
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MGs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-08

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación hecho con mucho esfuerzo lo dedico con cariño y amor a mis padres Milton, Carmen y a mis hermanos (Ronys y Maykel) ya que ellos han sido el pilar fundamental en mi vida, estuvieron a mi lado incondicionalmente brindándome todo su apoyo y consejos para hacer de mí una mejor persona. A mis tíos quienes con sus palabras de aliento y enseñanzas me han brindado su respaldo para seguir adelante con este sueño tan anhelado.

Johana

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haber permitido culminar este sueño tan anhelado, al Dr. Robert Cazar, a la Ing. Mabel Parada y al grupo de investigación GIMA por su confianza al permitirme ser parte de este proyecto de investigación y ser mis guías para el desarrollo y culminación del mismo. A la Ing. Georgina Olalla por haber permitido utilizar su laboratorio en todo momento. También agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) por haber permitido terminar mis estudios de tercer nivel. Y por último quiero agradecer de todo corazón a mis amigos Valeria, Tamyá, David, Amarilis, y Pamela por estos años de amistad y estar siempre ahí en las buenas y en las malas compartiendo las experiencias más grandes y maravillosas de la vida.

Johana

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xivv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.1. <i>Limitaciones de estudio</i>	2
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.3. Problema general de la investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de la investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	4
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	4
1.7. Hipótesis	5
1.7.1. <i>Hipótesis nula</i>	5
1.7.2. <i>Hipótesis alternativa</i>	5

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes de investigación	6

2.2.	Referencias teóricas	7
2.2.1.	<i>Biomasa</i>	7
2.2.2.	<i>Clasificación de biomasa</i>	7
2.2.3.	<i>Tipo de biomasa</i>	8
2.2.3.1.	<i>Según su origen</i>	8
2.2.3.2.	<i>Según su estado</i>	9
2.2.3.3.	<i>Según su composición</i>	9
2.2.4.	<i>Combustión de biomasa</i>	10
2.2.5.	<i>Propiedades físicas de una biomasa</i>	11
2.2.6.	<i>Propiedades químicas de una biomasa</i>	11
2.2.7.	<i>Propiedades térmicas</i>	12
2.2.8.	<i>Propiedades minerales</i>	12
2.2.9.	<i>Nanopartículas de celulosa</i>	13
2.2.10.	<i>Biocombustibles sólidos</i>	13

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	14
3.1.	Enfoque de investigación	14
3.2.	Nivel de investigación	14
3.2.1.	<i>Investigación exploratoria</i>	14
3.2.2.	<i>Investigación descriptiva</i>	14
3.3.	Diseño de investigación	15
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	15
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	16
3.4.	Tipo de estudio	16
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	16
3.5.1.	<i>Población de estudio</i>	16
3.5.2.	<i>Selección de una muestra</i>	16
3.5.3.	<i>Cálculo de tamaño de muestra</i>	17
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	17
3.6.1.	<i>Análisis proximal</i>	17
3.6.1.1.	<i>Determinación de humedad: Método de Desecación en Estufa de Aire Caliente</i>	17
3.6.1.2.	<i>Determinación de ceniza: Método de incineración en mufla</i>	18
3.6.2.	<i>Determinación de carbono y nitrógeno de la materia prima (cáscara de trigo y paja de cebada)</i>	19

3.6.3.	<i>Obtención de la biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada)</i>	20
3.6.4.	<i>Proceso para la obtención de nanopartículas de celulosa</i>	20
3.6.5.	<i>Calibración de la bomba calorimétrica (GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter)</i>	21
3.6.6.	<i>Determinación del poder calorífico de la biomasa combinada con nanopartículas de celulosa</i>	22
3.6.7.	<i>Elaboración de briquetas</i>	23

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	24
4.1.	Cálculos	24
4.1.1.	<i>Determinación de humedad de los residuos agroindustriales</i>	24
4.1.1.1.	<i>Cáscara de trigo</i>	24
4.1.1.2.	<i>Paja de cebada</i>	25
4.1.2.	<i>Determinación de ceniza de los residuos agroindustriales</i>	25
4.1.2.1.	<i>Cáscara de trigo</i>	25
4.1.2.2.	<i>Paja de cebada</i>	26
4.1.3.	<i>Determinación de la capacidad calorífica de la bomba</i>	27
4.1.4.	<i>Determinación del poder calorífico de las biomásas de cáscara de trigo y paja de cebada</i>	28
4.1.4.1.	<i>Mezcla 1</i>	28
4.1.4.2.	<i>Mezcla 2</i>	29
4.1.4.3.	<i>Mezcla 3</i>	30
4.1.4.4.	<i>Determinación del poder calorífico de la biomasa (muestra 2) combinadas con nanopartículas de celulosa</i>	31
4.2.	Resultados	35
4.2.1.	<i>Análisis proximal</i>	35
4.2.1.1.	<i>Humedad: Método de Desecación en Estufa de Aire Caliente de la cáscara de trigo y paja de cebada</i>	35
4.2.1.2.	<i>Ceniza: Método de incineración</i>	35
4.2.2.	<i>Análisis elemental</i>	36
4.2.3.	<i>Características de las nanopartículas de celulosa mediante un microscopio SEM</i> .	36
4.2.4.	<i>Poder calorífico de la biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada)</i>	37
4.2.4.1.	<i>Cáscara de trigo y paja de cebada</i>	37
4.2.4.2.	<i>Biomásas y nanopartículas de celulosa</i>	38
4.3.	Características de las briquetas de biomasa	40

4.4.	Prueba de hipótesis	41
4.5.	Discusión de resultados	41
	CONCLUSIONES	43
	RECOMENDACIONES	44
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación de biomasas	7
Tabla 2-2:	Tipo de biomasas según su composición.....	9
Tabla 3-2:	Dimensiones de nanopartículas de celulosa	13
Tabla 1-3:	Determinación de humedad.....	18
Tabla 2-3:	Determinación de ceniza de la cáscara de trigo y paja de cebada	19
Tabla 3-3:	Obtención de la biomasa	20
Tabla 4-3:	Calibración de la bomba GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter.....	21
Tabla 5-3:	Determinación de poder calorífico de la biomasa con nanopartículas de celulosa	22
Tabla 6-3:	Elaboración de las briquetas.....	23
Tabla 1-4:	Variación de la temperatura del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter..	27
Tabla 2-4:	Variación de la temperatura 50% de cáscara de trigo y 50% de paja de cebada .	28
Tabla 3-4:	Variación de la temperatura 25% de cáscara de trigo y 75% de paja de cebada .	29
Tabla 4-4:	Variación de la temperatura 75% de cáscara de trigo y 25% de paja de cebada .	30
Tabla 5-4:	Variación de la temperatura 95 % mezcla 2 y 5% de nanopartículas de celulosa	31
Tabla 6-4:	Variación de la temperatura 90 % mezcla 2 y 10% de nanopartículas de celulosa	32
Tabla 7-4:	Variación de la temperatura 80 % mezcla 2 y 20% de nanopartículas de celulosa	33
Tabla 8-4:	Variación de la temperatura 50 % mezcla 2 y 50% de nanopartículas de celulosa	34
Tabla 9-4:	Humedad de los residuos agroindustriales	35
Tabla 10-4:	% de ceniza.....	35
Tabla 11-4:	Resultado de análisis elemental de los residuos agroindustriales.....	36
Tabla 12-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 1	37
Tabla 13-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 2	37
Tabla 14-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 3	37
Tabla 15-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 5% de nanopartículas	38
Tabla 16-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 10% nanopartículas.....	38
Tabla 17-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 20 % de nanopartículas	39
Tabla 18-4:	Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 50 % de nanopartículas	39
Tabla 19-4:	Composición óptima de las briquetas.....	40
Tabla 20-4:	Características físicas de las briquetas.....	40

Tabla 21-4: Prueba t para dos muestras (biomasas y biomasas con nanopartículas de celulosa) suponiendo varianzas iguales	41
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Ruta de combustión de una partícula de biomasa	10
Figura 2-2: Reacción de combustión de la biomasa	11

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Diagrama de flujo de la caracterización de la biomasa	15
Gráfico 2-3:	Selección de la muestra de los residuos	17
Gráfico 1-4:	Espectro FT-IR de la muestra (Nanopartículas de celulosa)	36
Gráfico 2-4:	Diagrama de barras del poder calorífico de las biomosas	38
Gráfico 3-4:	Diagrama de barras del poder calorífico de las biomosas y nanopartículas de celulosa.....	39

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Porcentaje de sustancia seca en masa	18
Ecuación 2-3:	Porcentaje de humedad	18
Ecuación 3-3:	Porcentaje de Ceniza.....	19
Ecuación 4-3:	Determinación de la capacidad calorífica de la bomba	21
Ecuación 5-3:	Poder calorífico de la muestra	22

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** HUMEDAD Y CENIZA DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES
- ANEXO B:** PREPARACIÓN DE LA MUESTRA
- ANEXO C:** DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO
- ANEXO D:** PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS
- ANEXO E:** PROCESO DE ELABORACIÓN DE BRIQUETAS
- ANEXO F:** ANÁLISIS DE CARBONO Y NITRÓGENO
- ANEXO G:** NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA

RESUMEN

El siguiente Trabajo de Integración Curricular tuvo como objetivo determinar el poder calorífico de cáscara de trigo y paja de cebada enriquecidas con nanopartículas de celulosa en los laboratorios de la Facultad de Ciencias para emplearlos como una fuente alternativa de energía. Para el análisis de los residuos se utilizó el análisis elemental donde se realizó pruebas de cantidad de carbono y nitrógeno, tales pruebas se desarrollaron en los laboratorios del grupo de investigación GAIBAQ. Para el análisis proximal se efectuó pruebas de humedad por el método de desecación en estufa de aire caliente y de ceniza se utilizó el método de incineración en mufla, cabe recalcar que estos análisis se hicieron por duplicado y para la elaboración de las briquetas se utilizó una briquetadora manual. A continuación de estas pruebas se realizó las respectivas mezclas (50% de cáscara de trigo y 50% de cáscara de cebada; 25 % de cáscara de trigo y 75% de cáscara de cebada y 75 % de cáscara de trigo y 25% de cáscara de cebada) y se determinó mediante una bomba calorimétrica su poder calorífico. Como resultado se obtuvo que la mezcla número 2 posee un alto poder calorífico (40355.40 J/g) y a partir de esta mezcla se preparó cuatro combinaciones de 5%, 10%, 20% y 50% de nanopartículas de celulosa. Para el análisis de resultados se utilizó un método estadístico que demostró que la hipótesis planteada se niega ya que no hubo ningún aumento de poder calorífico. Se concluyó que los resultados que se obtuvo de las combinaciones de la mezcla 2 y las nanopartículas no son efectivas ya que su poder calorífico disminuyó drásticamente a comparación con el poder calorífico inicial. Se recomienda que los residuos agroindustriales estén con un porcentaje de humedad menor al 5 % para obtener buenos resultados.

Palabras clave: <RESIDUOS AGROINDUSTRIALES>, <BIOMASA>, <BRIQUETAS>, <BIOCOMBUSTIBLE>, <PODER CALORÍFICO>.

0202-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

The following Curricular Integration Work had the objective of determining the calorific value of wheat husk and barley straw enriched with cellulose nanoparticles in the laboratories of the Faculty of Sciences to use them as an alternative source of energy. For the analysis of the residues, the elemental analysis was extracted where carbon and nitrogen quantity tests were carried out in the laboratories of the GAIBAQ research group. For the proximal analysis, humidity tests were conducted by the hot air drying method and for ash, the muffle incineration method was used; it should be emphasized that these analyses were performed in duplicate and a manual briquetting machine was used to make the briquettes. Following these tests, the respective mixtures were made (50% wheat husk and 50% barley husk; 25% wheat husk and 75% barley husk and 75% wheat husk and 25% barley husk) and their calorific value was prolonged by means of a calorimetric pump. As a result, it was obtained that mixture number 2 has a high calorific value (40355.40 J/g) and from this mixture four combinations of 5%, 10%, 20% and 50% of cellulose nanoparticles are prepared. For the analysis of the results a statistical method was used, which showed that the hypothesis is negated since there was no increase in calorific value. It was concluded that the results of the combinations of mixture 2 and the nanoparticles are not effective since their calorific value was drastically decreased as compared to the initial calorific value. It is recommended that the agro-industrial residues had a humidity percentage lower than 5 % to obtain good results.

Key words: <AGROINDUSTRIAL WASTE>, <BIOMASS>, <BRIQUETTES>, <BIOFUEL>, <CALORIFIC POWER>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso, Mgs

Ced:1103696132

INTRODUCCIÓN

En Ecuador la principal actividad de explotación económica es la agricultura ya que ésta ha sido una base de la oferta exportable del país por más de dos siglos. En los últimos años esta actividad ha representado un lugar importante en las industrias de bebidas y alimentos teniendo así un crecimiento del 4.3 %, siendo para el PIB el 39% de la manufactura no petrolera.

A pesar de esta contribución económica existe otra realidad que preocupa al medio ambiente y éstos son los residuos agroindustriales generados por las industrias. Estos residuos agroindustriales son materiales producidos a partir del consumo directo o procesamiento de un producto, sin utilidad posterior. Se estima que el 80% de estos residuos son quemados inapropiadamente, el 15 % sirven como una fuente de alimento para animales, el 4.5 % son reincorporados al suelo sin ninguna descomposición previa y solo el 0.5% de estos son utilizados en industrias de papelería o aglomerados, pero estos residuos agroindustriales contienen un alto potencial que pueden ser aprovechados para la elaboración de innovadores productos (Vargas y Pérez, 2018, pp.59-72).

Con el objetivo de encontrar nuevas alternativas de combatir el calentamiento global se ha explorado diversas alternativas para reemplazar el uso de combustibles fósiles como por ejemplo las biomásas (desechos agrícolas, biomasa forestal) debido a que éstas presentan varias ventajas como la emisión neutral de carbono, fácil combustión o contenido de celulosa por ello su uso se ha incrementado.

En el país una biomasa residual que procede de la actividad agrícola se considera un recurso que se puede utilizar como biocombustible y otros diferentes subproductos, su poder calorífico se podría considerar un ingreso adicional para los agricultores pues al comercializar la cosecha alimentaria también se pueden incluir a los residuos como una fuente de energía o como materia prima (Muñoz et al., 2018, pp.156-163).

Bajo este argumento se proyectó utilizar los residuos (cáscara de trigo y paja de cebada) generados a gran escala en Ecuador para combinarlas con nanopartículas de celulosa y determinar si existe un aumento de poder calorífico para luego ser empleados como materia prima en la elaboración de briquetas, sirviendo como una alternativa de solución a la problemática que hoy representan estos residuos para el ambiente.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Con el aumento exponencial de la población mundial la industria alimentaria se ha visto obligada a producir grandes cantidades de alimentos dando lugar a inmensas cantidades de residuos que provienen de cosechas agrícolas. Un residuo es aquel material que se genera por la actividad humana el cual no tiene ningún valor económico (De Lucas y Rodríguez, 2012, p.27). Estos residuos agroindustriales comúnmente no tienen un tratamiento adecuado o una reutilización y son desechados o quemados inadecuadamente provocando una alta contaminación ambiental (Cury et al., 2017, pp.122-132).

Ecuador es uno de los países con gran producción agrícola por lo que genera significativas cantidades de residuos, pero poco se ha hecho por buscar una alternativa para aprovecharlos de mejor manera. Estos residuos tienen un gran potencial porque poseen una composición que se puede aprovechar (Palacios et al., 2020, pp.28-33).

Por esto, se ha considerado la posibilidad de emplear los residuos de la cáscara de trigo y paja de cebada enriquecidos con nano partículas de celulosa para caracterizarlos y evaluarlos como una fuente alternativa de energía (bioenergía) por medio de la determinación de su poder calorífico.

Este proyecto forma parte de la actividad del Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones de estudio

- La cáscara de trigo y paja de cebada al ser residuos que se dan por temporada se debe considerar el tiempo de cosecha de trigo y cebada y obtener lo suficiente de materia para sus respectivos análisis.
- Para la obtención de las nanopartículas de celulosa de debe seleccionar el tipo de síntesis que se va a realizar ya que el rendimiento requerido debe ser alto.

1.2.2. Delimitaciones

La cáscara de trigo y paja de cebada al ser desechos que se producen en gran cantidad su aprovechamiento se enfoca en utilizarlos como materia prima para la elaboración de briquetas y convertirse en una nueva alternativa de energía.

1.3. Problema general de la investigación

¿Con la combinación de las nano partículas de celulosa y residuos agroindustriales como la cáscara de trigo y paja de cebada se podrá aumentar el poder calorífico de este material?

1.4. Problemas específicos de la investigación

- ¿Con la caracterización del análisis proximal en los residuos agroindustriales se podrá determinar si son fuentes adecuadas para la combinación con nanopartículas de celulosa?
- ¿Con la combinación de biomasa y nanopartículas de celulosa se podrá fabricar briquetas con alto poder calorífico?
- ¿Se podrá determinar si los residuos agroindustriales enriquecidos con nanopartículas de celulosa constituyen una nueva fuente de energía?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar el poder calorífico de la cáscara de trigo y paja de cebada enriquecida con nanopartículas de celulosa en los laboratorios de la Facultad de Ciencias para emplearlos como una fuente alternativa de energía.

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) por medio de un análisis proximal y análisis químico
- Obtener las nanopartículas celulosa para combinarlas con biomasa de cáscara de trigo y paja de cebada.
- Elaborar briquetas de biomasa de cáscara de trigo y paja de cebada con más alto poder calorífico.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

Actualmente la agricultura es una de las áreas que más residuos genera a nivel industrial, al no tener un amplio conocimiento de su aprovechamiento estos residuos son amontonados o eliminados de una forma inadecuada provocando contaminación al ambiente y obstaculizando otras operaciones de cultivo.

El poder calorífico que genera una biomasa se suele medir en términos del contenido energético. En los combustibles el poder calorífico es la cantidad de calorías que produce por la combustión de una unidad de masa de cada elemento, éste suele variar de acuerdo al nivel de humedad ya que cuando se tiene mayor cantidad de humedad el poder calorífico será menor, en el caso de las biomásas es esencial que el contenido de humedad sea inferior al 30% ya que un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión (Biomass, 2002).

Por ello el presente proyecto de investigación va dirigido a la utilización de biomásas enriquecidos con nano partículas de celulosa para evidenciar o no el aumento del poder calorífico.

1.6.2. Justificación metodológica

Para esta investigación se necesitará utilizar la bomba calorimétrica puesto que es un equipo que nos permite determinar el poder calorífico de muestras combustibles tanto sólidas como líquidas. Para determinar la energía por medio de la bomba calorimétrica se ejecuta una combustión de la muestra por medio de una ignición del conducto eléctrico que está conectado a una bomba con O₂. Este equipo es útil para la medición de calor a nivel de un laboratorio ya que facilita la realización de dichas pruebas permitiendo saber una eventual pérdida o ganancia de calor.

1.6.3. Justificación práctica

Debido al bajo costo y elevada disponibilidad que tiene los residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada), algunas investigaciones se han enfocado en desarrollar nuevas alternativas tecnológicas para utilizar este tipo de residuos como materia prima para la producción de biocombustibles, productos químicos, pulpas, etc.

Lo que se persigue en esta investigación al determinar el poder calorífico de residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) enriquecidos con nanopartículas de celulosa para valorar su potencial como materia prima para la elaboración de productos tales como briquetas que son biocombustibles 100% ecológicos que no producen ceniza y pueden ser utilizadas en diferentes áreas como chimeneas, estufas, hornos calderas, etc.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis nula

Con la combinación de residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) y nanopartículas de celulosa si se podrá aumentar el poder calorífico para considerarla como nueva fuente de energía.

1.7.2. Hipótesis alternativa

Con la combinación de residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) y nanopartículas de celulosa no se podrá aumentar el poder calorífico para considerarla como nueva fuente de energía.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Con el aumento de la demanda de energía diversos estudios han promovido nuevas alternativas energéticas ya que las principales fuentes generadoras son de carácter no renovable y su combustión es un problema de contaminación ambiental. La Agencia Internacional de Energía (IEA) menciona que en 1973 los combustibles fósiles fueron las fuentes de energía primaria y a finales del siglo XX se promueve como una nueva alternativa de energía a la biomasa puesto que en la actualidad esta es una de las fuentes de energía con mayor interés debido a que contiene recursos renovables como mitigador de emisión de GEI (Paredes, 2015, pp.709-716). Es decir que el dióxido de carbono (CO₂) liberado por la combustión de las biomásas no incrementa la cantidad de este gas en el planeta ya que esta va a ser igual a la adquiere la planta en su desarrollo.

La biomasa contiene una diversidad de materiales de diversos orígenes que contienen características diferentes. Las biomásas residuales que provienen del área agrícola en Ecuador son aprovechadas como fuentes de biocombustibles y subproductos. Sin embargo, hasta el momento estos residuos no han sido aprovechados debidamente ya que presenta una variedad de dificultades técnicas siendo una de ellas la falta de información de cómo ser utilizada para su transformación. Los residuos agrícolas podrían convertirse para los agricultores un alto ingreso adicional que por el lado comercial (cosecha alimentaria) (De Lucas y Rodríguez, 2012, p.27).

En Ecuador los principales cultivos de cereales es el trigo junto con la cebada, el consumo del trigo a nivel nacional es de 45 000 Tm/año, la cebada al ser el quinto cereal más importante a nivel nacional solo tiene una producción de 24 000 t/año donde las grandes industrias cerveceras utilizan 8% del componente del grano y el 92% es un residuo. El trastejo de la cebada o paja tiene una excelente persistencia en el campo después de la cosecha del grano, el rastrojo contiene 34.8% de celulosa, 25.8% de hemicelulosa y 16.7% de lignina el cual no se degrada con facilidad por lo cual permanece un gran tiempo en el campo después de su cosecha siendo esta una gran problemática para los agricultores (Curto et al., 2017, p.14).

El trigo y la cebada producen miles de residuos agrícolas orgánicos que no son aprovechados adecuadamente debido a que no existe suficiente recursos económicos y tecnológicos para poderlos convertirlos en energía de calidad.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Biomasa

Según la Unión Europea, la biomasa es una fracción biodegradable principalmente de desechos y residuos de carácter agricultura donde están incluidos las sustancias tanto animal como vegetal (Cérda, 2012, pp.117-140). Un aspecto importante que se debe tener en cuenta es que la concentración de cada componente va a variar debido a diferentes factores como: tipo de tejido, especie, fase de crecimiento y las condiciones de cultivo. (Núñez, 2012, pp.142-156)

2.2.2. Clasificación de biomasa

Las biomásas se clasifican dependiendo su diversidad biológica orígenes u fuentes, en relación con las fuentes pueden ser divididas como vírgenes y residuos como se ilustra en la tabla 1-2.

Tabla 1-2: Clasificación de biomásas

Virgen	Biomasa Terrestre	Biomasa forestal Pastos o hiervas Cultivos energéticos Cosechas de cultivos
	Biomasa Acuática	Algas Plantas marinas
Residuos	Residuos Urbanos	Residuos sólidos urbanos Aguas residuales Gases
	Residuos sólidos agrícolas	Residuos de cosecha Abono y residuos de ganadería
	Residuos forestales	Corteza, hojas, ramas
	Residuos industriales	Madera de demolición, aserrín Aceite y grasa

Fuente: Curto et al., 2017, p. 14.

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

2.2.3. Tipo de biomasa

2.2.3.1. Según su origen

- **Natural**

Este tipo de biomasa se forma de manera espontánea en la naturaleza, específicamente en lugares donde no exista o haya sufrido intervenciones humanas, su explotación no es atractiva por razones de su economía debido a que la gestión de la adquisición y transporte de la materia al lugar de utilización no son rentables.

- **Residual**

Son biomasas que proceden de residuos que son generados por el desarrollo de actividades humanas estos residuos se pueden clasificar en secos y húmedos, sólidos o húmedos.

Residuos de actividades agrícolas, forestales y de jardinería: son las pajas de cereales, excedentes agrícolas, zuros de maíz, etc.

Residuos de industrias agrícolas y forestales: Son los que provienen de la fabricación de aceite de oliva, industria vinícola y alcoholera.

Residuos ganaderos: Son los denominados purines.

Residuos agroindustriales: Son generados mediante cualquier proceso productivo y no son de utilidad posterior para la cadena de producción teniendo así a los residuos de las industrias lácteas, papeleras, almazaras, etc.

- **Cultivos energéticos**

Son cultivos con fines no alimenticios que su prioridad es producir energía, los residuos agro-energéticos suelen ser especies caracterizadas por su robustez con el fin de abaratar los costos de cultivo.

2.2.3.2. Según su estado

- **Biomasa Sólida**

Son las más conocidas debido a que en su grupo engloba la madera que se obtienen de tratamientos silvícolas forestales, residuos de las industrias que laboran con cualquier tipo de biomasa y residuos obtenidos en las podas.

- **Biomasa líquida**

En este grupo se encuentra los residuos ganaderos, residuos de industrias biodegradables.

- **Biomasa gaseosa**

Aquí podemos encontrar el metano o biogás que se obtienen a partir de residuos de animales, agroalimenticios, vertederos y escombreras.

2.2.3.3. Según su composición

En la tabla 2-2 se puede observar la clasificación de la biomasa según su composición.

Tabla 2-2: Tipo de biomosas según su composición

TIPO	SUSTANCIA BIOORGÁNICA		EJEMPLO
LIPIDOS			
Oleaginosas			Semillas de girasol, soja, maíz, lino, almendro
HIDRATOS DE CARBONO			
Alcoholígena	Monosacáridos	Glucosa	Pulpa de fruta
		Fructuosa	Pulpa de fruta
	Disacáridos	Sacarosa	Caña de azúcar, sorgo dulce, remolacha.
Amilácea/Inulínica	Polisacáridos	Insulina	Tubérculo de patata y rizomas de dalia, achicoria
		Almidón	Granos de cereal, Tubérculo de patata
Lignocelulósica	Polisacáridos	Hemicelulosa	Maderas en general
		Celulosa	Residuos lignocelulósicos

Fuente: (De Lucas y Rodríguez, 2012, p.27).

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

2.2.4. Combustión de biomasa

En la combustión de biomasa intervienen varios aspectos que afectan directamente su eficiencia y su utilidad. Al tratarse de un combustible sólido, la biomasa sigue la misma rutina de combustión del carbono. (Álvaro, 2013, pp. 156-163).

La primera etapa de combustión de la biomasa consiste en el secado donde el contenido de humedad es evaporado como se puede observar en la figura 1-2.

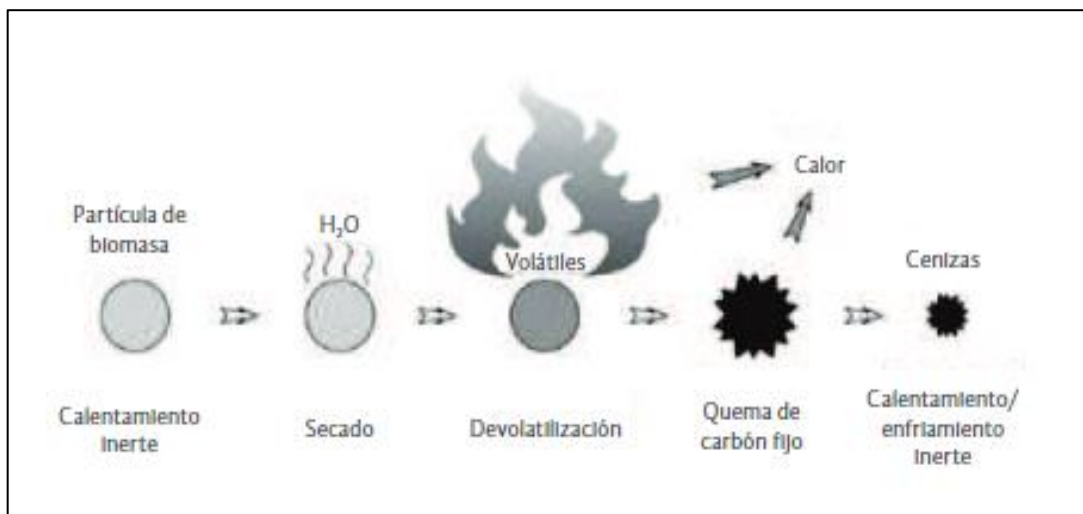


Figura 1-2: Ruta de combustión de una partícula de biomasa

Fuente: Barrera et al., 2018, pp. 24-44.

La volatilización es el proceso en el cual se libera una cantidad de productos gaseoso mediante la composición del combustible. En la desvolatilización el carbono es quemado el cual provoca la liberación del calor hasta que quede en ceniza, esta ceniza está compuesta por minerales que se encontraban en la biomasa. (Zapien, 2019, pp. 29-34)

En el proceso de la combustión de la biomasa se involucran una serie de reacciones químicas donde el carbono es oxidado a dióxido de carbono y el hidrogeno es oxidado a agua.

En la figura 2-2 se puede observar la reacción de una biomasa teniendo en cuenta únicamente los contenidos iniciales de carbono, hidrogeno, oxígeno y nitrógeno.

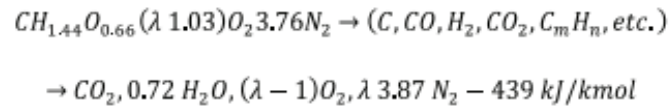


Figura 2-2: Reacción de combustión de la biomasa

Fuente: Barrera et al., 2018, pp.24-44.

2.2.5. *Propiedades físicas de una biomasa*

La densidad energética es una variable de mayor importancia en una biomasa ya que expresa la cantidad de energía contenida en una unidad de volumen esta se calcula a partir de la densidad de bulbo y el poder calorífico de la biomasa. La densidad energética interviene en la planeación de los volúmenes de almacenamiento y además en el control en el suministro del combustible hacia una caldera.

2.2.6. *Propiedades químicas de una biomasa*

Las propiedades químicas de una biomasa están centradas en estudiar la caracterización del combustible y los subproductos de la combustión. Para determinar la cantidad de biomasa se debe seguir los siguientes parámetros.

- **Análisis último**

En un combustible el análisis último es el registro del porcentaje en peso de los elementos que lo componen en pocas palabras es un desglose de los componentes del combustible, el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre son proporcionados en el análisis último.

- **Análisis próximo**

El análisis proximal determina el porcentaje de materia volátil, carbono fijo y ceniza de una biomasa. La materia volátil es la proporción de combustible que es gasificada por acción pirolítica la cual es responsable de las flamas de la combustión. El carbón fijo es la porción del combustible que no se ha pirolizado el cual es quemado en forma sólida.

- **Contenido de humedad**

La humedad varía dependiendo del tipo de biomasa, en ocasiones la biomasa es secada con el propósito de aumentar la eficiencia de la combustión. Si la humedad incrementa reduce la máxima temperatura de combustión e incrementa el tiempo de residencia en la cámara de combustión lo

que reduce el espacio para las proyecciones las emisiones que resultan de una combustión incompleta.

2.2.7. Propiedades térmicas

Estas propiedades son parámetros que estudian el aprovechamiento del calor liberado por la combustión.

- **Calor específico**

Es la energía que se necesita para elevar en un grado la temperatura por unidad de masa. El calor específico es importante ya que permite cuantificar la energía requerida para alcanzar el punto de ignición de la biomasa (Cengel y Boles, 2011 b: pp.178-179).

- **Emisividad**

Esta propiedad representa la radiación emitida por una superficie a una temperatura dada y además la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura (Cengel y Chajar, 2011 a: pp.700-701).

2.2.8. Propiedades minerales

Este tipo de propiedades hacen referencia al contenido de cenizas y materiales inorgánicos que posee la biomasa, el contenido de cenizas en las biomásas varía en un rango desde 0.5 % b, s hasta 12 % b.s.

- **Cenizas**

La ceniza está compuesta por SiO₂ y CaO y en proporciones menores de Mg, Al, K y P. En el proceso de la combustión las cenizas sufren diversos cambios químicos y físicos, estas cenizas tiene un espectro de tamaños, formas y composiciones, las características mencionadas anteriormente dependen de muchos factores, esencialmente de la morfología y combustión química del combustible (Barrera et al., 2018, pp. 24-44).

El contenido de cenizas altera el poder calorífico de una biomasa y causa problemas por escorificación, algunas biomásas de tipo agroindustriales pueden trazas con altos contenidos de cenizas también cloruros y compuestos con potasio lo que puede provocar altos niveles de corrosión.

- **Compuestos inorgánicos**

Con la combustión de biomásas va a existir diferentes tipos de contaminantes que son liberados, teniendo así los contaminantes inquemados como monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos orgánicos volátiles, carbón, hidrogeno, NO_x , y partículas inorgánicas que son formadas a partir del N, K, CL, Ca, Na, Mg, S y P (Barrera et al., 2018, pp. 24-44).

2.2.9. Nanopartículas de celulosa

Las nanopartículas de celulosa son consideradas como materiales que tiene una diversidad de aplicaciones industriales como ejemplo se los suele utilizar en plásticos estructurales, revestimiento inteligente, en la producción de productos farmacéuticos, materiales para captación de energía solar en productos cosméticos, etc. Existen dos familias de partículas de celulosa de tamaño manométricas (nanocristales de celulosa y celulosa microfibriladas). En la tabla 3-2 se puede observar los parámetros de dimensión de las nanopartículas de celulosa.

Tabla 3-2: Dimensiones de nanopartículas de celulosa

Tipo de nanopartículas	Sinónimos	Diámetro (nm)	Longitud (nm)	L/d
Celulosa naocristalina	Nanocristales de celulosa, Nanowhiskers, whiskers, monocristales, microcristales.	5-70	100-250 nm	10-100
Celulosa microfibrilada	Microfibrillas, nanofibrillas, nanofibras, fibrillas.	5-60	>10000	>1000

Fuente: Ponce et al., 2014, pp.897-906.

Realizado por: Huaraca, Johana,2022.

2.2.10. Biocombustibles sólidos

Los biocombustibles sólidos son aquellos productos que derivan de las biomásas sólidas y son utilizadas de una forma directa en los procesos de conversión energética. Los biocombustibles importantes son de tipo primario es decir los que provienen de materias lignocelulosas que resultan del sector forestal o agrícola y de industrias de transformación, los materiales como leña, paja, las cortezas, pajas, restos de poda, restos de vis, etc. Son considerados materias típicas para la elaboración de biocombustibles sólidos (De Lucas y Rodríguez, 2012, p.27).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

Considerando que las fuentes no renovables de energía como los combustibles fósiles son un problema ambiental a nivel mundial, se ha buscado alternativas para poder reemplazarlos y poder reducir la contaminación que estos generan. El empleo de biomásas en los últimos años se ha convertido en una nueva opción para uso energético ya que presenta beneficios ambientales y son abundante estos se los puede encontrar como desechos comunes, residuos forestales, residuos de la agricultura, etc.

Lo que busca el siguiente proyecto es analizar y evaluará materiales agroindustriales con la combinación de nanomateriales a través de estudios y pruebas de laboratorio para aplicaciones energéticas y medio ambientales que permitan obtener productos como pellets o briquetas para un mejor aprovechamiento energético y posiblemente la disminución de emisiones gaseosas.

3.2. Nivel de investigación

3.2.1. *Investigación exploratoria*

La presente investigación a realizar es de tipo exploratoria ya que se necesitará efectuar varios análisis a nivel de laboratorio para determinar las propiedades físicas y químicas de la cáscara de trigo y paja de cebada, además al no tener antecedentes sobre la combinación de biomásas y nanopartículas de celulosa es tipo de investigación nos permitirá tener información para saber si es posible el método de combinación para aumenta su poder calorífico y a partir de los resultados más relevantes poder usarlos como aporte para nuevas investigaciones en beneficio del medioambiente.

3.2.2. *Investigación descriptiva*

Otro tipo de investigación que se caracteriza este trabajo es la descriptiva ya que su metodología se basa en el qué de la investigación, en este trabajo el objetivo de la investigación es comprobar si la combinación de nanopartículas de celulosa y biomásas es una técnica viable para aumentar el poder calorífico, además este tipo de investigación permitirá comparar diversas metodologías

para saber que procedimiento se debe utilizar para determinar la humedad, ceniza, carbono y nitrógeno de la cáscara de trigo y paja de cebada y además que procedimiento es ideal para obtener nanopartículas de celulosa.

3.3. Diseño de investigación

El proyecto es completamente de carácter experimental debido a que para determinar el poder calorífico de residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) con la adición de nanopartículas de celulosa se requiere realizar varios ensayos en laboratorios.

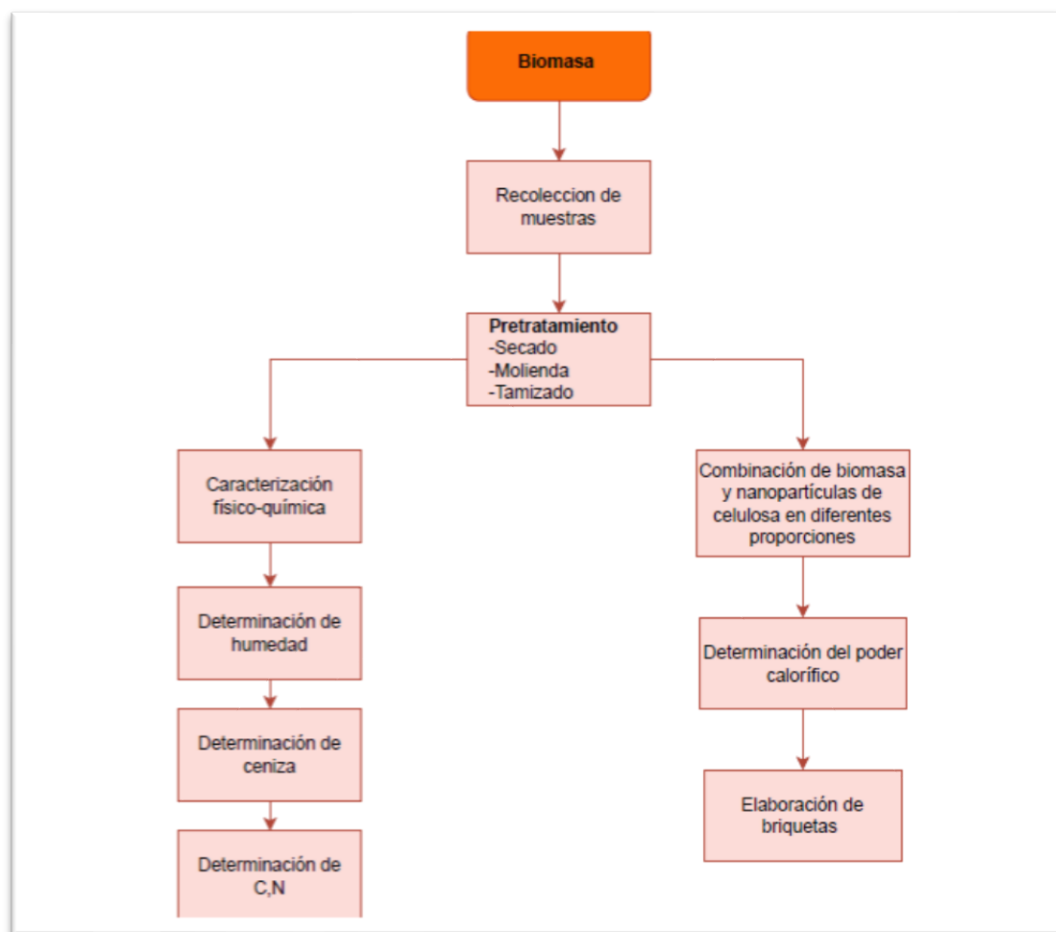


Gráfico 1-3: Diagrama de flujo de la caracterización de la biomasa

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

El siguiente trabajo investigativo es de tipo experimental donde se encontrarán las siguientes variables.

- **Variable independiente**

Cantidad de biomasa.

Cantidad de nanopartículas de celulosa.

- **Variable dependiente o variable respuesta**

Poder calorífico.

3.3.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

Longitudinal

La siguiente investigación a realizar es de campo longitudinal ya que se llevará a cabo un estudio utilizando varias variables a lo largo de un periodo de tiempo y se recopilará datos basados en dichos estudios experimentales.

3.4. Tipo de estudio

El proyecto de investigación trata de un estudio experimental a nivel de laboratorio ya que se realizará varios análisis a los residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) y a la biomasa combinada con nanopartículas de celulosa para determinar si existirá un aumento del poder calorífico en esta combinación y si esta es apta para la elaboración de briquetas.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.5.1. *Población de estudio*

Componentes estructurales del trigo en específico la cáscara y la paja seca de la cebada después de la cosecha.

3.5.2. *Selección de una muestra*

La selección de muestra de los residuos agroindustriales se realizará mediante el siguiente proceso.

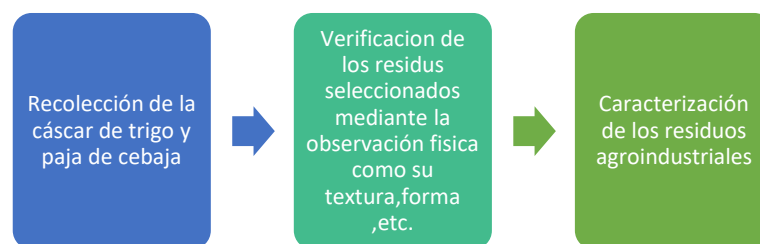


Gráfico 2-3: Selección de la muestra de los residuos

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.5.3. *Cálculo de tamaño de muestra*

Para los análisis proximales se tomará un valor experimental de 20 g de cáscara de trigo, 20 g de paja de cebada ya que se realizará dos repeticiones para tener mayor certeza de los análisis. Y de igual forma para la fabricación de briquetas se necesitará aproximadamente 50g de la biomasa combinada con nanopartículas.

3.6. **Métodos, técnicas e instrumentos de investigación**

3.6.1. *Análisis proximal*

3.6.1.1. *Determinación de humedad: Método de Deseccación en Estufa de Aire Caliente*

Este procedimiento consiste en eliminar la humedad de la muestra por medio de la acción del aire caliente en circulación en una estufa a temperaturas de 130 ± 3 °C hasta que el peso sea constante, el proceso de secado tiene una duración de aproximadamente de 2 a 3 horas.

Tabla 1-3: Determinación de humedad

Determinación de la humedad	
Materiales y equipos	Materia Prima
<ul style="list-style-type: none"> • Cápsula • Balanza digital • Desecador • Estufa 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de trigo • Paja de cebada
Procedimiento y cálculos	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Pesar en una balanza digital 1 a 10 g de muestra en una cápsula de porcelana previamente tarada. 2. Colocar en la estufa a 130 ± 3 °C por un lapso de 2 a 3 horas hasta el peso sea contante. 3. Enfriar en el desecador hasta temperatura ambiente y pesar 4. Para la determinación del contenido de humedad es recomendable realizar el procedimiento por duplicado. <p>Cálculos</p> $SS(\%) = \{(m_2 - m)/(m_1 - m)\} * 100$ <p style="text-align: center;">Ecuación 1-3: Porcentaje de sustancia seca en masa</p> <p>Donde</p> <p>SS= sustancia seca en porcentaje de masa</p> <p>m= masa de la capsula en g</p> <p>m₁= masa de la capsula con muestra en g</p> <p>m₂= masa de la capsula con la muestra después del calentamiento en g</p> $\% HUMEDAD = 100 - \%SS$ <p>Ecuación 2-3: Porcentaje de humedad</p>	

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.6.1.2. Determinación de ceniza: Método de incineración en mufla

Para determinar cenizas se lleva a cabo por medio de incineración seca. Este método consiste en quemar la muestra en una mufla a una temperatura de $550^{\circ}\text{C} \pm 25$ °C para destruir la materia orgánica que se combustiona u oxida y forma CO₂ y agua quedando las sustancias inorgánicas en forma de ceniza, la incineración se lleva hasta obtener ceniza de color gris. Las cenizas no son las mismas sustancias inorgánicas en el alimento original, debido a la pérdida por volatilización o a las indicaciones químicas entre los constituyentes.

Tabla 2-3: Determinación de ceniza de la cáscara de trigo y paja de cebada

Determinación de ceniza	
Materiales y equipos	Materia Prima
<ul style="list-style-type: none">• Balanza digital• Crisoles• Desecador• Estufa	<ul style="list-style-type: none">• Cáscara de trigo• Paja de cebada
Procedimiento y cálculos	
<ol style="list-style-type: none">1. Colocar la cápsula con la muestra seca en un mechero que este en una Sorbona, para calcinar hasta que exista ausencia de humos. El crisol debe tener 2 g de muestra previamente tarado.2. Transferir la capsula a la mufla e incinerar a 500°C±550 °C hasta obtener cenizas libres de residuo carbonoso y peso constante esto durara alrededor de 2 a 3 horas.3. Sacar la cápsula y colocar en un desecador hasta que se enfríe para luego pesarlas.4. La determinación de secado se debe hacer por duplicado para obtener un resultado óptimo.	
Cálculos	
$\% \text{ Ceniza} = \left\{ \frac{(P_2 - P_1)}{m} \right\} * 100$	
Ecuación 3-3: Porcentaje de Ceniza	
En donde:	
m = masa de la muestra en g	
P ₁ = peso del crisol vacío en gramos	
P ₂ = peso del crisol con la ceniza en en gramos	

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.6.2. Determinación de carbono y nitrógeno de la materia prima (cáscara de trigo y paja de cebada)

Para la determinación de carbono y nitrógeno de la cáscara de trigo y paja de cebada se realizará mediante un equipo llamado Dumas en que la muestra a analizar debe estar libres de contaminantes es decir debe tener una humedad del 5% y el tamaño de la muestra debe ser lo más pequeño exactamente como polvo, para que se pueda homogenizar. La cantidad de muestra que se va a utilizar en este proceso es de aproximadamente 0.05 g la cual estará en una lámina inerte.

Una vez obtenida la muestra con los parámetros ya mencionados la capsula se colocará en un porta muestras. Una vez encendida el equipo la muestra se someterá a un proceso de combustión pasando por una trampa física de agua eliminando la mayor cantidad de agua posible y así obtener los resultados requeridos.

3.6.3. *Obtención de la biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada)*

Para obtener la biomasa se procede a realizar una serie de pasos que a continuación mencionaremos.

Tabla 3-3: Obtención de la biomasa

Obtención de la biomasa de cáscara de trigo y paja de cebada	
Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none">• Horno• Trituradora• Tamices	<ul style="list-style-type: none">• Cáscara de trigo• Paja de cebada
Procedimiento	
<ol style="list-style-type: none">1. Con la ayuda de unas bandejas se procede a secar las muestras en un horno a 50 °C durante un día para eliminar el contenido de humedad.2. Una vez que las muestras estén secas y con la ayuda de un triturador se procede a triturar la cáscara de trigo y paja de cebada por separado.3. Al obtener las materias primas trituradas se procede a tamizar para obtener partículas finas.4. Se coloca la materia prima en unos recipientes etiquetados para su posterior uso.5. Una vez obtenido la cáscara de trigo y paja de cebada con las características que se necesitan para su uso se procede a combinarlas en diferentes proporciones obteniendo así las biomásas.	

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.6.4. *Proceso para la obtención de nanopartículas de celulosa*

Para realizar la síntesis de nanopartículas de celulosa no se optó por el método químico debido a que el rendimiento de este era muy poco y costoso por ello se eligió un método mecánico mediante el uso del equipo de GrindControl MM500 nano, el método consiste en producir nanocelulosas con medidas diversas aproximadamente de 10-100 nm de espesor. El equipo trabaja con temperaturas que se encuentran en un rango de gran variedad con opciones de calentamiento además este equipo es utilizado para la molienda en seco con 30 HZ de frecuencia.

3.6.5. Calibración de la bomba calorimétrica (GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter)

Tabla 4-3: Calibración de la bomba GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

Calibración de la bomba calorimétrica
Materiales y equipos
<ul style="list-style-type: none"> • Agua • Equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter • Pastillas de ácido benzoico
Procedimiento
<ol style="list-style-type: none"> 1. Para la calibración de la bomba calorimétrica se debe introducir 2 litros de agua en el equipo para poder estabilizarla. El equipo debe estar conectado a una fuente de 110V y se debe esperar 15 min para que el equipo se estabilice correctamente. Se procede a encender la máquina y esperar que los comandos del menú principal se enciendan. 2. Se debe pesar 0.5 g de ácido benzoico además cortar 9 cm de alambre de ignición del más fino. Se procede a pesar la pastilla preparada y luego se debe colocar en un crisol de metal, el cable de ignición debe atravesar la pastilla procurando que presando no este ni muy dura ni muy blanda para evitar que la sustancia salte al quemarse ya que esto puede provocar que la combustión sea incompleta 3. Se introducirá la cabeza en el cuerpo de la bomba calorimétrica, adentrándose las arandelas en el cuerpo de la bomba hasta que estas que queden al mismo nivel con el borde de la tapa el cual evitará que el oxígeno se escape. 4. Se abre el cilindro de oxígeno lentamente para que al segundo nanómetro se regule la inyección del oxígeno a la bomba aproximadamente 30 segundos. Posterior se debe cerrar la válvula de salida de gas, pero manteniendo la llave del cilindro abierta para que así se purgue la bomba. Se debe dejar la llave del cilindro de gas abierta hasta que se deje de escuchar el sonido del gas que sale. Se debe proceder a cerrar las llaves del cilindro de gas en el segundo nanómetro una vez finalizada este preso se desconectará la bomba del cilindro del oxígeno y colorar el tapón de la válvula de entrada de gas enseguida primero con dos dedos y luego con llave para asegurarse que el gas no se escape. 5. Una vez concluida con los minutos establecidos se debe oprimir el botón de ignición por 5 segundos y tomar la temperatura inicial. Se debe anotar los valores de temperatura cada 30 segundos 6. Al terminar los 30 minutos se extrae la cabeza de la bomba y local a un costado del calorímetro. Sin que se apague el agitador se debe continuar anotando la temperatura hasta 2 min después y tomar la temperatura final. Una vez finalizado todo este proceso se permitirá la salida del gas de la combustión abriendo la válvula de salida del gas retirando la tapa de seguridad de la parte superior (cabeza) de la bomba. 7. Finalmente se debe examinar el cuerpo de la bomba para observar si se produjo hollín durante el proceso de la combustión. (Zapien, 2019, pp. 29-34) $E = \frac{Q_1 * M_1 + 40}{\Delta T}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 4-3: Determinación de la capacidad calorífica de la bomba</p> <p>Donde:</p> <p>E = capacidad calorífica del instrumento, J/°C</p> <p>Q₁ = valor calorífico del ácido benzoico estándar, J/g.</p> <p>M₁ = peso del ácido benzoico, g. y 40 = calor adicional (calor del cable de encendido)</p>

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.6.6. *Determinación del poder calorífico de la biomasa combinada con nanopartículas de celulosa*

Tabla 5-3: Determinación de poder calorífico de la biomasa con nanopartículas de celulosa

Determinación del poder calorífico	
Materiales y equipos	Materia Prima
<ul style="list-style-type: none"> • Bomba calorimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa con nanopartículas de celulosa
Procedimiento y cálculos	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Par determinar el poder calorífico en muestras de carácter solido de debe pesar 0.5 a 1 g de la biomasa con nanopartículas de celulosa que previamente deben tener una humedad de 5 % y deben estar triturada y tamizada, luego se las coloca en un crisol de metal 2. Se debe cortar 9-10 cm de alambre de ignición (del más fino). 3. Con la ayuda de un soporte se coloca la cabeza de la bomba para colocar el cable de ignición en forma de U teniendo mucho cuidado que esta no se sumerja en la muestra ni quede al aire. 4. Se introducirá la cabeza en el cuerpo de la bomba calorimétrica, adentrándose las arandelas en el cuerpo de la bomba hasta que estas que queden al mismo nivel con el borde de la tapa el cual evitará que el oxígeno se escape. 5. Se abre el cilindro de oxígeno lentamente para que al segundo se regule la inyección del oxígeno a la bomba aproximadamente 30 segundos con una presión de 3 MP. Posterior se debe cerrar la válvula de salida de gas, pero manteniendo la llave del cilindro abierta para que así se purgue la bomba. Se debe dejar la llave del cilindro de gas abierta hasta que se deje de escuchar el sonido del gas que sale. 6. Se procede a cerrar las llaves del cilindro de gas, una vez finalizada este preso se desconectará la bomba del cilindro del oxígeno y colorar el tapón de la válvula de entrada de gas enseguida con llave para asegurarse que el gas no se escape. 7. Una vez concluida con los minutos establecidos se debe oprimir el botón de ignición por 5 segundos y tomar la temperatura inicial. Se debe anotar los valores de temperatura cada 60 segundos 8. Al terminar los 60 minutos se extrae la cabeza de la bomba y se coloca a un costado del calorímetro. Sin que se apague el agitador se debe continuar anotando la temperatura hasta 2 min después y tomar la temperatura final. 9. Una vez finalizado todo este proceso se permitirá la salida del gas de la combustión abriendo la válvula de salida del gas retirando la tapa de seguridad de la parte superior (cabeza) de la bomba. 10. Finalmente se debe examinar el cuerpo de la bomba para observar si se produjo hollín durante el proceso de la combustión. $Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$ <p style="text-align: center;">Ecuación 5-3: Poder calorífico de la muestra</p>	

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

3.6.7. *Elaboración de briquetas*

Para la fabricación de briquetas de biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada) con nanopartículas de celulosa se debe proceder a encontrar los parámetros de presión y temperatura que nos permita obtener resultado de calidad por lo que en el equipo en la primera experimentación se deberá utilizar 3 Bar de presión y 80 °C para un tiempo de 5 minutos y dependiendo del primer resultado si es necesario se trabaja en menor temperatura de 60 °C y aumento de presión a 4 BAR y un tiempo de 10 min.

Tabla 6-3: Elaboración de las briquetas

Elaboración de briquetas	
Materiales y equipos	Materia Prima
<ul style="list-style-type: none">• Balanza digital• Almidón de yuca• Briquetadora	<ul style="list-style-type: none">• Biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada)
Procedimiento y cálculos	
<ol style="list-style-type: none">1. Se procede analizar los parámetros de la mezcla (cáscara de trigo y paja de cebada)2. Se debe pesar 0.05 kg de la mezcla de cascarilla de arroz y paja de cebada variando el % de almidón de yuca (50% 30%, 10%)3. Por cada 0.1 de muestra de debe añadir 100 ml de agua, en un recipiente se debe calentar y mezclar la mezcla por alrededor de un minuto4. Se debe colocar la mezcla en un molde para poder comprimirlos en la máquina y formar las briquetas.5. Finalmente se debe retirar el producto final de la briquetadora	

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cálculos

4.1.1. Determinación de humedad de los residuos agroindustriales

4.1.1.1. Cáscara de trigo

- **Muestra 1**

$$SS\% = \left\{ \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \right\} * 100$$

$$SS\% = \left\{ \frac{(80.281 - 77.989)}{(81.072 - 77.989)} \right\} * 100$$

$$SS\% = 74.34\%$$

$$\%Humedad = 100 - SS\%$$

$$\%Humedad = 100 - 74.34$$

$$\%Humedad = 25.66$$

- **Muestra 2**

$$SS\% = \left\{ \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \right\} * 100$$

$$SS\% = \left\{ \frac{(83.519 - 81.287)}{(84.164 - 81.287)} \right\} * 100$$

$$SS\% = 77.58\%$$

$$\%Humedad = 100 - SS\%$$

$$\%Humedad = 100 - 77.58$$

$$\%Humedad = 22.42$$

4.1.1.2. Paja de cebada

- **Muestra 1**

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(107.635 - 104.475)}{(108.309 - 104.475)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = 82.42\%$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - \mathbf{SS\%}$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - 82.42$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 17.58$$

- **Muestra 2**

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(101.686 - 98.808)}{(102.276 - 98.808)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = 82.99\%$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - \mathbf{SS\%}$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - 82.99$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 17.01$$

4.1.2. Determinación de ceniza de los residuos agroindustriales

4.1.2.1. Cáscara de trigo

- **Muestra 1**

$$\mathbf{\% C} = \left\{ \frac{(P_2 - P_1)}{(m)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{\% C} = \left\{ \frac{(37.897 - 37.746)}{(2.059)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{\% C} = 7.33\%$$

- **Muestra 2**

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(P_2 - P_1)}{(m)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(19.046 - 18.880)}{(1.912)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 8.68\%$$

4.1.2.2. Paja de cebada

- **Muestra 1**

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(P_2 - P_1)}{(m)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(44.301 - 44.169)}{(2.124)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 6.21\%$$

- **Muestra 2**

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(P_2 - P_1)}{(m)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(36.932 - 36.806)}{(2, .047)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 6.15\%$$

4.1.3. Determinación de la capacidad calorífica de la bomba

Tabla 1-4: Variación de la temperatura del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

No	Temperatura	No	Temperatura
1	20.941	17	21.533
2	20.960	18	21.549
3	21.031	19	21.563
4	21.056	20	21.578
5	21.158	21	21.593
6	21.209	22	21.607
7	21.257	23	21.621
8	21.312	24	21.634
7	21.349	25	21.648
10	21.383	26	21.662
11	21.413	27	21.675
12	21.439	28	21.688
13	21.461	29	21.701
14	21.481	30	21.714
15	21.499	31	21.728
16	21.516		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$Q_1 = 26457 \frac{J}{g}$$

$$M_1 = 0.9724 \text{ g}$$

$$T_0 = 20.941^\circ\text{C}$$

$$T_f = 21.728^\circ\text{C}$$

$$E = \frac{Q_1 * M_1 + 40}{\Delta T}$$

$$E = \frac{(26457 \text{ J/g}) * (0,9794 \text{ g}) + 40}{(21,728 - 20,941)^\circ\text{C}}$$

$$E = \frac{25951,9858 \text{ J}}{0,787^\circ\text{C}}$$

$$E = 32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}$$

4.1.4. Determinación del poder calorífico de las biomásas de cáscara de trigo y paja de cebada

4.1.4.1. Mezcla 1

- 50% de cáscara de trigo y 50% de paja de cebada

Tabla 2-4: Variación de la temperatura 50% de cáscara de trigo y 50% de paja de cebada

No	Temperatura	No	Temperatura
1	20.282	17	21.060
2	20.384	18	21.07
3	20.508	19	21.080
4	20.623	20	21.083
5	20.709	21	21.098
6	20.780	22	21.107
7	20.834	23	21.113
8	20.875	24	21.120
7	20.911	25	21.127
10	20.940	26	21.133
11	20.963	27	21.138
12	20.985	28	21.144
13	21.004	29	21.149
14	21.0021	30	21.154
15	21.035	31	21.154
16	21.048		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.8 \text{ g}$$

$$T_0 = 20.257^\circ\text{C}$$

$$T_f = 21.154^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (21.154 - 20.257)^\circ\text{C} - 40}{(0,8 \text{ g})}$$

$$Q = 36974.16015 \text{ J/g}$$

4.1.4.2. Mezcla 2

- 25% cáscara de trigo y 75% paja de cebada

Tabla 3-4: Variación de la temperatura 25% de cáscara de trigo y 75% de paja de cebada

No	Temperatura	No	Temperatura
1	21.338	17	22.398
2	21.675	18	22.406
3	21.908	19	22.413
4	21.952	20	22.420
5	23.137	21	22.426
6	22.197	22	22.432
7	22.237	23	22.437
8	22.267	24	22.442
9	22.291	25	22.446
10	22.312	26	22.450
11	22.329	27	22.453
12	22.344	28	22.457
13	22.357	29	22.460
14	22.369	30	22.463
15	22.380	31	22.466
16	22.390		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 21.241^\circ\text{C}$$

$$T_f = 22.466^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (22.466 - 21.241)^\circ\text{C} - 40}{(0,1 \text{ g})}$$

$$Q = 40355.40351 \text{ J/g}$$

4.1.4.3. Mezcla 3

- 75% cáscara de trigo y 25% paja de cebada

Tabla 4-4: Variación de la temperatura 75% de cáscara de trigo y 25% de paja de cebada

No	Temperatura	No	Temperatura
1	21.075	17	21.680
2	21.103	18	21.710
3	21.173	19	21.733
4	21.231	20	21.756
5	21.272	21	21.778
6	21.339	22	21.801
7	21.387	23	21.822
8	21.431	24	21.844
9	21.467	25	21.864
10	21.501	26	21.884
11	21.532	27	21.904
12	21.560	28	21.924
13	21.586	29	21.942
14	21.613	30	21.961
15	21.637	31	21.979
16	21.662		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 21.068^\circ\text{C}$$

$$T_f = 21.979^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (21.979 - 21.068)^\circ\text{C} - 40}{(0,1 \text{ g})}$$

$$Q = 30000.989 \text{ J/g}$$

4.1.4.4. Determinación del poder calorífico de la biomasa (muestra 2) combinadas con nanopartículas de celulosa

- 95 % mezcla 2 y 5% de manopartículas de celulosa

Tabla 5-4: Variación de la temperatura 95 % mezcla 2 y 5% de manopartículas de celulosa

No	Temperatura	No	Temperatura
1	23,648	17	23,926
2	23,671	18	23,937
3	23,695	19	23,953
4	23,706	20	23,954
5	23,723	21	23,968
6	23,737	22	23,974
7	23,758	23	23,980
8	23,78	24	23,990
9	23,8	25	23,998
10	23,803	26	24,005
11	23,832	27	24,023
12	23,84	28	24,040
13	23,854	29	24,046
14	23,79	30	24,054
15	23,900	31	24,059
16	23,915		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 23.660^\circ\text{C}$$

$$T_f = 24.059^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (24.059 - 23.660)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 13117.36 \text{ J/g}$$

- **90 % mezcla 2 y 10 % de nanopartículas de celulosa**

Tabla 6-4: Variación de la temperatura 90 % mezcla 2 y 10% de nanopartículas de celulosa

No	Temperatura	No	Temperatura
1	23,112	17	23,537
2	23,141	18	23,541
3	23,179	19	23,56
4	23,23	20	23,572
5	23,283	21	23,583
6	23,313	22	23,594
7	23,354	23	23,604
8	23,385	24	23,615
9	23,41	25	23,625
10	23,432	26	23,637
11	23,452	27	23,647
12	23,469	28	23,658
13	23,484	29	23,608
14	23,499	30	23,678
15	23,512	31	23,689
16	23,525		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 23.103^\circ\text{C}$$

$$T_f = 23.889^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23.889 - 23.103)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 25879.00 \text{ J/g}$$

- **80 % mezcla 2 y 20 % de nanopartículas de celulosa**

Tabla 7-4: Variación de la temperatura 80 % mezcla 2 y 20% de nanopartículas de celulosa

No	Temperatura	No	Temperatura
1	23,077	17	23,442
2	23,092	18	23,453
3	23,122	19	23,464
4	23,151	20	23,474
5	23,195	21	23,485
6	23,23	22	23,495
7	23,263	23	23,505
8	23,295	24	23,514
9	23,322	25	23,524
10	23,342	26	23,534
11	23,362	27	23,543
12	23,37	28	23,553
13	23,393	29	23,562
14	23,407	30	23,574
15	23,419	31	23,58
16	23,431		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 23.072^\circ\text{C}$$

$$T_f = 23.580^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23.580 - 23.072)^\circ\text{C} - 40}{(0,1 \text{ g})}$$

$$Q = 16711.726 \text{ J/g}$$

- 50 % mezcla 2 y 50 % de nanopartículas de celulosa

Tabla 8-4: Variación de la temperatura 50 % mezcla 2 y 50% de nanopartículas de celulosa

No	Temperatura	No	Temperatura
1	23,451	17	23,622
2	23,452	18	23,631
3	23,454	19	23,64
4	23,46	20	23,648
5	23,469	21	23,656
6	23,479	22	23,663
7	23,489	23	23,67
8	23,503	24	23,677
9	23,51	25	23,683
10	23,534	26	23,689
11	23,549	27	23,695
12	23,563	28	23,7
13	23,578	29	23,706
14	23,589	30	23,712
15	23,6	31	23,717
16	23,611		

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

$$M_1 = 0.1 \text{ g}$$

$$T_0 = 23.450^\circ\text{C}$$

$$T_f = 23.717^\circ\text{C}$$

$$Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$$

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23.717 - 23.450)^\circ\text{C} - 40}{(0,1 \text{ g})}$$

$$Q = 8764.54 \text{ J/g}$$

4.2. Resultados

4.2.1. Análisis proximal

4.2.1.1. Humedad: Método de Deseccación en Estufa de Aire Caliente de la cáscara de trigo y paja de cebada

Tabla 9-4: Humedad de los residuos agroindustriales

	Muestra	Masa (g)	SS(%)	% Humedad
Cáscara de trigo	Muestra 1	3.834	74.34	25.66
	Muestra 2	2.877	77.58	22.42
Paja de cebada	Muestra 1	3.083	82.42	17.58
	Muestra 2	3.468	82.98	17.01

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

En la tabla 9-4 y en el Anexo A se pueden observar los resultados de la humedad de dos muestras de residuo de cáscara de trigo y paja de cebada teniendo así que el residuo con más contenido de humedad fue la muestra 1 de cáscara de trigo con un valor de 25.66 % y el que obtuvo menor humedad fue la muestra 2 de la paja de cebada. Estos residuos son óptimos para su uso energético ya que su contenido de humedad se encuentra por debajo del 50% los cuales se consideran residuos secos ya que para un buen poder calorífico una biomasa debe contener menos del 50% de humedad (Arroyo y Reina, 2016: pp. 20-29).

4.2.1.2. Ceniza: Método de incineración

Tabla 10-4: % de ceniza

	Muestra	Masa (g)	% Ceniza
Cáscara de trigo	Muestra 1	2.059	7.33
	Muestra 2	1.912	8.68
Paja de cebada	Muestra 1	2.124	6.21
	Muestra 2	2.047	6.15

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022

En la tabla 10-4 se puede observar que la muestra con menor porcentaje de ceniza es el número 2 de paja de cebada con 6.15 % y la muestra con mayor contenido de ceniza es de la cáscara de trigo con un 8.68%, estos porcentajes son adecuados para un alto poder calorífico ya que el contenido de ceniza es inversamente proporcional esto quiere decir que mientras más porcentaje

de ceniza menor poder calorífico producirá pues la cantidad de compuestos inorgánicos presentes en los residuos es alta.

4.2.2. Análisis elemental

Tabla 11-4: Resultado de análisis elemental de los residuos agroindustriales.

Código de Muestra	Método	Resultados		Unidad
		Carbono	Nitrógeno	
Cáscara de Trigo	Oxidación completa por combustión	43.278	0.611	%
Paja de cebada		32.553	1.267	%

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

En la tabla 11-4 y en el anexo B se puede observar los resultados del análisis elemental realizados en los laboratorios de GAIBAQ teniendo así que la cantidad de carbono y nitrógeno en la cáscara de trigo y paja de cebada son ideales para obtener un buen poder calorífico ya que según (Curto et al., 2017, p.14) para que exista un alto poder calorífico la cáscar de trigo debe tener N en un rango de 0.2% a 0.7% y de C < 49.8 % lo mismo pasa con la paja de cebada la cantidad de N debe ser < 1.3 y de carbono < 48.8%.

4.2.3. Características de las nanopartículas de celulosa mediante un microscopio SEM

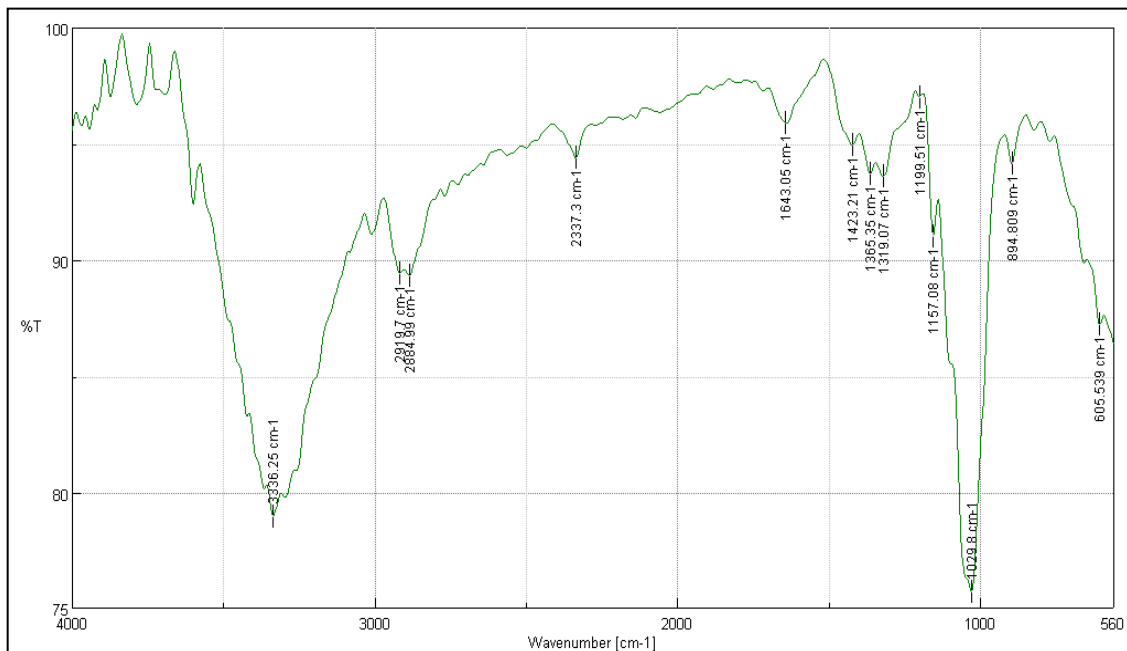


Gráfico 1-4: Espectro FT-IR de la muestra (Nanopartículas de celulosa)

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

En el gráfico 1-4 se puede observar la técnica de espectroscopia FTIR, un método sencillo y no destructivo para caracterizar materiales que miden entre 1 y 100 nm sin ningún tratamiento previo. Esta imagen nos provee la espectroscopia de infrarrojo de nanopartículas de celulosa la cual nos indica las propiedades químicas y su estructura. La longitud de onda en función del porcentaje de transferencia es de un rango de 400 a 550 cm^{-1} la cual nos proporciona información de los grupos funcionales que contiene las nanopartículas de celulosa.

4.2.4. Poder calorífico de la biomasa (cáscara de trigo y paja de cebada)

4.2.4.1. Cáscara de trigo y paja de cebada

Tabla 12-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 1

Biomasa 1	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
50% de cáscara de trigo 50% de paja de cebada	20.257	21.154	0.8	36974.16015

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Tabla 13-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 2

Biomasa 2	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
25% de cáscara de trigo 75% de paja de cebada	21.241	22.466	1	40355.40351

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Tabla 14-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 3

Biomasa 3	$T_o(^{\circ}\text{C})$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
75% de cáscara de trigo 25% de paja de cebada	21.068	21.979	1	30000.989

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Como podemos observar de todas las 3 biomásas realizadas con la cáscara de trigo y paja de cebada en diferentes proporciones la que más poder calorífico obtuvo fue la de la tabla 13-4 (25 % de cáscara de trigo y 75 % paja de cebada) con 40355 J/g y la que menor poder calorífico fue la de la tabla 14-4 (75 % de cáscara de trigo y 25% paja de cebada) con 30000.989 J/g. Con estos resultados podemos determinar que los resultados de la biomasa de la tabla 5-4 nos permite tomarlo como referencia para realizar la combinación con las nanopartículas de celulosa y determinar si existe o no un aumento de poder calorífico.

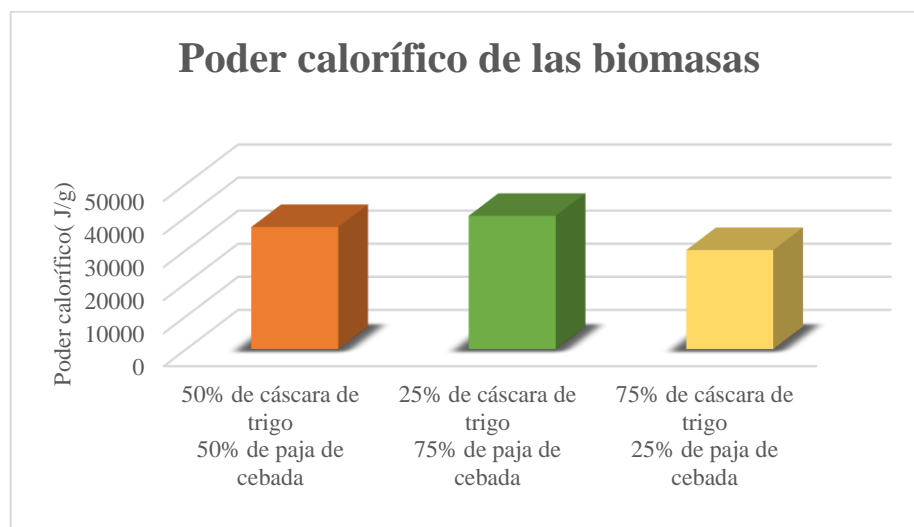


Gráfico 2-4: Diagrama de barras del poder calorífico de las biomásas

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Como podemos observar en el gráfico 2-4 la biomasa con mayor poder calorífico es la de 25% de cáscara de trigo y 75% de paja de cebada siendo este el que utilizaremos para combinarlas en diferentes proporciones con las nanopartículas de celulosa.

4.2.4.2. Biomásas y nanopartículas de celulosa

Tabla 15-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 5% de nanopartículas

Muestras combinadas	$T_o(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
95% Biomasa 2 5% Nanopartículas de celulosa	23.660	24.054	1	13117.36

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Tabla 16-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 10% nanopartículas

Muestras combinadas	$T_o(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
90% Biomasa 2 10% Nanopartículas de celulosa	23.103	23.689	1	25879

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Tabla 17-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 20 % de nanopartículas

Muestras combinadas	$T_o(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
80% Biomasa 2 20% Nanopartículas de celulosa	23.072	23.580	1	16711.726

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Tabla 18-4: Resultados del poder calorífico de la biomasa 2 con 50 % de nanopartículas

Muestras combinadas	$T_o(^{\circ}C)$	$T_f(^{\circ}C)$	G(g)	Poder calorífico (J/g)
50 % Biomasa 2 50 % Nanopartículas de celulosa	23.6660	24.054	1	8764.54

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

Como podemos observar en las tablas 15-4, 16-4, 17-4 y 18-4 el poder calorífico de cada una de las combinaciones que se realizó de biomazas y nanopartículas han disminuido drásticamente a comparación con las de las tablas 12-4, 13-4 y 14-4. Siendo la combinación de 50 % de la biomasa 2 y 50% de nanopartículas de celulosa la que tuvo menor poder calorífico (8764.54 J/g) uno de los factores que provoco esto es el porcentaje de humedad y ceniza que tuvieron las biomazas y la cantidad de biomasa que se mezcló con las nanopartículas.

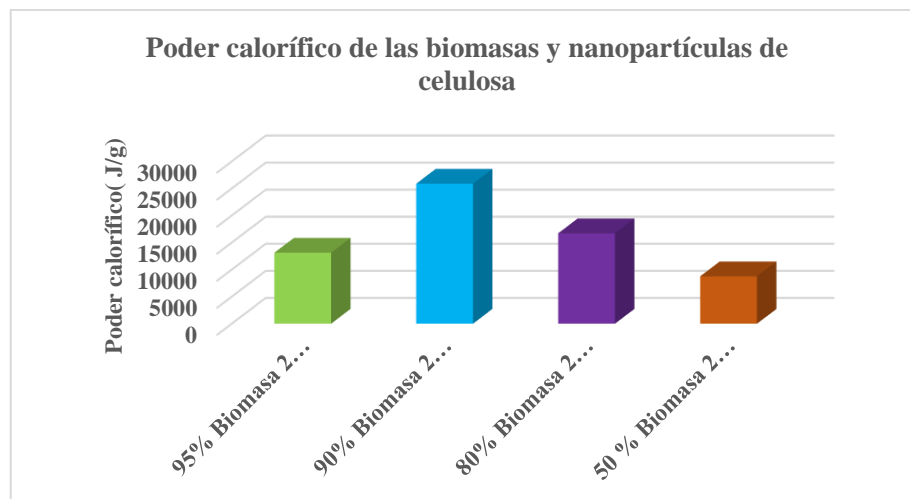


Gráfico 3-4: Diagrama de barras del poder calorífico de las biomazas y nanopartículas de celulosa

Realizado por: Huaraca, Johana, 2022.

En el gráfico 3-4 podemos observar que el poder calorífico de cada una de las biomazas con adición de las nanopartículas de celulosa ha disminuido drásticamente a comparación del gráfico

2-3 dándonos como conclusión que el implemento de las nanopartículas no es un buen método para aumentar el poder calorífico de las biomasas.

4.3. Características de las briquetas de biomasa

Tabla 19-4: Composición óptima de las briquetas

Composición %	
Biomasa (Paja de cebada y Cáscara de trigo)	Almidón de yuca
70	30

Elaborado por: Huaraca, Johana, 2022.

Como podemos observar en la tabla 19-4 y en el Anexo 6 y 7 para la fabricación de las briquetas se utilizó 70% de biomasa y 30% de almidón ya que este porcentaje fue ideal para que la briqueta este compactada perfectamente.

Tabla 20-4: Características físicas de las briquetas

Característica de la briqueta		
Altura	Diámetro	Peso
0.03 m	1m	20-25 g

Elaborado por: Huaraca, Johana, 2022.

En la tabla 20-4 y el anexo 7 podemos determinar que las briquetas formadas tienen aproximadamente 0.03 m de altura, 1 m de diámetro y un peso de 20 a 25 g. Estas condiciones cumplen con las disposiciones de la norma alemana DIN 51731, se basó en esta norma ya que este país no posee parámetros que establezca los requerimientos para esta clase de biocombustibles sólidos.

4.4. Prueba de hipótesis

Tabla 21-4: Prueba t para dos muestras (biomasas y biomasas con nanopartículas de celulosa) suponiendo varianzas iguales

Prueba T para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	Biomasa	Biomasa y nanopartículas de celulosa
Media	35776,85089	16118,1565
Varianza	27878637,07	52902281,95
Observaciones	3	4
Varianza agrupada	42892824	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	5	
Estadístico T	3,930103195	
P(T<=t) una cola	0,005534579	
Valor critico de t (una cola)	2,015048373	
P(T<=t) dos colas	0,011069158	
Valor critico de t (dos colas)	2,570581836	

Elaborado por: Huaraca, Johana, 2022.

Para determinar si nuestra hipótesis nula es rechazada o aceptada se aplicó el análisis estadístico de Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales. Como observamos en la tabla 21-4 al tener nuestro valor P (0,0110691580918615) en dos colas menor a nuestro valor alfa ($\alpha = 0.05$) se puede deducir que nuestra hipótesis nula planteada se rechaza y aceptamos nuestra hipótesis alternativa la cual dice “Con la combinación de residuos agroindustriales (cáscara de trigo y paja de cebada) y nanopartículas de celulosa no se podrá aumentar el poder calorífico para considerarla como nueva fuente de energía.

4.5. Discusión de resultados

Según Guano y Morales (2020, p. 39) en el trabajo de titulación “Determinación de la factibilidad del aumento del poder calorífico de un biocombustible mediante la adición de nanopartículas de Alofán” obtuvo los siguientes datos en el biodiesel puro (B100) obtuvo un poder calorífico de 37.95 MJ/kg de este biodiesel al combinarlo con 50 ppm de nanopartículas de Alofán (B100/50ppm) obtuvo un poder calorífico de 38.98 MJ/kg y con 100 ppm obtuvo un poder

calorífico de 38.71 MJ/kg teniendo así un aumento de 2.8% al adicionar 50 ppm de nanopartículas y un aumento de 2% en su poder calorífico al adicionar 100 ppm de estas nanopartículas.

En cambio en nuestra investigación se obtuvo los siguientes datos: la biomasa 2 (25% de cáscara de trigo y 75% de paja de cebada) obtuvo 40355.40351 J/g pero al combinar 90 % de la biomasa 2 con 10% de nanopartículas de celulosa se obtuvo un poder calorífico de 131177.36 J/g , con el 90 % de la biomasa 2 y 10% de nanopartículas se obtuvo 25879.00 J/g , con 80% de biomasa 2 y 20% de nanopartículas de celulosa se obtuvo 16711.726 J/g y con 50% de la biomasa 2 y 50% de nanopartículas se obtuvo 8764.54 J/g dándonos a entender que hubo un descenso drástico en el poder calorífico esto se debió a grades factores como por ejemplo; Guano y Morales (2020, p. 39) utilizó nanopartículas de alofá en un biodiesel líquido y para la obtencion de las nanopartículas utilizó sisntesis química en cambio en nuestra investigación se utilizó una mezcla de cáscara de trigo y paja de cebada es decir biomasa sólida que posteriormente se las combino con nanopartículas de celulosa y debido a sus propiedades tanto de los residuos agroindustriales y nanopartículas de celulosa el poder calorífico disminuyo cabe recalcar que para obtener estas nanopartículas se realizo mediante un método mecánico mas no químico.

CONCLUSIONES

- Se determinó el poder calorífico de la cáscara de trigo y paja de cebada enriquecida con nanopartículas de celulosa en los laboratorios de la Facultad de Ciencias en diferentes cantidades dándonos como resultado que esta combinación no son una buena materia prima para emplearlos como una fuente de energía ya que al ser combinadas su poder calorífico disminuye a comparación con el poder calorífico original pero si existió un aumento del mismo al mezclar solo los residuos de trigo y cebada obteniendo así un poder calorífico de 40355.40351 J/g siendo esta materia prima una buena opción para elaborar briquetas.
- Se caracterizó los residuos agroindustriales por medio de un análisis proximal teniendo como resultado que en la cáscara de trigo y la paja de cebada al tener una humedad (22.42% y 17.01%) por debajo del 50% y ceniza (7.33 y 6.15%) en cantidades pequeñas fueron óptimos para ser usados como materia prima para fuentes de energía por ejemplo la elaboración de briquetas.
- Se obtuvo las nanopartículas de celulosa por un método mecánico debido a que el método químico que se quiso implementar al principio de la investigación no nos proporcionó el rendimiento que necesitábamos de nanopartículas de celulosa así que el método mecánico fue una opción para obtener nanopartículas de 1-100 nanómetros (nm) que posteriormente se las utilizó para combinarlas con las biomásas respectivas.
- Se elaboró briquetas de cáscara de trigo y paja de cebada, pero con el bajo poder calorífico que se obtuvo con las nanopartículas la opción más factible que se obtuvo es utilizar la biomasa de los residuos agroindustriales es decir 25% de cáscara de trigo y 75% paja de cebada ya que su poder calorífico fue alto. Las briquetas realizadas tienen un promedio de 0.03 m de largo y 0.1 m de diámetro.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener los residuos a analizar completamente secos es decir con un porcentaje de humedad de 0.5 % para que en el momento de la combustión se pueda determinar correctamente el poder calorífico sin ninguna dificultad.
- Se recomienda tener mucho cuidado con el oxígeno al ser utilizado en la bomba calorimétrica para determinar el poder calorífico ya que su mal manejo puede ocasionar accidentes además revisar que la manguera y otros implementos que impliquen el uso del mismo se encuentren en buen estado.
- Antes de usar la bomba calorimétrica se recomienda calibrarla para que en los análisis posteriores no nos arroje datos erróneos.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVARO, Javier; et al. "Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca a partir del poder calorífico inferior". *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 11, n° 2 (2013),(Popayán) pp. 156-163.

ARROYO, J & REINA, W. "Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor". *INGENIUS* [en línea], 2016, vol. 16(1), pp. 20-29. 2016.[Consulta: 10 agosto 2022]. 1390-650X. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Aprovechamientodelrecursobiomasa%20(1).pdf

BARRERA HERNÁNDEZ, Juan C; et al. "Combustión de biomasa: conceptos, tecnologías y aplicaciones en la agroindustria de la palma de aceite". *Palmas*, vol. 39, n° 4(2018), (Bogotá) pp. 24-44.

BIOMASS, U. *Manual sobre energía renovable: Biomasa*. Costa Rica : Users Network, 2002. 9968-904-02-3.

CENGEL , Yunus & CHAJAR, Afshin. *Transferencia de calor y masa*. México : Mc Graw Hill, 2011. 978-607-15-0540-8, pp. 700-7001.

CENGEL, Yunus & BOLES, Michael. *Termodinámica*. México : Mc Graw Hill, 2011. 978-970-10-7286-8, pp. 178-179.

CURTO, Pedro; et al. *Cuantificación y evaluación del potencial energético de residuos agrarios y agroindustriales no tradicionales*. Montevideo, 2017. 1-2014-1, p. 13.

CÉRDA, E. *Energía obtenida de biomasa*. Madrid : Cuadernos Económicos de ICE, 2012. 0210-2633, pp. 117-140.

DE LUCAS HERGUEDAS, Ana & RODRÍGUEZ GARCÍA, Encarna. *Biomasa, Biocombustible y Sostenibilidad*. Madrid : ITAGRA.CT, 2012. ISBN:978-84-931891-5-0, p. 27.

GUANO, Catherine & MORALES, Cristian. Determinación de la factibilidad del aumento del poder calorífico de un biocombustible mediante la adición de nanopartículas de alofán(Trabajo

de titulación).Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,Facultad de Mecánica, Riobamaba. 2020. p. 39.

MUÑOZ, Deyanira; et al. "Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico interior". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol.11, n° 2(2013), (Popayán) pp. 156-163.

NÚÑEZ CAMARGO, Danny W. "Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta". *Tecnura*, vol. 16, n° 34(2012), (Bogotá) pp. 142-156.

PALACIOS VALLEJO, Karla ; et al. "Estimación de las propiedades físico-químicas de residuos agroindustriales para el aprovechamiento como biocombustible". *RIEMAT* vol.4, n°2(2020), (Portoviejo) pp. 28-33.

PARAEDES SÁNCHEZ, José P. "Investigación en materia de bioenergía para la industria energética". *Serbiluz*, vol. 31, n°4(2015) (Maracaibo) pp. 709-716.

PONCE REYES, C; et al. "Preparación de nanopartículas de celulosa a partir de desechos de agave y su caracterización morfológica y estructural". *Academia Mexicana de Investigacion y Docencia en Ingeniería Química*,vol. 13, n° 3(2014), (México) pp.897-906.

VARGAS, Yury & PÉREZ, Liliana. "Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente". *Facultad de Ciencias Básicas* [en línea],2018, (Casanare)14(1), pp. 59-72. [Consulta: 10 agosto 2022]. ISSN 1900-4699. Disponible en: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/3108-Texto%20del%20art%C3%ADculo-13312-2-10-20190408%20(8).pdf

ZAPIEN RODRÍGEZ, José; et al. "Análisis energético de la biomasa en Michoacán: Con caso de estudio para generación eléctrica de 4MWh". *Revista de Ingeniería Eléctrica*, vol. 3, n° 9(2019), (Michoacán) pp. 29-34.



ANEXOS

ANEXO A: HUMEDAD Y CENIZA DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

a.



b.



c.



d.



NOTAS:

- a. Preparación de la cáscara de trigo y paja de cebada.
- b. Muestras en el desecador.
- c. Muestras en el reverbero.
- d. Muestras después de la mufla para determinar ceniza.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

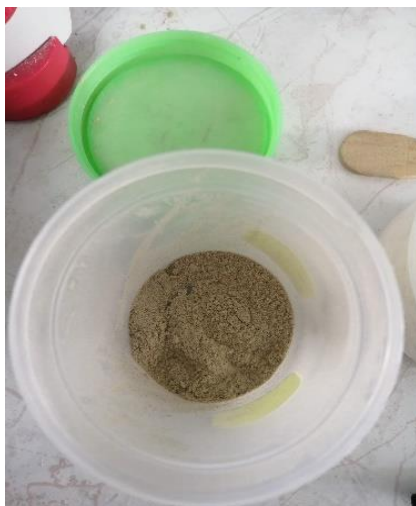
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Johana Huaraca

Análisis de humedad y ceniza de los residuos agroindustriales

LÁMINA	ESCALA	FECHA
01	1:10	25/11/2022

ANEXO B: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

a.



b.



c.



NOTAS:

- a.** Mezcla de la cáscara de trigo y paja de cebada en diferentes proporciones.
- b.** Colocación de la mezcla en el crisol.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Johana Huaraca

Preparación de la muestra

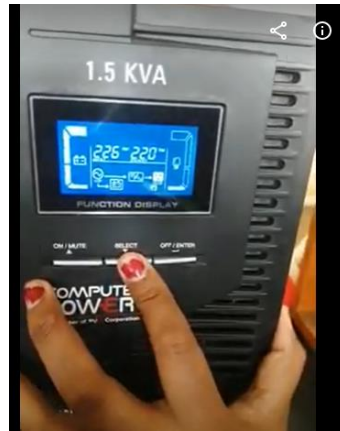
LÁMINA	ESCALA	FECHA
03	1:10	20/05/2022

ANEXO C: DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

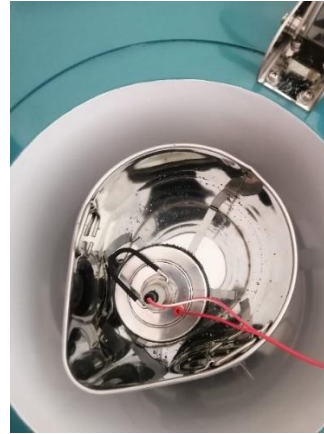
a.



b.



c.



d.



NOTAS:

- a. Ensamblaje de la bomba de oxígeno.
- b. Regulación del voltaje.
- c. Colocación de la bomba de oxígeno en la máquina para determinar el poder calorífico.
- d. Muestra de la combustión completa.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Preliminar
- Certificado
- Por aprobar
- Información
- Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Johana Huaraca

Determinación del poder calorífico

LÁMINA	ESCALA	FECHA
04	1:10	25/11/2022

ANEXO D: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

a.



b.



c.



<p>NOTAS:</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Johana Huaraca</p>	Preparación de la muestra para elaboración de briquetas		
<p>a) Preparación del almidón de yuca b) Mezcla de 75% de paja de cebada y 25% de cáscara de trigo. c) Colocación de la biomasa en la briquetadora.</p>			<p>LÁMINA</p>	<p>ESCALA</p>	<p>FECHA</p>
			<p>06</p>	<p>1:10</p>	<p>20/05/2022</p>

ANEXO E: PROCESO DE ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

d.



e.



f.



NOTAS:

- d) Prensado de la biomasa
- e) Elaboración de las briquetas
- f) Briquetas formadas

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
- Certificado
- Información
- Preliminar
- Por aprobar
- Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
REALIZADO POR:
Johana Huaraca

Proceso de elaboración de briquetas

LÁMINA	ESCALA	FECHA
07	1:10	20/05/2022

ANEXO F: ANÁLISIS DE CARBONO Y NITRÓGENO



esPOCH | Facultad de Ciencias



RESULTADOS ANÁLISIS

Análisis Solicitado: Carbono y Nitrógeno

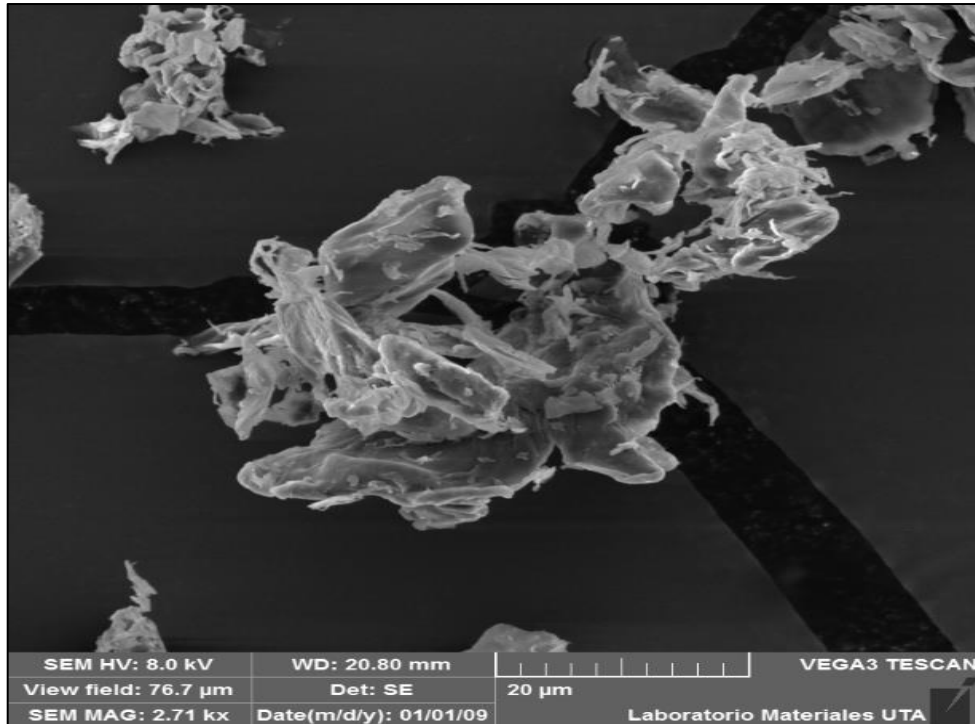
Fecha de Realización de análisis: 17/05/2022 y 18/05/2022

Tipo de Muestra: Residuos Agroindustriales

Resultados Analíticos:

Código de Muestra	Método	Resultados		Unidad
		Carbono	Nitrógeno	
Cáscara de Trigo	Oxidación completa por combustión	43.278	0.611	%
Paja de cebada		32.553	1.267	%

ANEXO G: NANOPARTÍCULAS DE CELULOSA





epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 23 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Johana Nathaly Huaraca Sagñay
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

0202-DBRA-UPT-2023