



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA  
DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA  
COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:**

**ROBINSON BLADIMIR CAIZA ANRRANGO**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA  
DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA  
COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** ROBINSON BLADIMIR CAIZA ANRRANGO

**DIRECTORA:** Ing. MABEL MARIELA PARADA RIVERA, Mgs.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, **Robinson Bladimir Caiza Anrrango**

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, ROBINSON BLADIMIR CAIZA ANRRANGO declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académicos de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 02 de diciembre de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Robinson Bladimir Caiza Anrrango', with a stylized, cursive script.

**Robinson Bladimir Caiza Anrrango**

**C.I. 100409572-3**

**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 LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO**, realizado por el señor: **ROBINSON BLADIMIR CAIZA ANRRANGO**, 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.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 _____	2022-12-02
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, Mgs. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-12-02
Biof. Rosa Marisela Ormaza Hugo, MSc. <b>ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 _____	2022-12-02

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo ese lo dedico primeramente a Dios, por brindarme calma y fortaleza en los días más duros de mi transcurso académico, de esta manera siendo la fé parte importante. A mis queridos padres que siempre estuvieron al pendiente de mí, ellos fueron los que me dieron la fuerza necesaria y los ánimos para seguir delante de esta manera conseguir mis logros, de igual manera a mi familia cada uno de ellos forma parte de este logro, con inmenso cariño puedo decirle que esta menta no la pude haber obtenido sin su ayuda. Finalmente quiero recordar a mis amigos José, Jessica, Shirley, Jhoseline y Vanessa quienes me demostraron que no hace falta tener un lazo sanguíneo para formar parte importante de los logros de los amigos, a todos muchas gracias.

***Robinson***

## **AGRADECIMIENTO**

Primero que nada, quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería Química, por entregarme una educación de primera la cual fue impartida por excelentes docentes comprometidos con su trabajo.

A mi director de tesis, Ingeniera Mabel Mariela Parada Rivera por su guía y consejos durante el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular y como con mi formación académica.

A mi asesor de tesis, Biof. Rosa Marisela Ormaza Hugo, por el tiempo brindado durante las tutorías y los consejos para que el trabajo sea completado.

Al Ing. Paul Palmay por aclarar mis ideas durante la práctica de tesis y también por sugerir el uso de la maquina en la Facultad de Mecánica y a todos los técnicos docentes de los laboratorios usados.

Finalmente, al Grupo de Investigación de Materiales Avanzados de la ESPOCH (GIMA), por su apoyo en el desarrollo del Trabajo de Integración Curricular.

***Robinson***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	<b>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	2
1.1.	<b>Planteamiento del Problema .....</b>	2
1.2.	<b>Limitaciones y delimitaciones .....</b>	2
1.2.1.	<i>Limitaciones .....</i>	2
1.2.2.	<i>Delimitaciones .....</i>	2
1.3.	<b>Problema General de Investigación.....</b>	3
1.4.	<b>Problemas Específicos de Investigación .....</b>	3
1.5.	<b>Objetivos .....</b>	3
1.5.1.	<i>Objetivo General.....</i>	3
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos .....</i>	3
1.6.	<b>Justificación .....</b>	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.	<b>Hipótesis .....</b>	5
1.7.1.	<i>Hipótesis General .....</i>	5
1.7.2.	<i>Hipótesis Específicas .....</i>	5

### CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	6
2.1.	<b>Antecedentes de Investigación.....</b>	6
2.2.	<b>Referencias Teóricas .....</b>	8

2.2.1.	<b>Biomasa</b> .....	8
2.2.1.1.	<i>Tipos de biomasa</i> .....	8
2.2.1.2.	<i>Composición de biomasa</i> .....	9
2.2.1.3.	<i>Aplicaciones energéticas de biomasa</i> .....	10
2.2.1.4.	<i>Ventajas del uso de biomasa</i> .....	11
2.2.1.5.	<i>Desventajas del uso de biomasa</i> .....	11
2.2.2.	<b>Biocombustibles</b> .....	12
2.2.2.1.	<i>Tipos de biocombustibles por su origen</i> .....	12
2.2.2.2.	<i>Tipos de biocombustibles por el estado de agregación de la materia</i> .....	12
2.2.3.	<b>Briquetas</b> .....	13
2.2.4.	<b>Elaboración de briquetas</b> .....	13
2.2.4.1.	<i>Artesanal</i> .....	13
2.2.4.2.	<i>Semi-industrial</i> .....	14
2.2.4.3.	<i>Industrial</i> .....	15
2.2.5.	<b>Parámetros y variables para elaboración de briquetas</b> .....	15
2.2.5.1.	<i>Humedad</i> .....	15
2.2.5.2.	<i>Tamaño de partícula (diámetro de partícula)</i> .....	16
2.2.5.3.	<i>Tipo de aglutinante</i> .....	16
2.2.5.4.	<i>Presión y temperatura</i> .....	16
2.2.6.	<b>Residuos agroindustriales sólidos</b> .....	16
2.2.7.	<b>Piña</b> .....	17
2.2.8.	<b>Quinoa</b> .....	17
2.2.9.	<b>Nanopartículas</b> .....	17
2.2.9.1.	<i>Nanopartículas metálicas</i> .....	18
2.2.9.2.	<i>Métodos de síntesis de nanopartículas</i> .....	19
2.2.9.3.	<i>Métodos de síntesis química de nanopartículas metálicas</i> .....	20
2.2.10.	<b>Nanopartículas de aluminio</b> .....	21
2.2.10.1.	<i>Aplicaciones de nanopartículas de aluminio</i> .....	21
2.2.11.	<b>Poder calorífico</b> .....	22
2.2.11.1.	<i>Poder calorífico inferior</i> .....	22
2.2.11.2.	<i>Poder calorífico superior</i> .....	22
2.2.11.3.	<i>Poder calorífico de diferentes tipos de biomasa</i> .....	22
2.2.11.4.	<i>Relación de composición química y poder calorífico</i> .....	23
2.2.12.	<b>Bomba de calor</b> .....	23

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	25
3.1.	<b>Enfoque de Investigación</b> .....	25
3.2.	<b>Nivel de Investigación</b> .....	25
3.3.	<b>Diseño de Investigación</b> .....	25
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	29
3.3.1.1.	<i>Variables independientes</i> .....	29
3.3.1.2.	<i>Variable dependiente</i> .....	29
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i> .....	29
3.4.	<b>Tipo de estudio</b> .....	30
3.5.	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	30
3.6.	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	31
3.6.1.	<i>Caracterización de NmAl</i> .....	31
3.6.2.	<i>Análisis proximal de la materia prima para biomosas</i> .....	32
3.6.2.1.	<i>Análisis proximal de humedad en biomasa</i> .....	32
3.6.2.2.	<i>Análisis proximal de ceniza en biomasa</i> .....	33
3.6.3.	<i>Análisis elemental del CHONS de biomasa</i> .....	34
3.6.4.	<i>Determinación de poder calorífico de biomasa</i> .....	34
3.6.4.1.	<i>Preparación de la muestra para bomba de calor</i> .....	35
3.6.4.2.	<i>Ensayos en la bomba calorimétrica GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter</i> .	36
3.6.5.	<i>Elaboración de briquetas</i> .....	38
3.6.5.1.	<i>Preparación de biomosas</i> .....	38
3.6.5.2.	<i>Briquetaje de las biomosas</i> .....	39

## CAPÍTULO IV

4.	<b>MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> 40
4.1.	<b>Cálculos y resultados</b> ..... 40
4.1.1.	<i>Resultados de caracterización de nanopartículas de aluminio</i> ..... 40
4.1.1.1.	<i>Resultados de análisis SEM de NmAl</i> ..... 40
4.1.1.2.	<i>Resultados de análisis FT-IR de NmAl</i> ..... 41
4.1.2.	<i>Cálculos de análisis proximal y elemental de biomosas</i> .....
4.1.2.1.	<i>Cantidad de ceniza en tallos de quinoa</i> ..... 42
4.1.2.2.	<i>Cantidad de ceniza en cáscara de piña</i> ..... 42
4.1.2.3.	<i>Cantidad de agua en tallos de quinoa</i> ..... 43

4.1.2.4.	<i>Cantidad de agua en cáscara de piña</i> .....	43
4.1.2.5.	<i>Resultados e interpretación de análisis primal y análisis elemental</i> .....	44
4.1.3.	<b><i>Determinación de poder calorífico de residuo agroindustrial</i></b> .....	45
4.1.3.1.	<i>Calibración del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter</i> .....	45
4.1.3.2.	<i>Poder calorífico de tallos de quinoa</i> .....	46
4.1.3.3.	<i>Poder calorífico de cáscara de piña</i> .....	47
4.1.3.4.	<i>Resultados e interpretación de poder calorífico de residuos agroindustriales</i> .....	48
4.1.4.	<b><i>Poder calorífico de mezcla de biomosas</i></b> .....	50
4.1.4.1.	<i>Poder calorífico de biomasa B1 (50% cáscara de piña y 50% tallos de quinoa)</i> .....	51
4.1.4.2.	<i>Poder calorífico de biomasa B2 (75% cáscara de piña y 25% tallos de quinoa)</i> .....	51
4.1.4.3.	<i>Poder calorífico de biomasa B3 (25% cáscara de piña y 75% tallos de quinoa)</i> .....	51
4.1.4.4.	<i>Resultados e interpretación de poder calorífico de mezclas de biomosas ...</i>	52
4.1.5.	<b><i>Mezcla de biomasa con nanopartículas de aluminio</i></b> .....	53
4.1.5.1.	<i>Poder calorífico de biomasa con 10% de nanopartículas de aluminio</i> .....	53
4.1.5.2.	<i>Poder calorífico de biomasa con 20% de nanopartículas de aluminio</i> .....	55
4.1.5.3.	<i>Poder calorífico de biomasa con 30% de nanopartículas de aluminio</i> .....	56
4.1.5.4.	<i>Resultados e interpretación de poder calorífico de biomosas más NmAl ....</i>	58
4.1.6.	<b><i>Briquetas de biomosas de tallos de quinoa y cáscara de piña</i></b> .....	62
4.2.	<b>Análisis estadístico</b> .....	62
4.2.1.	<b><i>Prueba de hipótesis</i></b> .....	63
4.3.	<b>Discusión</b> .....	63
<b>CONCLUSIONES</b> .....		65
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		67
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Referencias bibliográficas antecedentes a la investigación.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Eliminación de los componentes de una biomasa con el uso de temperatura .....	10
<b>Tabla 3-2:</b>	Aplicaciones de la biomasa para generar valor agregado a la industria.....	10
<b>Tabla 4-2:</b>	Ventajas y valor agregado del uso de biomasa.....	11
<b>Tabla 5-2:</b>	desventajas de la aplicación de biomasa para generar energía.....	11
<b>Tabla 6-2:</b>	Clasificación de biocombustibles de acuerdo al origen. ....	12
<b>Tabla 7-2:</b>	Poder calorífico inferior de residuos agroindustriales.....	23
<b>Tabla 1-3:</b>	Diseño experimental para la combinación de biomosas.....	27
<b>Tabla 2-3:</b>	Formulación experimental de mezcla de biomosas y nanopartículas de aluminio.....	27
<b>Tabla 3-3:</b>	Metodología para análisis SEM de NmAl.....	31
<b>Tabla 4-3:</b>	Metodología para espectroscopia infrarroja de NmAl .....	31
<b>Tabla 5-3:</b>	Metodología para análisis proximal de humedad de biomosas .....	32
<b>Tabla 6-3:</b>	Metodología para análisis proximal de ceniza de biomasa. ....	33
<b>Tabla 7-3:</b>	Metodología para el análisis elemental de biomosas.....	34
<b>Tabla 8-3:</b>	Preparación de la muestra para entrar a la bomba calorimétrica.....	35
<b>Tabla 9-3:</b>	Menú principal de la bomba calorimétrica.....	37
<b>Tabla 10-3:</b>	Funcionamiento del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter.....	37
<b>Tabla 11-3:</b>	Preparación de las biomosas para briquetas .....	38
<b>Tabla 12-3:</b>	Formación de briquetas a partir de biomosas .....	39
<b>Tabla 1-4:</b>	Datos de las pulsaciones de NmAl.....	41
<b>Tabla 2-4:</b>	Caracterización de residuos agroindustriales .....	44
<b>Tabla 3-4:</b>	Variación de temperatura con pastillas de ácido benzoico.....	45
<b>Tabla 4-4:</b>	Variación de temperatura de biomasa tallos de quinoa.....	46
<b>Tabla 5-4:</b>	Variación de temperatura de biomasa cáscara de piña.....	47
<b>Tabla 6-4:</b>	Poder calorífico de residuos agroindustriales y la relación con % de Carbono .....	48
<b>Tabla 7-4:</b>	Variación de temperatura de las mezclas de biomasa en diferentes proporciones .....	50
<b>Tabla 8-4:</b>	Mezclas de biomasa y su poder calorífico.....	52
<b>Tabla 9-4:</b>	Variación de temperatura biomasa y NAl 10% .....	53
<b>Tabla 10-4:</b>	Variación de temperatura biomasa y NAl 20% .....	55

<b>Tabla 11-4:</b>	Variación de temperatura biomasa y NAl 30% .....	56
<b>Tabla 12-4:</b>	Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 10% .....	58
<b>Tabla 13-4:</b>	Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 20% .....	59
<b>Tabla 14-4:</b>	Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 30% .....	59
<b>Tabla 15-4:</b>	Análisis estadístico de la varianza con un factor (ANOVA).....	62
<b>Tabla 16-4:</b>	Resumen de los análisis estadísticos de la varianza con un factor (ANOVA) .....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b>	Diferentes tipos de biomasas .....	8
<b>Ilustración 2-2:</b>	Diferentes tipos de biomasas .....	9
<b>Ilustración 3-2:</b>	Formas y tamaños de briquetas provenientes de biomasas .....	13
<b>Ilustración 4-2:</b>	Prensa para elaborar briquetas de forma artesanal .....	14
<b>Ilustración 5-2:</b>	Briquetadora automatizada para producción semi-industrial .....	14
<b>Ilustración 6-2:</b>	Briquetadora industrial .....	15
<b>Ilustración 7-2:</b>	Residuos agroindustriales.....	17
<b>Ilustración 8-2:</b>	Imagen de nanopartículas de aluminio (SEM) .....	18
<b>Ilustración 9-2:</b>	Métodos físicos, químicos y biológicos de síntesis de nanopartículas.....	19
<b>Ilustración 10-2:</b>	Comparación de métodos estratégicos para sintetizar nanopartículas.....	20
<b>Ilustración 11-2:</b>	Ejemplo de formación de nanopartículas vía química .....	20
<b>Ilustración 12-2:</b>	Diámetro de partícula de NmAl (SEM) .....	21
<b>Ilustración 13-2:</b>	Bomba calorimétrica GDY-1A .....	24
<b>Ilustración 1-3:</b>	Diseño experimental para la investigación científica.....	26
<b>Ilustración 1-4:</b>	Imágenes de NmAl en microscopio electrónico de barrido (SEM) .....	40
<b>Ilustración 2-4:</b>	Picos de NmAl en espectroscopia de infrarrojo (FT-IR).....	41
<b>Ilustración 4-4:</b>	Poder calorífico de la combinación de biomasas en diferentes proporciones .....	52
<b>Ilustración 5-4:</b>	Comportamiento de biomasa más nanopartículas de aluminio en combustión .....	60
<b>Ilustración 6-4:</b>	Tendencia del poder calorífico al aumentar nanopartículas de aluminio .....	61
<b>Ilustración 7-4:</b>	Residuo de combustión de mezcla de biomasa y nanopartículas de aluminio .....	61

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-3:</b> Porcentaje sustancia seca.....	32
<b>Ecuación 2-3:</b> Porcentaje de humedad.....	33
<b>Ecuación 3-3:</b> Porcentaje de ceniza en masa .....	33
<b>Ecuación 4-3:</b> Calibración del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter .....	36
<b>Ecuación 5-3:</b> Cálculo para determinar el poder calorífico .....	36

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** ANÁLISIS PROXIMALES DE LA BIOMASA
- ANEXO B:** PREPARACIÓN DE LA BIOMASA PARA LAS MEZCLAS
- ANEXO C:** PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ENSAYOS DE PODER CALORÍFICO
- ANEXO D:** ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE LAS MUESTRAS DE BIOMASA
- ANEXO E:** PREPARACIÓN DE BIOMASAS PARA BRIQUETAS
- ANEXO F:** BRIQUETAJE DE BIOMASAS

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar el poder calorífico de las biomásas de tallos de quinoa y cáscara de piña, se observó el comportamiento de los residuos agroindustriales combinados con NmAl (nanopartículas de aluminio), y luego se elaboró briquetas con un poder calorífico elevado, para preparar la materia prima se controló la humedad de las biomásas mediante estufas, luego de disminuir el contenido de humedad hasta 5% estas fueron trituradas y tamizadas con una luz de malla de 250 micrómetros, en cuanto a los análisis proximales se tomó en cuenta porcentaje de humedad y ceniza, además se registró un análisis químico elemental (Carbono), en cuanto a NmAl estas fueron analizadas en un microscopio de barrido electrónico (SEM) para tomar imágenes y diámetro de la partícula, y para obtener patrones de difracción se empleó espectroscopia infrarroja (FT-IR). Para determinar el poder calorífico se realizaron pruebas individuales para cada biomasa en el equipo GDY – 1A Oxygen Bomb Calorimeter y un posterior análisis del poder calorífico a la mezcla de las biomásas en diferentes proporciones 25:75; 50:50; 75:25 (Porcentajes en peso), siendo la de mayor resultado la combinación de 50:50 esta biomasa tuvo un poder calorífico de 46614.7167 J/g, posterior a esto se añadieron NmAl y se examinó el comportamiento del poder calorífico, resultando una disminución del poder calorífico, entonces se eligió la mezcla 50:50 para elaborar briquetas de forma semi-industrial. Se concluye que el poder calorífico individual de los residuos agroindustriales es menor a una combinación de dos biomásas en proporciones adecuadas, por otro lado, las NmAl no benefician al poder calorífico en combustibles sólidos si no que estas lo disminuyen. Se recomienda en el estudio de poder calorífico usar un tamiz con una luz de malla adecuada, también realizar hasta tres repeticiones de cada ensayo para corroborar los resultados.

**Palabras clave:** <PODER CALORÍFICO>, <RESIDUOS AGROINDUSTRIALES>, <BIOMASAS>, <NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO>, <HUMEDAD>, <CENIZA>, <ANÁLISIS QUÍMICO ELEMNTAL>, <BRIQUETAS>



2342-DBRA-UPT-2022

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the calorific value of the biomasses of quinoa stems and pineapple peel. The behavior of agro-industrial wastes combined with NmAl (aluminum nanoparticles) was observed, and then briquettes with a high calorific value were produced. To prepare the raw material, the humidity of the biomasses was controlled by means of stoves; after reducing the humidity content to 5%, they were crushed and sieved with a mesh size of 250 micrometers, and the proximate analysis took into account the percentage of humidity and ash. In addition, an elemental chemical analysis (carbon) was recorded, as for NmAl these were analyzed in a scanning electron microscope (SEM) to take images and particle diameter, and infrared spectroscopy (FTIR) was used to obtain diffraction patterns. To determine the calorific value, individual tests were carried out for each biomass in the GDY - 1A Oxygen Bomb Calorimeter equipment and a subsequent analysis of the calorific value of the mixture of biomasses in different proportions 25:75; 50:50; 75:25 (percentages in weight), being the one with the highest result the combination of 50:50, this biomass had a calorific value of 46614. 7167 J/g, after this, NmAl was added and the behavior of the calorific value was examined, resulting in a decrease of the calorific value, then the 50:50 mixture was chosen to elaborate briquettes in a semi-industrial way. It is concluded that the individual calorific value of agro-industrial residues is lower than a combination of two biomasses in adequate proportions; on the other hand, NmAl does not benefit the calorific value of solid fuels, but rather decreases it. It is recommended to use a sieve with a suitable mesh size in the calorific value study, and to perform up to three repetitions of each test to corroborate the results.

**Keywords:** <CALORIFIC POWER>, <AGROINDUSTRIAL RESIDUES>, <BIOMASSES>, <ALUMINIUM NANOPARTICLES>, <HUMIDITY>, <ASH>, <ELEMENTAL CHEMICAL ANALYSIS>, <BRIQUETTES>.



Dra. Nanci Margarita Inca Chunata

0602926719

## INTRODUCCIÓN

Como es de conocimiento general el cambio climático es un serio problema, pero de la misma forma el desarrollo es inevitable, por esta razón se ve necesario el estudio de nuevas fuentes de energía amigables con el medio ambiente, hoy en día la investigación está enfocada en sustentar la necesidad de la humanidad de la mano con la mitigación al deterioro del planeta. En el presente trabajo se estudia una nueva fuente de energía como es el uso de los residuos agroindustriales o también conocidos como rastrojos de cultivos, anteriormente estos residuos no tenían mayor aplicación, por un lado, se creaba abonos orgánicos y por otro lado simplemente se incineraban sin entregar ningún beneficio a cambio.

Para realizar el trabajo de investigación se seleccionó dos residuos agroindustriales de la región, tallos de quinoa y cáscara de piña, posterior a esto se decidió realizar una mezcla en diferentes proporciones, y se escogió la formulación que mejor poder calorífico representó para una combinación con nanopartículas de aluminio (NmAl) en diferentes proporciones para elevar su poder calorífico inicial. La hipótesis propuesta busca elevar el poder calorífico, para esto, todos los análisis proximales fueron realizados con el objetivo de caracterizar la materia prima y observar la relación de la composición química de la biomasa con el poder calorífico.

Fue importante que las biomásas contengan un alto poder calorífico para poder usarlas en la industria y que sean tomadas como fuente energética, de lo contrario es contraproducente, también se menciona la facilidad para obtener la materia prima todo el año, ya que existen residuos agroindustriales con buen poder calorífico, pero tienen la limitante de no ser cultivados durante todo el tiempo. Por esta razón se consideró importante establecer una guía de estudio de las fuentes de energía alternativas, el tallo de quinoa cumple con algunos parámetros como un buen poder calorífico, de igual manera la cáscara de piña, entonces si se amplía el estudio en más mezclas de biomásas es posible encontrar una buena fuente energética amigable con el medioambiente.

# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

La combinación de NmAl con la biomasa de residuos agroindustriales servirá como una fuente de energía sustentable de los distintos procesos energéticos que demanden de energía calorífica para ser aprovechados, de esta manera se puede mitigar la contaminación ambiental que existe en la actualidad debido a la quema de combustibles fósiles y la posterior emisión de  $CO_X$ ,  $SO_X$  e hidrocarburos que afectan a la calidad de aire en el Ecuador (Márquez, 2021, p.1).

La creciente demanda de combustibles fósiles es una realidad, el mundo gira en torno a este recurso natural no renovable, es evidente el agotamiento del mismo y por ello es necesario el estudio de nuevas fuentes de energía que frenen la dependencia total o parcial de los derivados de los hidrocarburos, también el uso de estos combustibles ha contribuido al cambio climático una serie de acciones humanas han provocado el aumento de la temperatura global (Bonneuil et al., 2021, p.2).

La contaminación ambiental es un serio problema alrededor del mundo, la emisión de gases de efecto invernadero van en aumento debido a la industrialización, nuestro país no es la excepción de acuerdo con Ministerio del Ambiente, (2013). En 2006 se reportan 410,01 Mton de  $CO_2$  emitidas por todos los sectores de Ecuador incluyendo energía procesos industriales, agricultura, cambio de uso del suelo, desechos, entre el año 1990 y el 2006, el país ha experimentado un incremento del 78.7% de las emisiones de  $CO_2$  generadas por el transporte, esto demuestra un incremento exponencial en cuanto a contaminación ambiental.

### 1.2. Limitaciones y delimitaciones

#### 1.2.1. Limitaciones

- La cáscara de piña no es fácil de obtener y ésta debe ser fresca para un posterior tratamiento.
- Los tallos de quinoa no se pueden conseguir todo el año, solo en épocas de cosecha.

#### 1.2.2. Delimitaciones

- El estudio está dispuesto para los residuos agroindustriales en específico de tallos de quinoa y cáscara de piña, ya que existe un gran número de residuos agroindustriales sólidos que pueden ser parte de la investigación.

- Los análisis a realizar son: análisis proximal, análisis elemental CN y la determinación de poder calorífico de las biomásas.

### **1.3. Problema General de Investigación**

¿En qué medida aumenta el poder calorífico inicial de la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña por la adición de NmAl?

### **1.4. Problemas Específicos de Investigación**

¿Cuáles son las características iniciales de la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña?

¿Cómo las características iniciales de la biomasa influyen al poder calorífico?

¿De qué manera aporta las NmAl al incremento del poder calorífico de la biomasa?

### **1.5. Objetivos**

#### ***1.5.1. Objetivo General***

Determinar el poder calorífico de la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña combinados con NmAl.

#### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- Caracterizar las materias primas para biomásas de tallos de quinoa y cáscara de piña por medio de análisis proximal y análisis elemental.
- Cuantificar el poder calorífico de biomásas de residuos agroindustriales tallo de quinoa y cáscara de piña (biomasa inicial).
- Caracterizar las nanopartículas de aluminio mediante análisis de laboratorio.
- Establecer la combinación de biomásas con mayor poder calorífico.
- Determinar si las NmAl permiten incrementar el poder calorífico de la combinación de biomásas de origen agroindustrial.
- Definir parámetros físicos para la elaboración de briquetas.

## **1.6. Justificación**

### ***1.6.1. Justificación Teórica***

La presente investigación estará enfocada en estudiar la influencia de las NmAl en el poder calorífico inicial de una biomasa compuesta por tallos de quinoa y cáscara de piña. Se caracterizó las propiedades fisicoquímicas que influyen en el poder calorífico de esta mezcla. La elección de este tema radica en la importancia que tiene detectar biomásas más eficientes, en este caso modificadas con nanopartículas, las mismas que se espera demuestren un buen poder calorífico y que este sea una nueva fuente de energía limpia y amigable con el medio ambiente, aplicable a la industria que genera energía. Los resultados de la investigación permitirán el desarrollo de briquetas de biomásas agroindustrial, contribuyendo a la disminución del consumo y dependencia hacia los combustibles fósiles.

### ***1.6.2. Justificación Metodológica***

La determinación del poder calorífico de la biomasa modificada con NmAl para reemplazar los combustibles fósiles abrirá camino para futuros investigadores que deseen aportar más sobre el tema, como por ejemplo controlar el origen de las biomásas, que es un tema importante al momento de seleccionar una biomasa existirán diferentes formas de selección, un porcentaje de carbono alto ayuda a elevar el poder calorífico, pero mientras más materia inorgánica se encuentra en la composición de biomásas mayor cantidad de ceniza se genera, por ello, la calidad de la biomasa se ve afectada.

### ***1.6.3. Justificación Práctica***

Esta investigación se realiza debido a la necesidad de generar nuevas fuentes de energía alternas en función de las disponibilidad de materia prima como lo son las biomásas o residuos agroindustriales que abundan en nuestro país, el Ecuador al ser un país agrícola en su mayoría puede generar muchos residuos agroindustriales que no son aprovechados de buena manera, de ahí proponemos un estudio con los distintos residuos de la agricultura en la zona de Chimborazo y la Costa, de esta manera se generan alternativas que en cierta medida disminuirá la contaminación ambiental por la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases debido a su combustión, de esta manera con los datos recopilados de la indagación daremos nuevas fuentes de energía que podrán reemplazar en un porcentaje de forma paulatina a los derivados de petróleo. Si los datos recopilados durante las prácticas de laboratorio en cuanto a

elevar el poder calorífico de la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña combinados con NmAl son positivos, el grupo de investigación GIMA-ESPOCH dará paso a nuevas investigaciones como el uso de briquetas y valoración energética en un gasificador, en base a la investigación realizada.

## **1.7. Hipótesis**

### ***1.7.1. Hipótesis General***

- ¿Las nanopartículas de aluminio elevan el poder calorífico inicial de la biomasa compuesta de tallos de quinoa y cáscara de piña?

### ***1.7.2. Hipótesis Específicas***

- ¿Cuándo se añade hasta el 30% en peso de nanopartículas de aluminio a la biomasa de origen agroindustrial esta eleva su poder calorífico inicial hasta un 15%?
- ¿Al mezclar dos biomásas aumentamos el poder calorífico individual?

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de Investigación

El valor calórico de los residuos agroindustriales constituyentes de la biomasa definirá la calidad de la misma, es decir, el poder calórico resultante de una biomasa es el parámetro más significativo a la hora de obtener un biocombustible sólido. El valor calórico de la biomasa puede ser medido directamente al tomar una muestra y posteriormente esta es incinerada en un calorímetro con condiciones controladas, también la estimación del valor calórico se puede determinar por un análisis basándose en la composición química de la biomasa, este último método al usar la composición química es muy usado ya que solo toma en cuenta a los elementos C, H, N, S y O en la biomasa se remonta a la ecuación de Dulong de la década de 1880 (Ozyuguran et al., 2018).

El poder calórico junto al porcentaje de cenizas presentes en una muestra de biomasa son determinantes al momento de evaluar la calidad de una briqueta, si las sustancias minerales en la composición química de la biomasa aumentan la cantidad de ceniza la calidad de la biomasa disminuye, también se demostró en un estudio que la relación entre cenizas y poder calórico de una biomasa esta inversamente proporcional entre sí, es decir, si aumenta la cantidad de ceniza el poder calórico disminuye Martínez Pérez et al., (2012), provocando mayor ensuciamiento de calderas, por ende disminuye la calidad de la biomasa y reduce el interés a aplicaciones industriales.

Al investigar las características de emisión de contaminantes tales como azufre y nitrógeno, los análisis mostraron que la biomasa es favorable para la elaboración de carbón vegetal a partir de diferentes residuos agroindustriales; entre los más comunes paja de arroz, paja de trigo y paja de maíz. Las briquetas de biocarbón muestran una resistencia mecánica fuerte a presiones de briquetaje de 25MPa, con un tamaño de las partículas inferior a 1 mm y también con porciones de almidón de maíz modificado de 4.32% en peso. Las briquetas de carbón vegetal tienen una mejor quema en comparación con una biomasa no modificada, además un mejor rendimiento de combustión con emisiones de los gases inferior en comparación con la biomasa (Guo et al., 2020).

El camino para cambiar la dependencia de los combustibles fósiles se ven arraigados a la investigación de nuevas formas de generar energía, tenemos muchas formas de generar energía alterna y renovable la que se hace alusión en este estudio es la biomasa, que puede ser de origen vegetal, la materia prima se puede obtener de los rastrojos, se ha demostrado que es una buena fuente de energía, pero también tiene complicaciones como los las emisiones de azufre, para ellos se procede a cambiar de forma a la biomasa, esta nueva forma se denomina “briquetas”, con esta

nueva forma la retención de azufre aumenta. Los estándares de emisiones de gases en cuanto a biomásas son sumamente estrictos por ello se ve la necesidad de modificar la composición de las briquetas con aditivos a base calcio, esta tiene una respuesta favorable en cuanto a retención de azufre y también un aumento gradual del poder calorífico (Han et al., 2019, p.1).

**Tabla 1-2:** Referencias bibliográficas antecedentes a la investigación

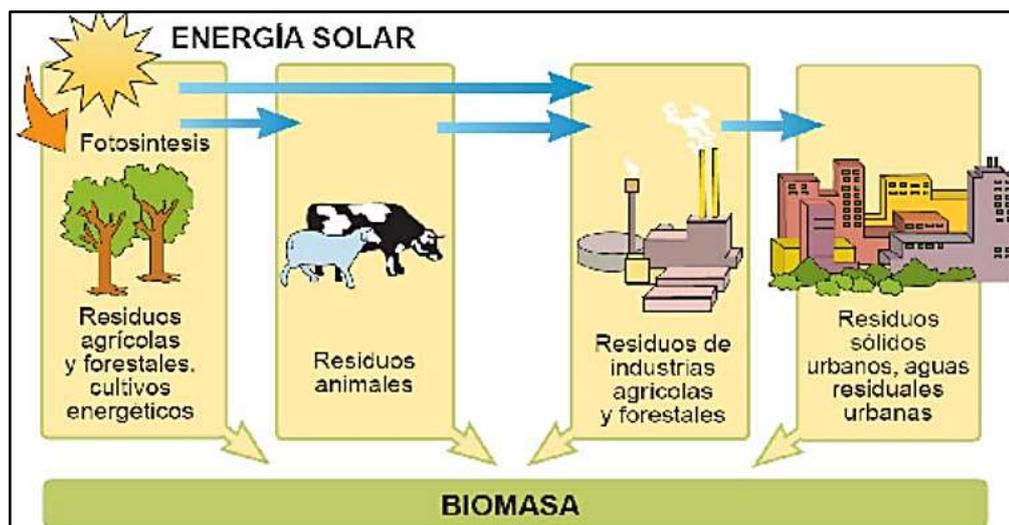
<b>Autor(es)</b>	<b>Año</b>	<b>Título</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercy Njeri Nduia</li> <li>• Aloys Mosima Osanob</li> <li>• BakariChaka</li> </ul>	2021	Synthesis and characterization of aluminium oxide nanoparticles from waste aluminium foil and potential application in aluminium-ion cell (Nduni et al., 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pumin Kongtoa</li> <li>• Arkom Palamanitb</li> <li>• Pichet Ninduangdeec</li> <li>• Yashvir Singhd</li> <li>• Issara Chanakaewsomboone</li> <li>• Asif Hayatf</li> <li>• MakataWae-hayeeg</li> </ul>	2022	Intensive exploration of the fuel characteristics of biomass and biochar from oil palm trunk and oil palm fronds for supporting increasing demand of solid biofuels in Thailand (Kongto et al., 2022)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reuben Shuma</li> <li>• Daniel Madyira,</li> </ul>	2017	Production of Loose Biomass Briquettes from Agricultural and Forestry Residues (Shuma & Madyira, 2017)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lina S. Angulo Mosquera</li> <li>• Allan A. Alvarado</li> <li>• María J. Rivas Arrieta</li> <li>• Carlos R. Cattaneo</li> <li>• Eldon R. Rene</li> <li>• Octavio García Depraect</li> </ul>	2021	Production of solid biofuels from organic waste in developing countries: A review from sustainability and economic feasibility perspectives (Angulo et al., 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mustafa Karagoz</li> <li>• Cuneyt Uysal</li> <li>• Umit Agbulut</li> <li>• Suat Saridemir</li> </ul>	2021	Exergetic and exergoeconomic analyses of a CI engine fueled with diesel-biodiesel blends containing various metal-oxide nanoparticles (Karagoz et al., 2021)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sven Riegsinger</li> <li>• Radian Popescu</li> <li>• Dagmar Gerthsen</li> </ul>	2022	Room-temperature liquid-phase synthesis of aluminium nanoparticles (Riegsinger et al., 2022)

## 2.2. Referencias Teóricas

### 2.2.1. Biomasa

Se entiende por biomasa en el sector energético a un combustible que es originario de productos y residuos naturales, incluyendo sustancias vegetales y animales. Los residuos naturales pueden ser originarios de la agricultura, actividades forestales e industrias relacionadas al bosque, también derivados de jardinería y los desechos de alimentos (Basu, 2018, p.1).

También es considerada un recurso de energía renovable con gran futuro, ya que se realizan diferentes estudios en cuanto a su aplicación, debido a que la biomasa se puede convertir en bioenergía (calor y electricidad), además en biocombustibles (sólidos, líquidos y gaseosos) (Kongto et al, 2022, p. 5641).



**Ilustración 1-2:** Diferentes tipos de biomasas

Fuente: De Lucas et al., 2012, p. 8.

#### 2.2.1.1. Tipos de biomasa

La biomasa puede clasificarse según su origen donde se pueden mencionar a la biomasa agrícola, forestal, urbana e industrial:

La biomasa agrícola, es el material vegetal de las plantaciones agrícolas producidas durante la cosecha de los frutos de las plantas, también son conocidos como residuos agroindustriales estos presentan una parte muy alta en cuanto a biomasa, luego tenemos biomasa forestal, de igual

manera son restos de plantas, pero a diferencia de la biomasa agroindustrial esta son de restos de podas no necesariamente plantas de producción alimentario, se menciona a los restos de podas, restos de explotación maderera, también tenemos biomasa urbana, estos son conocidos como los desperdicios generados después de extraer una parte de ellos durante el consumo de los frutos son generados en los hogares, comercios, en general consumos urbanos, finalmente tenemos biomasa industrial, estas son de origen industrial durante el procesos a gran escala como la transformación de materias primas de origen vegetal y las aguas residuales entran dentro de esta categoría (Afanasjeva et al., 2017, pp. 32-35).



**Ilustración 2-2:** Diferentes tipos de biomasas

**Fuente:** Kongto et al., 2022, p. 5641.

#### *2.2.1.2. Composición de biomasa*

La composición de la biomasa depende de su origen, los principales compuestos que encontramos dentro de los residuos agroindustriales son celulosa, hemicelulosa, lignina, agua y contenido mineral que es mostrado como cenizas, para determinar las cantidades de estos componentes dentro de la biomasa se aplica diferentes intervalos de temperatura, para la hemicelulosa se trabaja con 220 °C a 340 °C, para la celulosa se emplea 340 °C a 500 °C, para la lignina se deben aplicar temperaturas superiores a 500°C, finalmente la cantidad de agua se puede determinar aplicando temperaturas donde esta pueda evaporarse, es decir, rondando los 90 °C a 100 °C en condiciones normales (Onokwai et al., 2022, pp. 17-22)

**Tabla 2-2:** Eliminación de los componentes de una biomasa con el uso de temperatura

Rango de temperatura	Elementos de biomasa
90 °C – 100 °C	Eliminación de agua
220 °C – 340 °C	Eliminación de hemicelulosa
340 °C – 500 °C	Eliminación de celulosa
>500 °C	Eliminación de lignina

Fuente: Onokwai et al., 2022.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 2.2.1.3. Aplicaciones energéticas de biomasa

Existen diferentes formas de aprovechar la biomasa, al ser amigable con el medioambiente, esta toma gran ventaja como alternativa a los combustibles fósiles altamente contaminantes.

**Tabla 3-2:** Aplicaciones de la biomasa para generar valor agregado a la industria

Productos de biomasa	Características
Energía térmica	La principal virtud de esta energía es producir energía en forma de calor que puede ser aprovechada para la cocción de alimentos, secado, y también como generador de vapor para ser usado en industrias o para generar electricidad.
Biogás	Se aprovecha la generación de metano producto de la descomposición de la biomasa, este gas puede ser usado para generar calor y electricidad.
Bioetanol	Un sustituyente a la gasolina convencional, en el presente se obtiene el biocombustible a partir de cereales como maíz.
Biodiesel	Se toma muy en cuenta para la sustitución del gasoil, esto ayudara a elevar la calidad para generar energía en las industrias que usas el combustible normal.

Fuente: Zhang et al., 2022.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

#### 2.2.1.4. Ventajas del uso de biomasa

**Tabla 4-2:** Ventajas y valor agregado del uso de biomasa.

Ventajas	Valor agregado
Facilidad de materia prima	Bajo costo de la materia prima, debido a que se puede obtener de restos de plantas y rastrojos de los cultivos después de la cosecha.
Bajo contenido de contaminantes	Un contenido bajo de contaminantes para la atmósfera como el azufre, las emisiones de azufre producen SO <sub>x</sub> y como consecuencia las denominadas lluvias ácidas.
Cenizas aprovechables	Después de la combustión de la biomasa se puede aprovechar la ceniza para reintegrar minerales a los suelos, esto ayuda a mejorar las condiciones de los suelos de cultivos.
Incentivar la agricultura	Al aprovechar los residuos agroindustriales damos un valor agregado a la agricultura, no solo aprovechando los frutos si no también la planta que tiene muchas aplicaciones posteriores.

Fuente: Angulo et al., 2021.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

#### 2.2.1.5. Desventajas del uso de biomasa

**Tabla 5-2:** desventajas de la aplicación de biomasa para generar energía

Desventajas	Características
Bajo poder calorífico	A diferencia de los combustibles de origen fósil, la biomasa tiene baja densidad esto afecta directamente a la cantidad de energía obtenida en relación a la masa de combustible usada.
Bajo rendimiento en la industria	Al ser afectada por la humedad y partículas volátiles baja la calidad y rendimiento de los biocombustibles de biomasa.
Ensuciamiento por ceniza	Después de la combustión el residuo es la ceniza, minerales que no se pueden descomponer a temperatura promedio, las cenizas pueden generar corrosión y taponamientos en los calderos usados en la industria.

Fuente: Beltrón et al., 2019.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

## 2.2.2. Biocombustibles

### 2.2.2.1. Tipos de biocombustibles por su origen

**Tabla 6-2:** Clasificación de biocombustibles de acuerdo al origen.

Clase	Origen	Ejemplares
Cultivos energéticos	Agrícolas	Maíz, girasol, caña de azúcar, arroz, trigo y cebada, etc.
	Forestales	Eucalipto, sauces, robinias, etc.
Restos de tratamientos silvícolas	Residuos de podas, restos de cortezas finales	Especies forestales de los montes.
Restos de la industria maderera	Primera etapa de transformación de arboles	Especies de madera utilizadas en la industria maderera.
	Segunda etapa de transformación de arboles	Especies de madera utilizadas en la industria maderera.

Fuente: Huang et al., 2017.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 2.2.2.2. Tipos de biocombustibles por el estado de agregación de la materia

**Biocombustibles Sólidos:** Se los denomina de tipo primario, de acuerdo con Serrano (2009, pp. 417-418) en su estructura molecular contiene materia orgánica llamada lignocelulosa su procedencia en general es del sector agrícola, como restos de cultivos después de la recolección del fruto, también se toma en cuenta a los restos de follajes de la naturaleza misma, se presentan en formas pequeñas y de fácil manipulación como astillas, pallets o briquetas como principal característica no exceden los 10 cm .

**Biocombustibles Líquidos:** son producto de extracciones de los vegetales como sustituyentes de los combustibles de origen fósil, como representantes de estos biocombustibles tenemos biodiesel, que tiene una amplia gama de aplicaciones principalmente en motores de combustión interna, luego tenemos a aceites vegetales, también los extractos de la biomasa obtenidos por pirolisis (Gómez, 2016, p. 22).

**Biocombustibles Gaseoso:** es el biocombustible más común, se obtiene de mediante la acción bacteriana anaerobia que descompone la biomasa en metano que es usado como un combustible de alta eficiencia gracias a su alto poder calorífico, el proceso se lleva a cabo en un biodigestor con ausencia de oxígeno (Padilla-Rivera et al., 2019).

### **2.2.3. Briquetas**

Las briquetas son biomasa comprimida en una briquetadora, es decir, es un material con mayor densidad que la biomasa, esta técnica se usa para aumentar la densidad de biomasa para un mejor manejo de las mismas al reducir su tamaño y conservar las propiedades iniciales (Deshannavar et al, 2018, p.175). Los estándares para una briqueta oscilan en un diámetro de 3-6 centímetros, pero también puede haber presentaciones en formas variadas tales como rectangulares, todas cumplen el mismo objetivo.

La calidad de las briquetas está definida por la ceniza residual después de la reacción de combustión y su poder calorífico, también se toma en cuenta las características fisicoquímicas de las briquetas, la densidad aproximada es de 1.2 g/cm<sup>3</sup>, es decir la densidad inicial debe aumentar 4 o 5 veces más durante la palletización (Manyuchi et al, 2018, pp.70-73).



**Ilustración 3-2:** Formas y tamaños de briquetas provenientes de biomasa

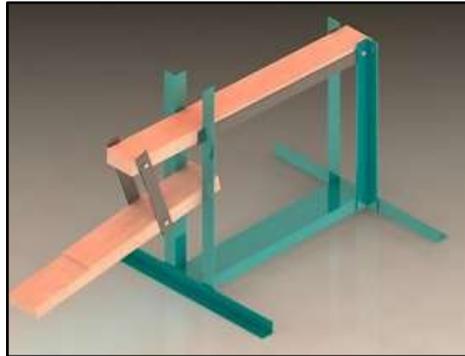
Fuente: Afanasjeva et al., 2017, p.35.

### **2.2.4. Elaboración de briquetas**

De acuerdo a las diferentes aplicaciones de los parámetros en cuanto a presión, temperatura y la cantidad de briquetas realizadas por tiempo, para la fabricación de briquetas tenemos tres tipos de elaboración artesanal, semi-industrial e industrial; siendo la presión y el uso de la temperatura el principal parámetro que diferencia una técnica de la otra.

#### **2.2.4.1. Artesanal**

Esta forma de elaboración de briquetas no hay presencia de equipos que faciliten la producción a gran escala de las briquetas, la mano de obra consta de personas mezclando las biomásas con un aglutinante, haciendo uso de presiones bajas no superiores a 5MPa, con un secado posterior que suele ser secado al clima solo con los rayos solares, el objetivo principal es obtener una cierta cantidad de briquetas no superiores a 10 kilogramos (Aransiola et al., 2019, p.1).



**Ilustración 4-2:** Prensa para elaborar briquetas de forma artesanal

**Fuente:** Nikiema et al., 2022.

#### 2.2.4.2. *Semi-industrial*

En este proceso de elaboración de briquetas tenemos presiones más altas y se puede incluir el uso de una resistencia en los moldes de para las briquetas, tenemos presencia de equipos que trabajan a baja escala, superando los cientos de kilogramos de biomasa transformada, hablamos de presiones oscilante de 5 a 100 MPa, usando calentadores para secar las briquetas, para la mezcla con un aglutinante se emplean equipos (Aransiola et al., 2019, p.1).



**Ilustración 5-2:** Briquetadora automatizada para producción semi-industrial

**Realizado por:** Caiza, R., 2022.

### 2.2.4.3. Industrial

En este proceso se incrementan grades equipos, los cuales trabajan a gran escala superando las toneladas de biomasa tratadas, los grandes equipos forman un proceso estandarizado ya que las briquetas finales entran al mercado para ser usados en las industrias destinadas a la generación de energía, aquí se superan las presiones de 100 MPa, encuentran otros parámetros como lo son la humedad y tiempo de secado, además no hace necesario un aglutinante debido a que se supera las temperaturas que elasticidad de las biomasa facilitando la compactación (Aransiola et al., 2019, p.1).



**Ilustración 6-2:** Briquetadora industrial

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 2.2.5. Parámetros y variables para elaboración de briquetas

Para la elaboración de briquetas se necesita tener presente los parámetros que definirán la calidad de la briqueta, propiedades mecánicas y la complejidad de la fabricación de la misma, antes de entrar a los parámetros de elaboración de las briquetas se debe elegir la escala de producción, en esta investigación se habla de escala semi-industrial.

#### 2.2.5.1. Humedad

En el caso de humedad para una producción a escala semi-industrial debemos tener una mezcla de biomasa homogénea con una humedad no superior al 20% ni tampoco inferior al 15%, una mayor humedad puede derivar una sobre activación del aglutinante que va a tender a pegarse en el molde de la briquetadora, mientras que una humedad inferior dará como resultado una mezcla deficiente para briquetas, estas pueden ser quebradizas (Aransiola et al., 2019, p. 15).

#### *2.2.5.2. Tamaño de partícula (diámetro de partícula)*

De acuerdo con Aransiola et al., (2019, p.1) el tamaño de partícula es importante ya que los residuos agroindustriales son difíciles de compactar en su estado natural, por ello la necesidad de triturarlos y tamizarlos, la granulometría debe estar dentro del parámetro de 3 mm, mientras más fina sea la partícula la briqueta tiene mejor compactación, y las propiedades físicas mejoran en cuanto a su dureza.

#### *2.2.5.3. Tipo de aglutinante*

El aglutinante cumple la función de pegamento para las partículas de las biomásas. Los aglutinantes (ligantes, aglomerantes) son sustancias que son capaces de generar fuerzas para unir fragmentos, partículas de una o varias sustancias o materiales y dar cohesión al conjunto por métodos físicos, químicos o térmicos (Okot et al., 2022, p.3).

#### *2.2.5.4. Presión y temperatura*

La compactación de biomasa representa a todo un conjunto de tecnologías para la conversión de la materia prima en combustible, presenta ventajas de manejo, transporte, almacenamiento del material, etc. Esta tecnología ayuda a expandir el uso de la biomasa como fuente productora de energía. La compactación de la materia prima mejora sus características como combustible, por ejemplo, aumenta su poder calorífico, reduce el costo de transporte y puede ser fuente fundamental de uso en las zonas rurales en donde no se tiene acceso a otros tipos de combustibles (Nikiema et al., 2022, p.2).

### ***2.2.6. Residuos agroindustriales sólidos***

Los residuos agroindustriales hacen referencia a todo material lignocelulósico de origen vegetal, luego de la cosecha tenemos rastrojos con alto interés en cuanto a su uso, debido a que las plantas generalmente se quedan con la mayoría de las componentes de las plantaciones, también los restos de la industria maderera como el aserrín es usado como una fuente de energía alternativa perteneciente a los residuos agroindustriales (Corredor and Pérez 2018, p.60).



**Ilustración 7-2:** Residuos agroindustriales

Fuente: Paredes, 2019.

### **2.2.7. Piña**

Es una planta tropical, se cultiva en lugares con ambientes cálidos, es un fruto muypreciado a nivel internacional por su rico sabor. La piña es originaria de América Tropical, especialmente en Brasil, su nombre fue dado por los colonizadores en 1943, el significado hace referencia a su parecido con la fruta del pino, el nombre original es Anana, de donde proviene su nombre científico (Montilla et al., 1997, p. 17), Como en la mayoría de frutas tropicales la piña es usada como alimento dulce, la cascara y el tronco son los residuos que son desechados ya que no tienen buen sabor, la cáscara de piña contiene un alto nivel de fibra compuesto por lignina, hemicelulosa, celulosa, agua y minerales en baja proporción

### **2.2.8. Quinoa**

Es una planta que produce semilla con alto valor nutricional debido a que tiene un gran nivel de proteínas, además cuenta con los aminoácidos esenciales, se considera una planta resistente al estrés ambiental, es decir, que soporta niveles de temperatura variante, por ello es originaria de la Mesta Andina (Asher et al, 2020, p.1).

Este producto es considerado un alimento nutritivo y sostenible debido a las características únicas que presenta junto al amaranto y trigo sarraceno son los tres pseudocereales más importantes, en especial la quinoa demuestra gran potencial agronómico debido a su productividad en suelos hostiles tales como: alta salinidad, gran altitud, en conclusión, condiciones climáticas intolerables para otras plantas (Romano y Ferranti, 2022, p.1).

### **2.2.9. Nanopartículas**

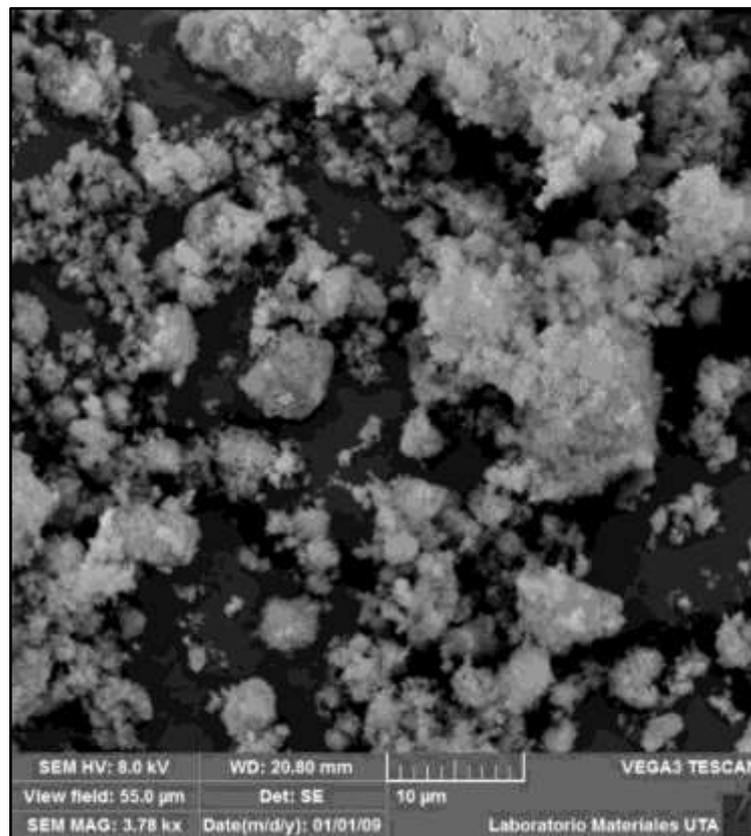
Son los materiales que han sido sintetizados o naturalmente manufacturados, también de origen natural, incluye establecer un tamaño que oscila entre 1 y 100 nm, se usan para modificar la composición molecular ya que muchas de las nanopartículas modifican las características

iniciales de una molécula, entre las características de los nanomateriales tenemos gran conductividad, electromagnéticas y buenos magnetos (Camacho et al. 2016, p. 16).

### 2.2.9.1. Nanopartículas metálicas

Se conoce como nanopartículas a la materia inorgánica sintetizada a escala microscópica, para ser considerada una nanopartícula de aluminio esta debe ser sintetizada a partir de un metal constituido generalmente en una solución acuosa básica, los parámetros establecidos para considerarse una nanopartícula deben tener un diámetro inferior a 100 nanómetros, que se traduce a un millar de átomo (Hernández et al., 2013, p.18).

En la actualidad las nanopartículas tienen un amplio estudio debido a las propiedades que estas pueden ofrecer en campos como aleaciones, electrónica, catalizadores, térmicas; pero su principal aplicación en cuanto a nanopartículas metálicas se refiere está en el campo óptico, estas pueden ser buenas conductoras o semiconductoras un claro ejemplo las nanopartículas de oro y plata, estas pueden mantener el flujo electromagnético a distancias considerables sin una pérdida de energía considerable (Hernández et al., 2013, p. 8).

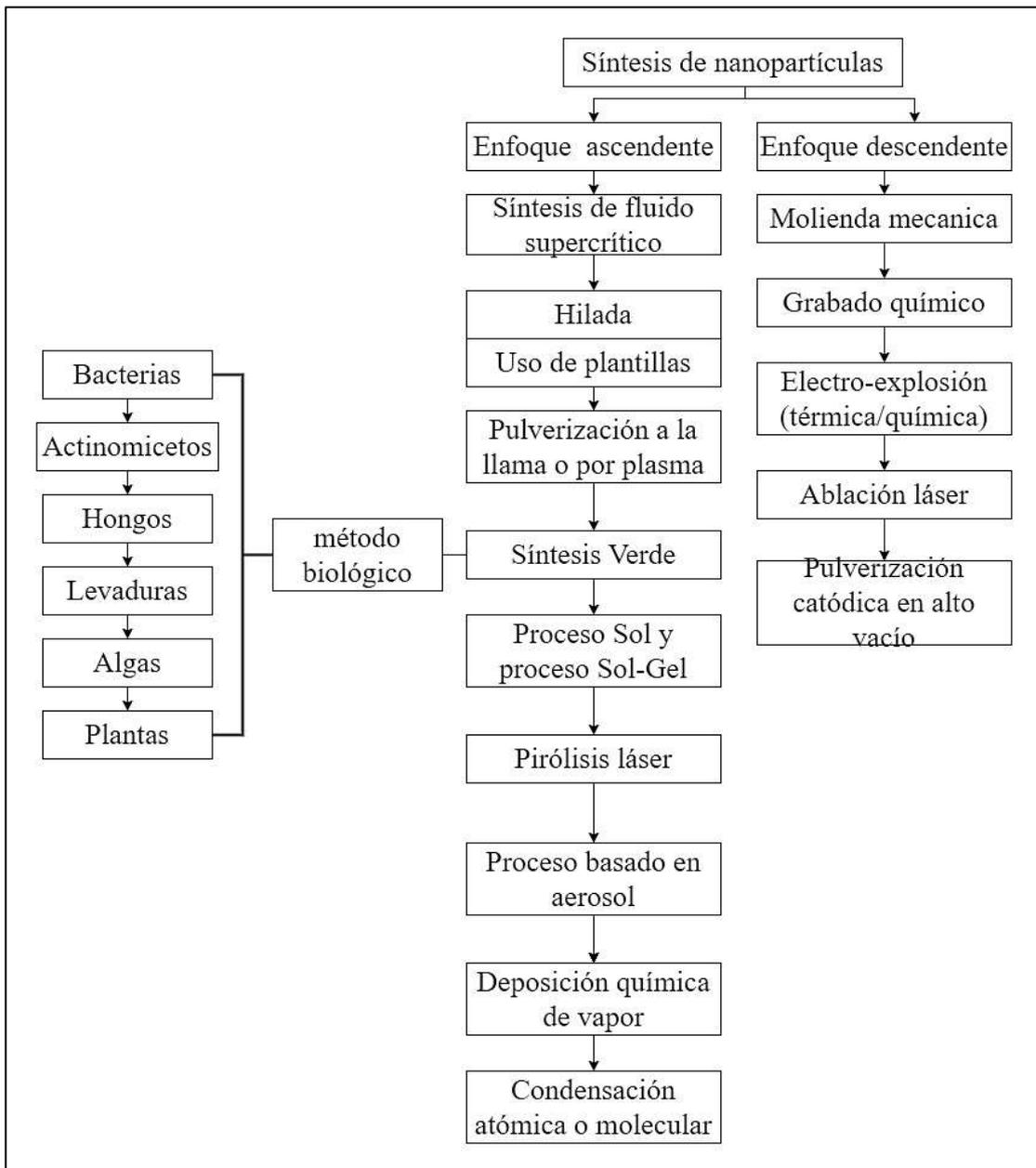


**Ilustración 8-2:** Imagen de nanopartículas de aluminio (SEM)

Fuente: Robalino., 2020.

### 2.2.9.2. Métodos de síntesis de nanopartículas

Tenemos diferentes formas de obtener las nanopartículas entre ellas podemos mencionar métodos físicos, químicos y biológicos dependiendo de los resultados a obtener, como por ejemplo diámetro de partícula en una escala de 5 nm y 100 nm se usa como conductores eléctricos (Hernández et al., 2013, p.19).

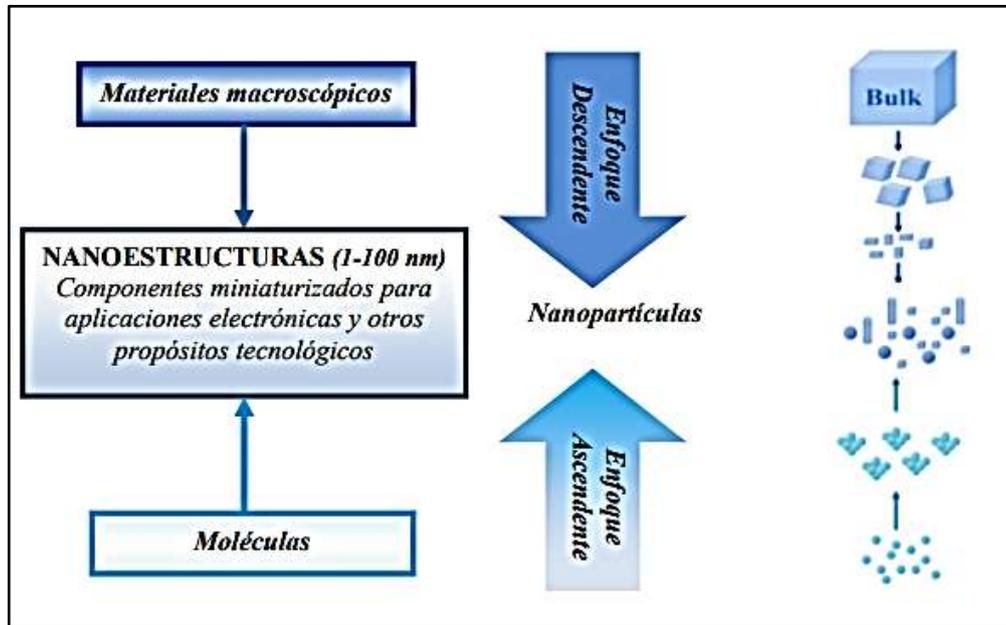


**Ilustración 9-2:** Métodos físicos, químicos y biológicos de síntesis de nanopartículas.

Fuente: Hernández et al., 2013.

Para lograr el objetivo de síntesis de nanopartículas se puede elegir dos opciones la más común que es la reducción de tamaño que se le denomina descendente generalmente dentro de esta

técnica encontramos procesos físicos de reducción de tamaño, y la ascendente consiste en usar microorganismos o por reacciones químicas en sustancias químicas acuosas, generando aglutinamientos que derivan a un diámetro requerido (Hernández et al., 2013, p. 21).

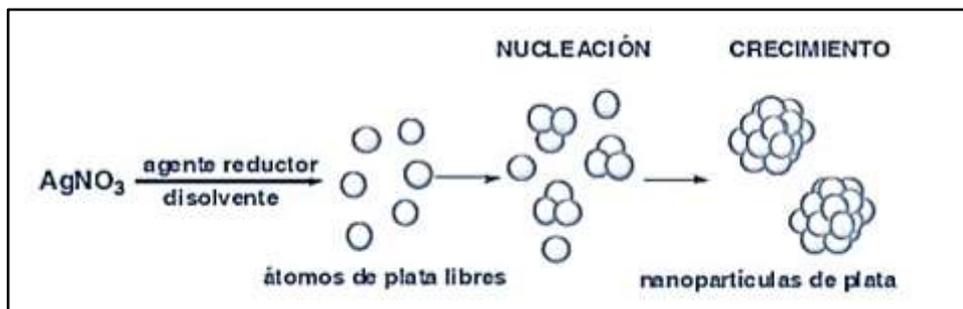


**Ilustración 10-2:** Comparación de métodos estratégicos para sintetizar nanopartículas

Fuente: Hernández et al., 2013, p.21.

### 2.2.9.3. Métodos de síntesis química de nanopartículas metálicas

Para la síntesis de nanopartículas vía un catalizador se denomina camino químico, la composición está conformado por agua y un agente reductor, la elección del agente reductor tiene una relación proporcional a la nucleación, la velocidad de este proceso influye la forma que toma la nanopartícula, también el tamaño (Hernández et al., 2013, p.22). Para seguir este método se necesita una solución acuosa compuesta por agua y sales del metal sugerido, claro está que también se debe elegir un agente reductor soluble en agua para aglutinar pequeñas partículas de metal.

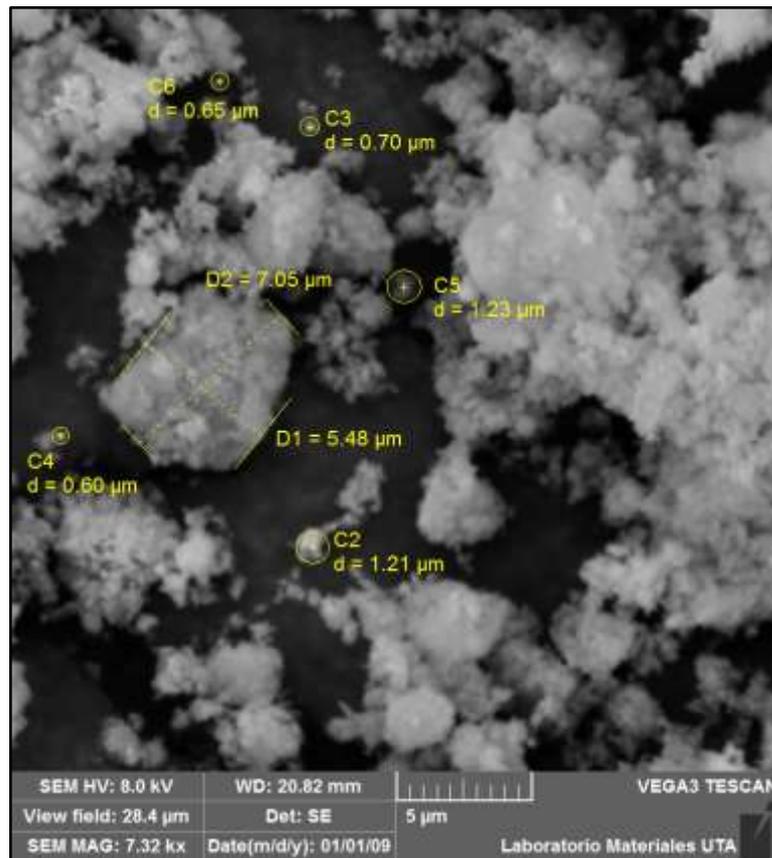


**Ilustración 11-2:** Ejemplo de formación de nanopartículas vía química

Fuente: Hernández et al., 2013.

### 2.2.10. Nanopartículas de aluminio

Las nanopartículas de aluminio se caracterizan por ser muy reactivas en pequeñas concentraciones, en combinación con otros metales puede formar una capa de recubrimiento ante la oxidación, las NmAl han demostrado grades cualidades como lo son alta resistencia el aluminio se oxida naturalmente, pero el óxido no debilita al metal, tan solo forma una capa de oxido que sirve como un aislante para el metal que impide que se desgaste (Nduni et al., 2021, p.1).



**Ilustración 12-2:** Diámetro de partícula de NmAl (SEM)

Fuente: Robalino., 2020...

#### 2.2.10.1. Aplicaciones de nanopartículas de aluminio

Recientes investigaciones aseguran que las NmAl son grandes sustituyentes en las aplicaciones plasmónica, esto significa que las NmAl favorecen a la formación de un campo electromagnético opuesto a las ondas producidas por la luz, generando dos dipolos uno positivo y otro negativo siempre en dirección contraria a la que se mueven las ondas de luz esto quiere decir que son aplicables para el diseño de sensores plasmáticos, en procesos industriales, para celdas solares y

en la biología para aplicaciones para detectar moléculas que se encuentran aisladas (Zhang et al., 2019). También las nanopartículas de aluminio pueden ser usadas en conjunto con otros metales como es en el caso de galio, estos dos metales justos entran en carrera para la investigación en la industria energética, el aluminio junto al galio en contacto con agua genera una deshidrogenación sin la necesidad de proporcionar energía para ello, por esta razón se investiga la formación de hidrogeno a partir de esta mezcla de metales en agua (Amberchan et al., 2022).

### ***2.2.11. Poder calorífico***

El poder calorífico está definido como la porción de energía que una cantidad de masa determinada libera después de sufrir una reacción química de oxidación, donde se puede producir vapor de agua, dióxido de carbono y energía en forma de calor, como residuo quedan los minerales no reaccionantes que se denominan cenizas (Vignote, 2016, p.15).

También es conocido como contenido calórico, y está determina la cantidad disponible de energía de una unidad de masa de la biomasa, la unidad de medida es Joule por unidad de masa, (de Lucas et al, 2012, p. 8), la energía que se libera en forma de calor cuando los componentes de una biomasa reaccionan con oxígeno para generar una combustos completa, de esta forma también podemos hablar de poder calorífico inferior, superior y poder calorífico neto (Vignote, 2016, p. 15).

#### ***2.2.11.1. Poder calorífico inferior***

El poder calorífico inferior hace alusión a la energía disponible en una biomasa después de ser quemada por completo, pero sin tomar en cuenta el calor latente aportado por el vapor de agua dentro de la composición de la biomasa generada luego de la reacción de combustión, no se toma en cuenta debido a que el estado del agua no cambia durante la combustión, se expulsa como vapor de agua (Quirino et al., 2005, p.101).

#### ***2.2.11.2. Poder calorífico superior***

El poder calorífico superior es la cantidad de energía desprendida por una biomasa luego de una combustión completa, pero cuando el vapor de agua generado por la reacción se condensa y su calor latente es tomado en cuenta para el poder calorífico (Lucas et al., 2012, pp. 8-9).

#### ***2.2.11.3. Poder calorífico de diferentes tipos de biomasa***

El poder calorífico de la biomasa esta intimidante relacionado con la composición química, se puede obtener el poder calorífico de dos formas un análisis en una bomba calorimétrica, la cual da un valor de poder calórico superior, es decir, sin tomar en cuenta el valor calórico aportado por el agua, el otro método es el que se usa formulas preestablecidas que relacionan los elementos químicos presentes en la composición química de la biomasa (Lucas et al., 2012, p.9).

**Tabla 7-2:** Poder calorífico inferior de residuos agroindustriales

<b>Biomasa</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Poder calorífico Inferior (Kcal/Kg)</b>
Leñas y ramas	20	3590
Serrines y virutas	15	3790
Cortezas	20	3650
Orujillo	15	3780
Almendra	10	3940
Piñón	10	4090
Cacahuate	10	3480
Paja de cereal	10	3630
Cascarilla de arroz	10	3370
Girasol	10	3310

**Fuente:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008, p.10.

**Realizado por:** Caiza, R., 2022.

#### *2.2.11.4. Relación de composición química y poder calórico*

La relación de la composición química con el poder calorífico es inevitable, debido a que el poder calorífico esta dado por la energía liberada en forma de calor por la combustión completa de un gramo de muestra es importante conocer la composición química, si los cálculos son efectuados en presencia de humedad hablamos del poder calorífico inferior el más realista cuando se necesita encontrar un buen biocombustible a partir de biomosas, cuando se conoce la composición química de la biomasa se pueden emplear fórmulas para poder determinar el poder calorífico sin la necesidad de un ensayo en la maquina (Lucas et al., 2012, p. 9).

#### *2.2.12. Bomba de calor*

Dispositivo usado para medir el poder calorífico de una sustancia al ser quemada en presencia de oxígeno a altas presiones, el análisis se lleva a cabo debido a la combustión completa del analito

en un espacio termosellado y hermético, el mecanismo usado para medir el poder calorífico se da gracias a la transferencia de calor durante la combustión del analito (Pinilla and Aguilera 2018, p.6)



**Ilustración 13-2:** Bomba calorimétrica GDY-1A

Realizado por: Caiza, R., 2022.

## **CAPÍTULO III**

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Enfoque de Investigación**

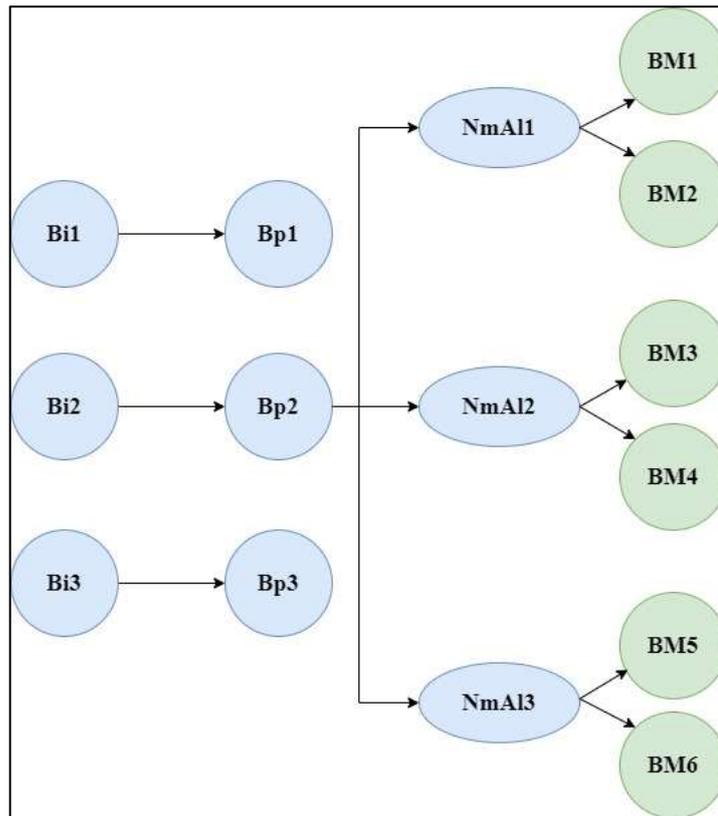
La naturaleza del presente trabajo de investigación está basada en el enfoque mixto, generando un proceso de investigación, donde se requieren cantidades exactas de biomasa a base de tallos de quinoa y cáscara de piña, añadiendo a la biomasa NmAl en proporciones definidas para determinar el poder calorífico de las muestras mediante un estudio estadístico, analizaremos el comportamiento de la Biomasa modificada en cuanto a su composición combinada con nanopartículas, para ampliar más la teoría sobre Biomosas modificadas.

#### **3.2. Nivel de Investigación**

El nivel de investigación está basado en el tipo exploratoria-descriptiva, al ser un estudio nuevo en cuanto a biomosas combinadas con NmAl es muy escaso encontrar investigaciones similares, generalmente se encuentran análisis de biomosas leñosas utilizadas en la producción de energía alternativa, pero no hay antecedentes similares a una combinación de residuos agroindustriales modificados para elevar el poder calorífico, por ello, esta investigación está dirigida a explorar nuevas formas de aumentar el poder calorífico inicial de biomosas, en consecuencia a la adición de NmAl, después de determinar su poder calorífico de describirá los resultados, cómo influye la composición de una biomasa inicial en comparación con una biomasa modificada con nanopartículas.

#### **3.3. Diseño de Investigación**

El proyecto de investigación está enfocado en un diseño experimental, debido a que se busca determinar el poder calorífico de biomosas en diferentes proporciones de biomasa y NmAl, teniendo así una variable dependiente que será el poder calorífico de la biomasa mezclada con nanopartículas. Para llevarlo a cabo tendremos: 2 tipos de residuos agroindustriales (cáscara de piña y tallos de quinoa); B1, B2, B3. Y 3 tipos de Biomasa Modificadas; BM1, BM2, BM3. Se describe en el Ilustración 1-3.



**Ilustración 1-3:** Diseño experimental para la investigación científica.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

Después de ilustrar la parte experimental se deben definir las cantidades con las cuales se decidieron trabajar, esto posterior a una revisión bibliográfica, se decide usar dos materias agroindustriales denominadas biomasa en adelante, la cáscara de piña no ha tenido mayor aprovechamiento posterior al consumo de la pulpa de la fruta del mismo nombre, junto a la observación se puede afirmar que es una materia de fácil acceso durante el año, la segunda biomasa es el tallo de quinoa, se selecciona para darle un valor agregado a los cultivos de quinoa en la provincia de Chimborazo al ser considerado un super alimento esta es cultivada en grandes extensiones de terreno, pero no se aprovecha los rastrojos que se denomina residuos agroindustriales.

Para la primera etapa se decide trabajar con tres mezclas de los residuos la primera mezcla se denomina B1 con una proporción de 50:50; B2 con una proporción del 75:25, es decir 75% en peso de cáscara de piña y 25% en peso de tallos de quinoa; finalmente se invierte las proporciones B2 esto se traduce en 25:75, dando como resultado 25% en peso cáscara de piña y 75% en peso de tallos de quinoa, se resume en la Tabla 1-3.

**Tabla 1-3:** Diseño experimental para la combinación de biomasas

Mezclas de Biomasa	Biomasa	
	PI	TQ
B1	50% peso	50% peso
B2	75% peso	25% peso
B3	25% peso	75% peso

Realizado por: Caiza, R., 2022.

Donde:

- **B1:** Biomasa de residuos agroindustrial de tallos de quinoa y cáscara de piña en proporciones 50:50.
- **B2:** Biomasa de residuos agroindustrial de cáscara de piña y tallos de quinoa en proporciones 75:25 respectivamente.
- **B3:** Biomasa de residuos agroindustrial de cáscara de piña y tallos de quinoa en proporciones 25:75 respectivamente.
- **TQ:** Biomasa de residuo agroindustrial tallos de quinoa
- **PI:** Biomasa de residuo agroindustrial cáscara de piña

Para la segunda etapa de la investigación se elegirá la combinación de biomasa con mayor poder calorífico determinado mediante el análisis en la máquina “GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter”, posteriormente esta será mezclada con NmAl en diferentes cantidades, de la misma forma se deberá hacer dos repeticiones de cada formulación de biomasas modificadas, estas tendrán las proporciones de 30 mg, 50 mg y 100 mg, esto quiere decir que, crearemos 6 analitos que serán sometidos a las pruebas de análisis de poder calorífico en la maquina antes mencionada, el proceso se describe en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Formulación experimental de mezcla de biomasas y nanopartículas de aluminio

Biomasa Modificadas	Combinaciones	
	Biomasa con mayor poder calorífico	NmAl
BM1	Bp	30 mg/g
BM2	Bp	30 mg/g

BM3	Bp	50 mg/g
BM4	Bp	50 mg/g
BM5	Bp	100 mg/g
BM6	Bp	100 mg/g

**Realizado por:** Caiza, R., 2022.

Donde:

- **Bp:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico.
- **BM1:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 30 mg/g.
- **BM2:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 30 mg/g.
- **BM3:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 50 mg/g.
- **BM4:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 50 mg/g.
- **BM5:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 100 mg/g.
- **BM6:** Biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico (Bp) modificada con NmAl 100 mg/g.
- **NmAl:** Nanopartículas de aluminio.

**Nota:** El diseño experimental referente a la segunda etapa mostró deficiencia en cuanto a la cantidad de nanopartículas a utilizar, debido a diferentes factores el diseño fue cambiado después de analizar la situación, los percances que se tuvieron se mencionan en el siguiente listado:

- Las cantidades establecidas son muy pequeñas para realizar una mezcla entre sólidos, esto no garantiza la fiabilidad de los ensayos posteriores.
- En la universidad no se tiene un mezclador de sólidos ultrasensible para mezclar los ensayos con cantidades muy pequeñas.
- Las muestras que ingresan al equipo “GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter” es de 0,7 a 1 gramos, esto dificulta ver el comportamiento de las NmAl mezcladas con la biomasa de mayor poder calorífico.

En el nuevo diseño experimental se decidió cambiar las cantidades preestablecidas por porcentajes en masa, se optó por 10%, 20% y 30% en peso de nanopartículas de aluminio.

### ***3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente***

En este caso tenemos la manipulación de proporciones de las diferentes biomásas, por lo tanto, la investigación es experimental, al tener dos biomásas vamos a elaborar Biomasa modificada con diferentes proporciones de tallos de quinoa y cáscara de piña, además, tenemos otra variable independiente como lo es las NmAl, esto hace que tengamos tres variables independientes. Las anteriores variables van a modificar el poder calorífico de la Biomasa modificada final. Al manipular las variables independientes vamos a generar diferentes resultados, mientras que, en relación a la variable dependiente, si aumentamos la cantidad de tallos de quinoa en referencia a la de cáscara de piña obtendremos diferente poder calorífico ya que la composición química de la materia prima es diferente, en primera instancia esa sería una de las perturbaciones que podemos generar, luego tenemos la adición de NmAl que de igual forma cambiara el poder calorífico.

#### ***3.3.1.1. Variables independientes***

- **Cantidad de cáscara de piña:** Biomasa o residuo agroindustrial que tiene una composición química definida, dentro de esta podemos identificar celulosa, lignina, hemicelulosa, agua y minerales en baja proporción.
- **Cantidad de Tallos de quinoa:** Biomasa o residuo agroindustrial que tiene una composición química definida, dentro de esta podemos identificar celulosa, lignina, hemicelulosa, agua y minerales en baja proporción.
- **Cantidad de nanopartículas de aluminio:** Es un compuesto sintetizado a partir de un metal del mismo nombre, con grandes propiedades electromagnéticas y ópticas.

#### ***3.3.1.2. Variable dependiente***

- **Poder calorífico:** Energía en forma de calor desprendida después de una oxidación de materia orgánica, se mide en Julios por gramos de muestra (comburente).

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

Es un trabajo del tipo longitudinal, se tomó información de lo observado durante la determinación del poder calorífico, además se obtuvieron datos que definieron las conclusiones en cuanto a los factores fisicoquímicos que afectan al poder calorífico de una Biomasa modificada de residuos agroindustriales modificada con NmAl. Es un trabajo que sigue una secuencia definida,

determinación de C, N, % ceniza, % humedad de los tallos de quinoa y cáscara de piña, luego la elaboración de Biomasa modificada y su determinación de poder calorífico. El procedimiento se repite, incluyendo las biomásas modificadas con NmAl. Al determinar la biomasa más eficiente se aplica las combinaciones con distintos valores de nanopartículas.

### **3.4. Tipo de estudio**

El tipo de estudio es de campo, debido a que se toman los residuos agroindustriales presentes en los campos de cultivo en la provincia de Chimborazo en el caso de los tallos de quinoa y por parte de la cáscara de piña se toman muestras que se consideran residuos sin ser modificados previo a los estudios. Al ser tomadas las muestras de los residuos agroindustriales se procede con los respectivos análisis para ser caracterizados, esto ayudara a un definir las condiciones para determinar el poder calorífico.

### **3.5. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

Cuando se habla de la población hacemos referencia a nuestra biomasa en general la cual fue de 2 kg de cáscara de piña tomadas del mercado la “Condamine” de la ciudad de Riobamba, 2 kg de tallos de quinoa tomados de Colta un cantón de Chimborazo que se destaca por los cultivos andinos que se encuentra en los campos, ponemos especial interés en la quinoa debido al auge que tiene por su alto valor nutricional, con planes de recuperación del cultivo ancestral para el procesamiento en micro emprendimientos. Los cultivos de quinoa en la provincia de Chimborazo representan una gran ventaja para obtener la materia prima del estudio, los agricultores dejan el residuo agroindustrial (tallos de quinoa) después de ser trillados, esta biomasa no tiene un tratamiento posterior para su aprovechamiento.

**Población:** 3 proporciones de biomásas modificadas de origen agroindustrial.

**Planificación:** Se realizará dos ensayos de agregación de NmAl (10%, 20%, 30%) a la biomasa modificada que demuestre mayor poder calorífico, cada ensayo se repetirá dos veces para tener como resultado 6 muestras de biomásas modificadas con nanopartículas, para un posterior análisis del poder calorífico.

Selección:

- **Primera selección:** de las tres biomásas modificadas de residuo agroindustrial, se tomó la que mejor poder calorífico presentó en las pruebas con la bomba de calor.
- **Segunda selección:** biomasa modificada con mayor poder calorífico, se modificó la biomasa con NmAl en diferentes porciones, para un posterior análisis de 6 analitos modificados.

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

La determinación del poder calorífico de una biomasa modificada con NmAl, fue un procedimiento nuevo en cuanto a un contexto globalizado, no existieron estudios previos que abarquen el tema global, pero si los pasos previos para realizar este análisis.

#### 3.6.1. Caracterización de NmAl

**Tabla 3-3:** Metodología para análisis SEM de NmAl

	<b>Metodología</b>
<b>Análisis en Microscopio de barrido electrónico (SEM)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Metalizar la muestra, para obtener una mayor resolución de imagen.</li><li>• Colocar la muestra metalizada en la placa de carbono.</li><li>• Poner la placa de carbono con la muestra en el portaobjetos del microscopio.</li><li>• Realizar descargas eléctricas para empezar a obtener imágenes.</li><li>• Mover el mouse del computador que controla la lupa del microscopio.</li><li>• Repetir los dos pasos previos hasta obtener una imagen clara.</li><li>• Capturar la imagen y comparar con bibliografía.</li></ul>

Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 4-3:** Metodología para espectroscopia infrarroja de NmAl

	<b>Metodología</b>
<b>Análisis de espectroscopia infrarroja (FT-IR).</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Colocar la muestra en INFRARED SPECTRUM.</li><li>• Aplicar una temperatura de 20°C y una longitud de onda de 589 nm.</li><li>• Observar la serie de picos (bandas) de absorción.</li><li>• Comparar los picos obtenidos con bibliografía.</li></ul>

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 3.6.2. Análisis proximal de la materia prima para biomásas

El análisis proximal ayuda a determinar la humedad y ceniza de las muestras, por ello, determinamos la cantidad de agua (humedad) de la biomasa, también es necesario encontrar la cantidad de ceniza de biomasa esto para comprobar y establecer la cantidad de minerales dentro de la composición química de cada muestra.

#### 3.6.2.1. Análisis proximal de humedad en biomasa

Las muestras son preparadas en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencia de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para la humedad se usa capsulas donde se repite cada ensayo dos veces para cada biomasa, es importante que el analito sea pequeño, es decir, deben ser cortado en trozos pequeños que faciliten la liberación de agua en forma de vapor para poder determinar la cantidad de H<sub>2</sub>O eliminado durante el proceso, el proceso se describe en la tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Metodología para análisis proximal de humedad de biomásas

Análisis	Procedimiento
<b>Humedad</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Lavar cápsulas y crisoles.</li><li>• Tarar las cápsulas dentro de la estufa durante 3 horas a 110°C.</li><li>• Colocar los materiales en el desecador hasta que se enfríen lo suficiente.</li><li>• Procede a pesar las muestras de biomasa 5 a 10g por muestra.</li><li>• Colocar las muestras en la estufa durante 24 horas a una 110°C.</li><li>• Colocar en el desecador las muestras, esperar 20 min.</li><li>• Pesar las muestras.</li><li>• Aplicar fórmula de sustancia seca en porcentaje en masa.</li><li>• Calcular la humedad.</li></ul>

Fuente: Lu et al., 2022.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

$$SS(\%) = \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \times 100\%$$

**Ecuación 1-3:** Porcentaje sustancia seca

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

**Ecuación 2-3:** Porcentaje de humedad

Donde:

- **SS (%):** Sustancia seca en porcentaje en masa.
- **m :** masa de cápsula tarada en gramos.
- **m<sub>1</sub> :** masa de la cápsula con la muestra en gramos.
- **m<sub>2</sub>:** masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento.

3.6.2.2. *Análisis proximal de ceniza en biomasa*

El análisis proximal de ceniza ayuda a establecer los minerales presentes en la composición química de la biomasa, con esto podemos afirmar el ensuciamiento que puede producir la biomasa al ser quemada durante una combustión completa, la preparación de la muestra se llevó a cabo en el laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se emplearon crisoles, para cada biomasa se realizan dos ensayos, la metodología se describe en la Tabla 6-3.

**Tabla 6-3:** Metodología para análisis proximal de ceniza de biomasa.

Análisis	Procedimiento
<b>Ceniza</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar capsulas y crisoles.</li> <li>• Tarar los crisoles dentro de la estufa durante 3 horas a 110°C.</li> <li>• Colocar los materiales en el desecador hasta que se enfríen lo suficiente.</li> <li>• Procede a pesar las muestras de biomasa 2 a 2.5g por muestra.</li> <li>• Incinerar las muestras con la ayuda de un reverbero.</li> <li>• Llevar a la mufla a 550°C durante 24 horas</li> <li>• Pesar las muestras.</li> <li>• Calcular el % ceniza.</li> </ul>

Fuente: Lu et al., 2022.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

$$\%C = \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \times 100\%$$

**Ecuación 3-3:** Porcentaje de ceniza en masa

Donde:

- **% C**: contenido de ceniza en porcentaje en masa.
- **m** : masa del crisol tarado en gramos.
- **m<sub>1</sub>** : masa de crisol después de la incineración en gramos
- **m<sub>2</sub>** : masa del crisol con la muestra antes de la incineración.

### 3.6.3. Análisis elemental del CHONS de biomasa

El análisis elemental sirve para determinar la composición química de una biomasa, para este proceso se debe usar el instrumento Eurovector mediante una combustión completa y un posterior análisis de gases, el equipo se encuentra en el edificio de investigación en el laboratorio del grupo de investigación GIABAQ de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la metodología se describe en la Tabla 7-3.

**Tabla 7-3:** Metodología para el análisis elemental de biomasa

Análisis	Procedimiento
Análisis elemental	<ul style="list-style-type: none"><li>• Preparar la muestra con un porcentaje de humedad inferior al 5%.</li><li>• El diámetro de la partícula debe ser muy 150 micrómetros.</li><li>• Pesar dos gramos de la muestra a analizar.</li><li>• La muestra se coloca en una cápsula de estaño prensadas.</li><li>• Colocar en analito en el equipo Eurovector.</li><li>• El equipo lanza las cantidades de cada elemento.</li></ul>

Fuente: Lu et al., 2022.

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 3.6.4. Determinación de poder calorífico de biomasa

Para determinar el poder calorífico de la biomasa se ocupa el equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter, donde se genera una combustión completa de la muestra, este proceso se lleva a cabo dentro de la cámara de ensayos, en esta se encuentra la muestra que debe pesar entre 0.7 gramos a 1 gramo colocado en un crisol metálico, sostenido por una base que a la vez hace de conductores para generar el paso de corriente eléctrica producida por los electrodos, la corriente hará que el cable de ignición o también llamado mechas de ignición se quemé entrando en contacto con la muestra con un exceso de oxígeno industrial al 99.6% de pureza.

### 3.6.4.1. Preparación de la muestra para bomba de calor

La muestra fue preparada en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la muestra debe tener un peso preestablecido en el manual del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter, de 0.7 gramos a 1 gramo, la humedad debe ser inferior al 5%, ya que el equipo calcula el poder calorífico superior, este no toma en cuenta el valor aportado por el vapor generado durante la muestra, cabe recalcar que se la muestra debe ser triturada previo a ser pesada, para ampliar la superficie de contacto con las mechas de ignición, el procedimiento se describe en la Tabla 8-3.

**Tabla 8-3:** Preparación de la muestra para entrar a la bomba calorimétrica

Análisis	Procedimiento
Preparación de la Muestra.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Medir la humedad de la materia prima, no debe ser superior a 5%.</li><li>• Trituras y tamizar la muestra para tener un diámetro menor, hasta que se compacten entre sí.</li><li>• Pesar la muestra entre 0.7 g a 1 g en un crisol metálico de preferencia un propio de la bomba Calorimétrica.</li><li>• Si la muestra se encuentra en polvo suelto.</li><li>• Colocar la muestra en el crisol metálico.</li><li>• Evitar derrames de la muestra fuera del crisol metálico.</li><li>• Comprimir la muestra pulverizada.</li><li>• Posicionar el crisol en el soporte anclado al cabezote de la capsula de ensayos.</li><li>• Cortar de 6 cm a 7.5 cm de mechas de ignición.</li><li>• Colocar el cable en forma de U, verificando que este no se sumerja en la muestra, pero que si este en contacto con la muestra.</li><li>• Asegurar el cable a los conductores del cabezal.</li><li>• Con cuidado tomar el cabezal y la capsula y cerrarla sin mover el cabezal solo la base.</li><li>• Conectar la capsula de ensayo a la manguera saliente del tanque de oxígeno industrial con pureza 99.6%.</li><li>• Suministrar el oxígeno durante 30 segundos con una presión constante de 3 MPa.</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desconectar la manguera de suministro de oxígeno.</li> <li>• Llenar agua en el tanque de pruebas 2.6 litros.</li> <li>• Llenar aproximadamente 16 litros en el sistema de enfriamiento de la bomba calorimétrica GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter.</li> <li>• Colocar la capsula de combustión en el tanque de pruebas asegurando que el agua no sobre pase el cabezal.</li> <li>• Conectar los electrodos en el cabezal y cerrar la bomba calorimétrica.</li> </ul>
--	--

Realizado por: Caiza, R., 2022.

#### 3.6.4.2. Ensayos en la bomba calorimétrica GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

Previo al análisis en la bomba se debe realizar una calibración con pastillas de ácido benzoico, esto para encontrar el poder calorífico de la máquina, posteriormente se realizan los ensayos con las muestras previamente preparados, se describe en las Tabla 9-3 y Tabla 10-3.

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

**Ecuación 4-3:** Calibración del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

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

**Ecuación 5-3:** Cálculo para determinar el poder calorífico

Donde:

- **E:** Capacidad calorífica del equipo  $\left(\frac{J}{^{\circ}C}\right)$
- **Q<sub>1</sub>:** Valor calorífico del Ácido benzoico  $\left(\frac{J}{g}\right)$
- **M<sub>1</sub>:** Peso del Ácido benzoico (g)
- **40:** Calor adicional del cable de encendido (J)
- **ΔT:** Incremento de temperatura en el sistema calorimétrico (°C)
- **Q:** Valor calorífico de la muestra  $\left(\frac{J}{g}\right)$
- **G:** Peso de la muestra de cada ensayo (g)

**Tabla 9-3:** Menú principal de la bomba calorimétrica

Análisis	Procedimiento
<p align="center"><b>Determinación de poder calorífico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar 2 litros de agua para estabilizar rápido el equipo.</li> <li>• Retirar el agua de las pruebas anteriores.</li> <li>• Agregar el agua caliente en el sistema de recirculación.</li> <li>• Conectar el sistema de recirculación a una fuente de 110V.</li> <li>• Esperar 15 minutos para estabilizar la máquina.</li> <li>• Conectar la bomba calorimétrica a una fuente de 110V.</li> <li>• Encender el equipo y abrir el paso de oxígeno a una presión de 400 psi.</li> <li>• Esperar que el equipo encienda los comandos en el menú principal.</li> <li>• Verificar el nivel de agua destilada para el correcto funcionamiento del equipo.</li> <li>• Seleccionar la operación del calorímetro.</li> <li>• Presionar calentador bomba.</li> <li>• Presionar ON/OFF.</li> </ul>

Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 10-3:** Funcionamiento del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

Análisis	Procedimiento
<p align="center"><b>Determinación de poder calorífico</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encender el variador de frecuencia.</li> <li>• Cambiar la frecuencia de 60 Hz a 50 Hz.</li> <li>• Encender equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter.</li> <li>• Presionar “Reset” seguido de “Stir”</li> <li>• Esperar de 6 a 10 tiempos hasta que se establezca la temperatura del agua.</li> <li>• Presionar “Ignite” para empezar la combustión dentro de la capsula.</li> <li>• Esperar de 26 a 31 tiempos (15 minutos), para terminar el ensayo.</li> <li>• Presionar finalizar, para ver los valores de cada tiempo presionar “Data”.</li> <li>• Presionar “Stir” para detener la agitación y extraer la termocupla, abrir la maquina y extraer la capsula de ensayo.</li> <li>• Desconectar los electrodos, secar la capsula.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Despresurizar la capsula de combustión y destapar.</li> <li>• Limpiar las piezas del cabezal y del cilindro.</li> <li>• Cambiar el agua del tanque de pruebas para realizar otro ensayo.</li> <li>• Repetir el procedimiento en todas las pruebas.</li> </ul> <p>Para finalizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verificar que la bomba calorimétrica libere la presión interna.</li> <li>• Retirar el cabezal de la bomba.</li> <li>• Retirar el crisol con el residuo de agua generado por de la chispa.</li> <li>• Limpiar la bomba y el cabezal evitando rayaduras.</li> <li>• Presionar la tecla “APAGADO”.</li> <li>• Apagar el equipo POWER/OFF.</li> <li>• Cerrar la válvula de paso de oxígeno.</li> <li>• Apagar el sistema de recirculación.</li> <li>• Desconectar el equipo de la fuente de energía.</li> </ul>
--	--

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 3.6.5. Elaboración de briquetas

#### 3.6.5.1. Preparación de biomásas

**Tabla 11-3:** Preparación de las biomásas para briquetas

	<b>Metodología</b>
<b>Preparación de biomásas para briquetas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recolección de materia prima (tallos de quinoa y cáscara de piña)</li> <li>• Secar la cáscara de piña durante 24 horas a una temperatura de 85°C.</li> <li>• Secar los tallos de quinoa durante 5 horas a una temperatura de 85°C.</li> <li>• Triturar las biomásas en un molino industrial.</li> <li>• Tamizar las muestras para obtener una granulometría igual o inferior a 3 milímetros.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analizar el contenido de humedad, este debe ser inferior a 5%.</li> <li>• Realizar la mezcla de las biomásas en proporciones iguales (50% tallos de quinoa y 50% cáscara de piña)</li> <li>• Agregar almidón de yuca (8.5 gramos en base de 100 gramos de biomásas) para ligar las biomásas</li> <li>• Poner 110 ml de agua en base de 100 gramos de biomasa</li> <li>• El agua debe estar incorporada en la mezcla de almidón.</li> <li>• Incorporar la solución de almidón a la mezcla de biomásas.</li> <li>• Se mezcla con un mezclador hélice durante 10 minutos.</li> </ul>
--	--

Realizado por: Caiza, R., 2022.

### 3.6.5.2. Briquetaje de las biomásas

**Tabla 12-3:** Formación de briquetas a partir de biomásas

Prensado y secado de biomásas	Metodología
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Llenar el molde con la mezcla de biomásas y aglutinante.</li> <li>• El tamaño y forma está definido por el molde y la presión que se aplicará.</li> <li>• Accionar la gata hidráulica hasta observar una presión de entre 0.8 a 1.7 MPa.</li> <li>• Retirar la muestra de cada molde y verificar tamaño y forma.</li> <li>• Secar las briquetas en una estufa a 100°C durante 4 horas o hasta que el peso sea constante.</li> <li>• Analizar la humedad de las briquetas, esta debe ser inferior a 15%</li> <li>• Almacenar las briquetas en un lugar seco y a temperatura ambiente.</li> </ul>

Realizado por: Caiza, R., 2022.

## CAPÍTULO IV

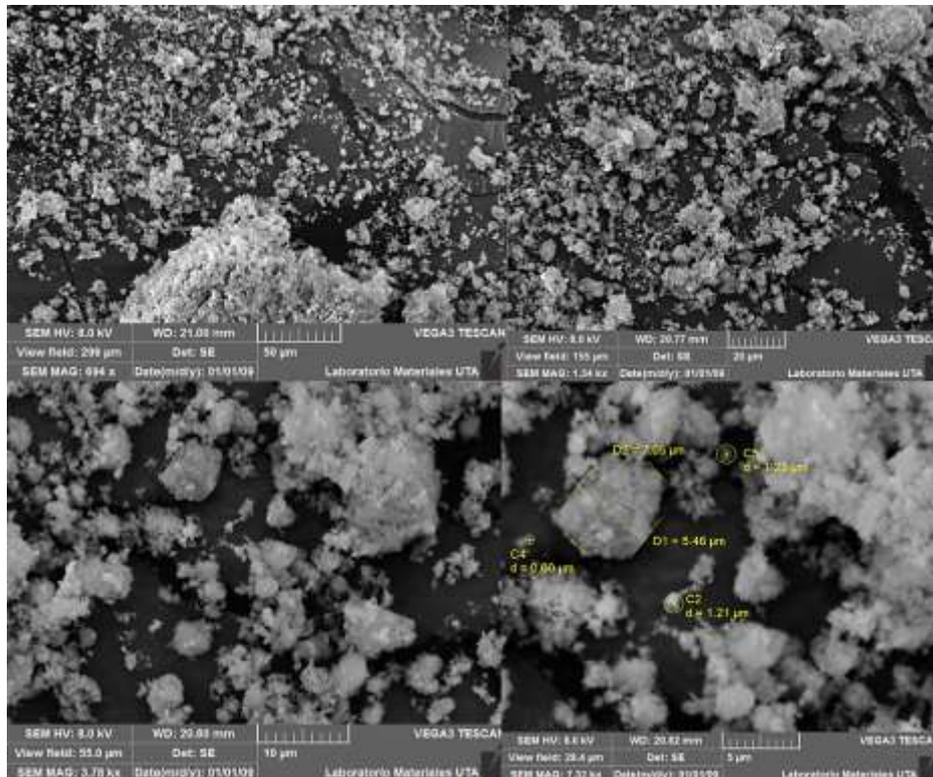
### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se dará un análisis a los resultados obtenidos y se formularán las conclusiones en base a los resultados y el comportamiento de la biomasa en función de su composición química, las mezclas de dos residuos agroindustriales y una posterior combinación con NmAl. De igual manera en tres diferentes porcentajes 10%, 20%, y 30%. El objetivo principal fue determinar el poder calorífico de la biomasa modificada con nanopartículas esperando un aumento del poder energético para una posterior aplicación en la industria, también encontramos una buena combinación de biomásas agroindustriales para elaborar briquetas y su posterior uso en diferentes aplicaciones afines a producción de energía.

#### 4.1. Cálculos y resultados

##### 4.1.1. Resultados de caracterización de nanopartículas de aluminio

###### 4.1.1.1. Resultados de análisis SEM de NmAl



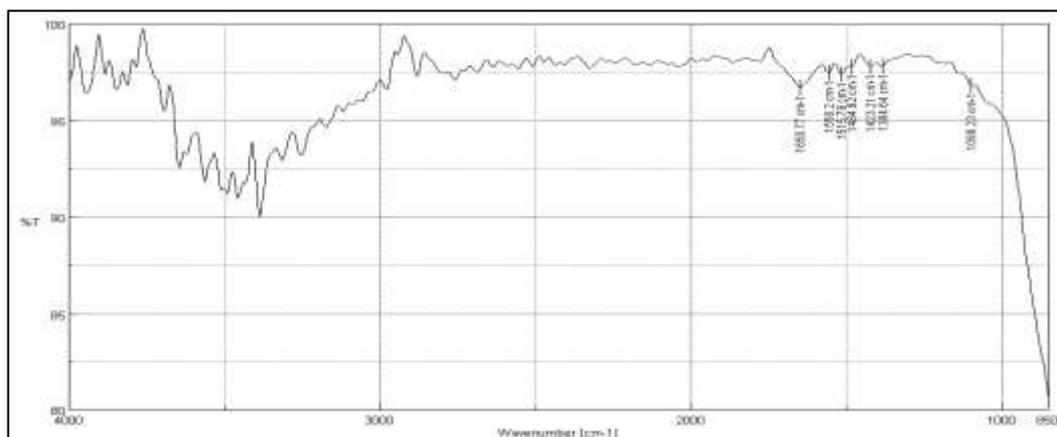
**Ilustración 1-4:** Imágenes de NmAl en microscopio electrónico de barrido (SEM)

Realizado por: Caiza, R., 2022.

El microscopio de barrido electrónico muestra imágenes de alta resolución de las muestras de nanopartículas de aluminio, estas fueron adquiridas en XFnano, originaria de China. Acerca de la empresa Jiangsu xfinano Materials Tech Co.,Ltd (xfnano) fue fundada en 2009, que es la primera empresa de grafeno, centrándose en la I + D y fabricación de grafeno, grafeno, puntos cuánticos de grafeno, nanotubos de carbono, tamices moleculares, nos dedicamos a ser uno de los mejores proveedores de grafeno en los campos de nanomateriales.

En las imágenes se puede evidenciar la presencia de cúmulos de nanopartículas de aluminio, de acuerdo al diámetro de partícula se afirma que son pertenecientes al parámetro nanopartículas, obteniendo partículas con diámetros de entre 5 nm y 50 nm, como asegura Boyd et al., (2011, pp. 38-39) las nanopartículas necesitan equipos de barrido atómico para ser caracterizados, en materiales esféricos se hace alusión al diámetro de partícula, en el caso de NmAl se evidencian en la ilustración 1-4 las formas circulares que se pudieron tomar el diámetro de partícula y afirman ser nanopartículas.

#### 4.1.1.2. Resultados de análisis FT-IR de NmAl



**Ilustración 2-4:** Picos de NmAl en espectroscopia de infrarrojo (FT-IR)

Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 1-4:** Datos de las pulsaciones de NmAl

Wavenumber [cm-1]	%T
1650.77	96.6745
1558.2	97.461
1515.78	97.3773
1484.92	97.766
1423.21	97.7693

1384.64	97.7921
1099.23	96.8125

Realizado por: Caiza, R., 2022.

Después de ejercer pulsaciones de frecuencia se evidencian los picos durante un tiempo, esto ayudó a definir la forma de la partícula también denominada la morfología, para corroborar los resultados se observaron estudios similares con la NmAl, de acuerdo al análisis de (Manogar et al., 2022) los picos pertenecen a l grafica del autor, en la tabla 1-4 se muestran los datos arrojados por la computadora, estos revelan la morfología similar al del óxido de aluminio, no se puede afirmar un parecido al 100% esto por el uso de diferentes equipos al momento de realizar el estudio, también el ruido de los alrededores hacen que los picos marquen diferentes intervalos.

#### 4.1.2. Cálculos de análisis proximal y elemental de biomosas

##### 4.1.2.1. Cantidad de ceniza en tallos de quinoa

- Aplicación de ecuación 3-3

Muestra 1 ( $C_{TQ}$ )

- $m = 39.3897 \text{ g}$
- $m_1 = 39.4779 \text{ g}$
- $m_2 = 41.5462 \text{ g}$

$$\%C = 4.0899\%$$

Muestra 2 ( $C_{TQ}$ )

- $m = 36.0313 \text{ g}$
- $m_1 = 36.1224 \text{ g}$
- $m_2 = 38.341 \text{ g}$

$$\%C = 3.9442\%$$

##### 4.1.2.2. Cantidad de ceniza en cáscara de piña

- Aplicación de ecuación 3-3

Muestra 1 ( $C_{CP}$ )

- $m = 27.172 \text{ g}$
- $m_1 = 27.1900 \text{ g}$
- $m_2 = 29.195 \text{ g}$

$$\%C = 0.8897\%$$

Muestra 2 ( $C_{CP}$ )

- $m = 34.1243 \text{ g}$
- $m_1 = 34.144 \text{ g}$
- $m_2 = 36.307 \text{ g}$

$$\%C = 0.9025\%$$

4.1.2.3. *Cantidad de agua en tallos de quinoa*

- Aplicación de ecuación 1-3 y ecuación 2-3

Muestra 1 ( $H_{TQ}$ )

- $m = 77.9809 \text{ g}$
- $m_1 = 84.6449 \text{ g}$
- $m_2 = 83.8543 \text{ g}$

$$\%Humedad = 11.8637\%$$

Muestra 2 ( $H_{TQ}$ )

- $m = 91.6176 \text{ g}$
- $m_1 = 97.755 \text{ g}$
- $m_2 = 97.0507 \text{ g}$

$$\%Humedad = 11.4755\%$$

4.1.2.4. *Cantidad de agua en cáscara de piña*

- Aplicación de ecuación 1-3 y ecuación 2-3

Muestra 1 ( $H_{CP}$ )

- $m = 100.226\text{ g}$
- $m_1 = 105.627\text{ g}$
- $m_2 = 101.675\text{ g}$

$$\%Humedad = 73.7175\%$$

Muestra 2 ( $H_{CP}$ )

- $m = 91.02\text{ g}$
- $m_1 = 95.764\text{ g}$
- $m_2 = 92.258\text{ g}$

$$\%Humedad = 73.9038\%$$

#### 4.1.2.5. Resultados e interpretación de análisis primal y análisis elemental

**Tabla 2-4:** Caracterización de residuos agroindustriales

		Análisis proximal de residuo agroindustrial			
		Tallos de Quinoa		Cáscara de piña	
Análisis proximal y elemental	% Carbono	49,279		45,829	
	% Nitrógeno	0,987		1,721	
	% Ceniza	4,0899	3,9442	0,8897	0,9025
	% Humedad	11,8637	11,4755	73,7175	73,9038

Realizado por: Caiza, R., 2022.

El análisis proximal de la biomasa está en estrecha relación con el poder calorífico y una posterior aplicación en la industria, el factor de ensuciamiento está determinado por el porcentaje de ceniza presentes en la biomasa, esto representa una desventaja al momento de elección del residuo agroindustrial, esto da como resultado aglomeraciones que impiden el correcto funcionamiento de las calderas Lachman et al., (2021, p. 1), con respecto a la humedad un alto contenido de agua sugiere un pretratamiento a la muestra para ser utilizada como un biocombustible sólido, generalmente estos se deben presentar como pallet, el proceso de paletización de acuerdo con Huang et al., (2017, p. 14) se ve influenciado por la humedad de la biomasa para diferentes especies de árboles se establecen de un 5% a 10% de contenido de humedad óptimo para ser aplicado en la industria en forma de pallets.

Como se observa en la tabla 2-4 el porcentaje de ceniza es mayor para los tallos de quinoa a comparación de la cáscara de piña, si se observa desde el punto de vista del poder calorífico de los tallos de quinoa expuestos en la tabla 2-4, el poder calorífico de la cáscara de piña es superior a la de los tallos de quino, y como asegura Beltrón et al., (2019, p. 35), mientras el porcentaje de ceniza disminuye aumenta el poder calorífico, como un valor agregado una residuo agroindustrial sólido que contenga porcentajes de ceniza bajo es óptimo para ser tratado y producir biocombustibles, por otro lado el porcentaje de ceniza de los tallos de quinoa hacen que el poder calorífico sea inferior al de la cáscara de piña.

Después de la revisión bibliográfica se puede decir que, un alto porcentaje de humedad afecta directamente a la calidad de un biocombustible, en el caso de la cáscara de piña se debe hacer un pretratamiento de secado para poder utilizarlo como biocombustible, en la tabla 2-4 se muestran las cantidades de humedad de los residuos agroindustriales. La cáscara de piña teniendo un aproximado de 73% de humedad sugiere ser sometida a un secado, como afirma Huang et al., (2017, p. 14), la humedad afecta a la paletización, es decir, genera complicaciones al momento de comprimir la biomasa para realizar pallets, muestras que los tallos de quinoa tienen una humedad aceptable con un aproximado de 11%, que favorece a la paletización.

#### **4.1.3. Determinación de poder calorífico de residuo agroindustrial**

##### **4.1.3.1. Calibración del equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter**

Hace falta recopilar datos en el equipo para luego aplicar de ecuación 4-3

**Tabla 38-4:** Variación de temperatura con pastillas de ácido benzoico

<b>Calibración de Equipo</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	20,941	8	21,533
0,5	20,96	8,5	21,549
1	21,031	9	21,563
1,5	21,056	9,5	21,578
2	21,158	10	21,593
2,5	21,209	10,5	21,607
3	21,257	11	21,621
3,5	21,312	11,5	21,634
4	21,349	12	21,648

4,5	21,383	12,5	21,662
5	21,413	13	21,675
5,5	21,439	13,5	21,688
6	21,461	14	21,701
6,5	21,481	14,5	21,714
7	21,499	15	21,728
7,5	21,516		

Elaborado por: Caiza, R., 2022.

Calibración de equipo GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter

- $Q_1 = 26457 \left(\frac{J}{g}\right)$
- $M_1 = 0.9794(g)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$

$$E = 32975.8396 \frac{J}{^{\circ}C}$$

#### 4.1.3.2. Poder calorífico de tallos de quinoa

- Aplicación de ecuación 5-3

**Tabla 4-4:** Variación de temperatura de biomasa tallos de quinoa

<b>Biomasa tallos de quinoa</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	22,597	8	23,454
0,5	22,777	8,5	23,458
1	23,061	9	23,458
1,5	23,186	9,5	23,462
2	23,257	10	23,465
2,5	23,303	10,5	23,467
3	23,335	11	23,469
3,5	23,36	11,5	23,471
4	23,379	12	23,473
4,5	23,395	12,5	23,474

5	23,409	13	23,475
5,5	23,419	13,5	23,476
6	23,429	14	23,476
6,5	23,437	14,5	23,477
7	23,444	15	23,478
7,5	23,449	15,5	23,478

Elaborado por: Caiza, R., 2022.

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7217 (g)$

$$Q = 43199.1335 \frac{J}{g}$$

#### 4.1.3.3. Poder calorífico de cáscara de piña

- Aplicación de ecuación 5-3

**Tabla 5-4:** Variación de temperatura de biomasa cáscara de piña

<b>Biomasa cáscara de piña</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
0	22,464	8	23,632
0,5	22,618	8,5	23,639
1	23,003	9	23,644
1,5	23,119	9,5	23,648
2	23,32	10	23,652
2,5	23,395	10,5	23,656
3	23,448	11	23,658
3,5	23,488	11,5	23,661
4	23,518	12	23,662
4,5	23,544	12,5	23,664
5	23,563	13	23,664
5,5	23,581	13,5	23,665

6	23,595	14	23,666
6,5	23,606	14,5	23,667
7	23,616	15	23,668
7,5	23,625	15,5	23,668

Elaborado por: Caiza, R., 2022.

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.9172 (g)$

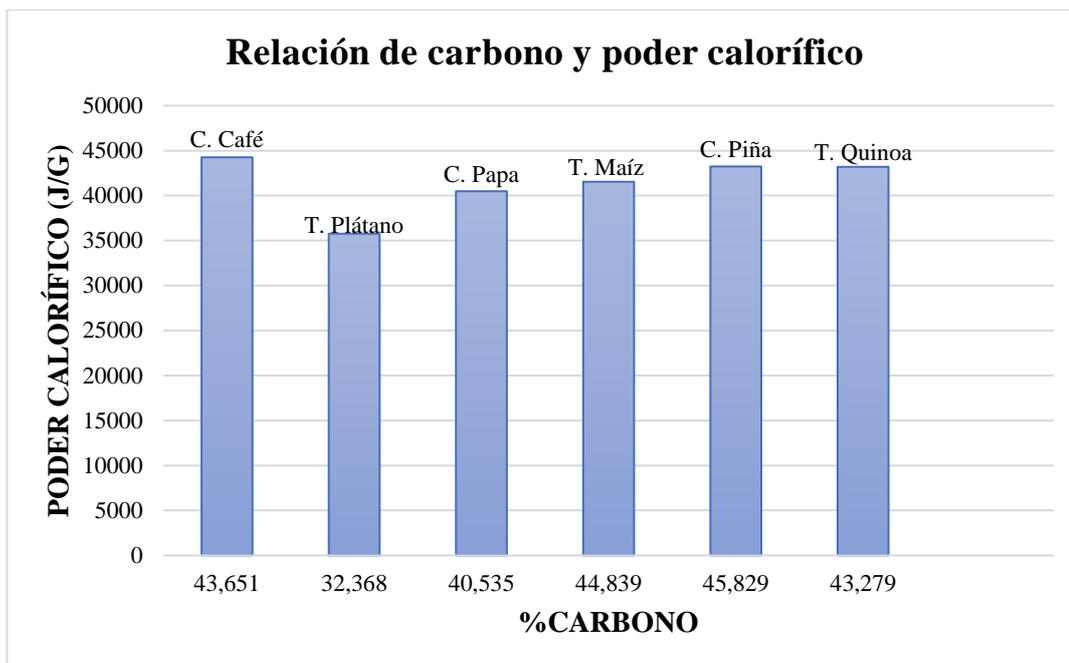
$$Q = 43243.4702 \frac{J}{g}$$

#### 4.1.3.4. Resultados e interpretación de poder calorífico de residuos agroindustriales

**Tabla 69-4:** Poder calorífico de residuos agroindustriales y la relación con % de Carbono

Análisis proximal de residuo agroindustrial		
Residuo agroindustrial	%Carbono	Poder calorífico (J/g)
Cáscara de café	43,651	44261,2845
Tallo de plátano	32,368	35767,079
Cáscara de papa	40,535	40487,3069
Tusa de maíz	44,839	41540,7778
Cáscara de piña	45,829	43243,4702
Tallos de quinoa	43,279	43199,1335

Realizado por: Caiza, R., 2022.



**Ilustración 3-4:** Relación poder calorífico y porcentaje de carbono en biomasa

Realizado por: Caiza, R., 2022.

Como materia prima tenemos al carbono dentro de la composición de cada residuo agroindustrial, por ellos es importante relacionar la cantidad de carbono disponible para generar la reacción completa de oxidación, es decir, si en la composición química tenemos altos niveles de carbono es biocombustible será más efectivo entregando un poder calorífico buen poder calorífico, pero de acuerdo con Beltrón et al., (2019, pp. 34-35) el poder calorífico no solo depende del carbono fijo sino también de la humedad, ceniza y el contenido de material volátil, esto se evidencia en la ilustración 17-4, donde se evidencia el poder calorífico no depende únicamente del carbono fijo. En el caso de tallos de quinoa y cáscara de piña los valores de carbono son: 43,279% C y 45,829% C respectivamente, y su poder calorífico es de 43199,1335 J/g y 43243,4702J/g en ese mismo orden, por lógica el poder calorífico del tallo de quinoa debería ser superior, pero no es el caso, después de la experimentación se puede afirmar que el poder calorífico también depende de la densidad de la biomasa, en la tabla 6-4 se muestra los valores de poder calorífico y %C que pueden confirmar las aseveraciones antes mencionadas,.

#### 4.1.4. Poder calorífico de mezcla de biomosas

- Aplicación de ecuación 5-3

**Tabla 7-4:** Variación de temperatura de las mezclas de biomasa en diferentes proporciones

<b>Mezclas de Biomosas</b>			
<b>Tiempo (min)</b>	<b>B1 (50:50)</b>	<b>B2 (25:75)</b>	<b>B3 (75:25)</b>
	<b>Temperatura (°C)</b>		
0	19,538	20,859	21,402
0,5	19,816	20,868	21,437
1	20,136	20,91	21,444
1,5	20,292	20,966	21,465
2	20,386	21,053	21,489
2,5	20,442	21,128	21,531
3	20,484	21,192	21,56
3,5	20,519	21,245	21,580
4	20,546	21,291	21,619
4,5	20,571	21,332	21,643
5	20,592	21,362	21,664
5,5	20,609	21,389	21,682
6	20,623	21,413	21,699
6,5	20,636	21,433	21,713
7	20,647	21,45	21,726
7,5	20,657	21,467	21,738
8	20,667	21,482	21,748
8,5	20,674	21,497	21,759
9	20,681	21,509	21,768
9,5	20,688	21,522	21,778
10	20,693	21,535	21,786
10,5	20,699	21,547	21,795
11	20,703	21,558	21,803
11,5	20,707	21,57	21,812
12	20,711	21,582	21,819
12,5	20,715	21,592	21,827

13	20,718	21,603	21,835
13,5	20,721	21,614	21,842
14	20,725	21,624	21,85
14,5	20,727	21,633	21,858
15	20,73	21,644	21,865
15,5	20,733	21,653	21,872

Realizado por: Caiza, R., 2022.

4.1.4.1. Poder calorífico de biomasa B1 (50% cáscara de piña y 50% tallos de quinoa)

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.8445 (g)$

$$Q = 46614.7167 \frac{J}{g}$$

4.1.4.2. Poder calorífico de biomasa B2 (75% cáscara de piña y 25% tallos de quinoa)

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.9732 (g)$

$$Q = 26862.7380 \frac{J}{g}$$

4.1.4.3. Poder calorífico de biomasa B3 (25% cáscara de piña y 75% tallos de quinoa)

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7294 (g)$

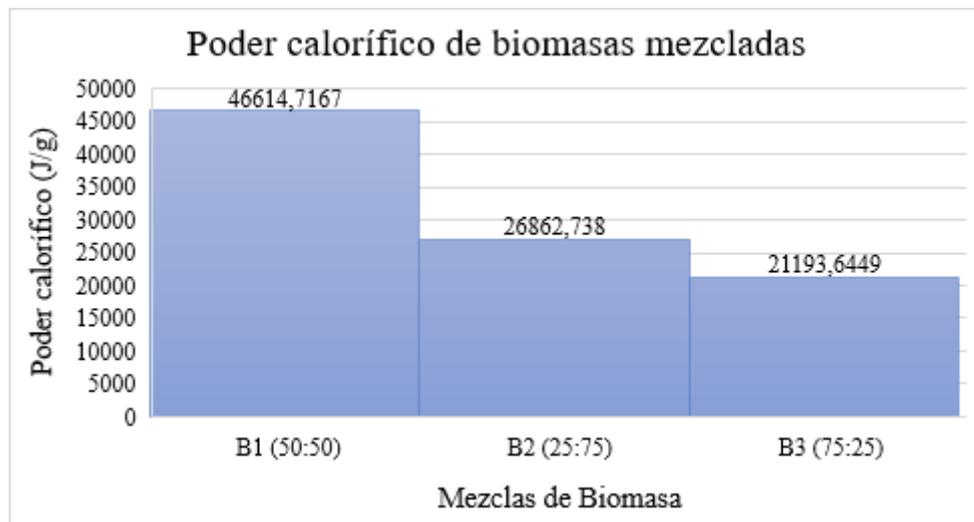
$$Q = 21193.6449 \frac{J}{g}$$

#### 4.1.4.4. Resultados e interpretación de poder calorífico de mezclas de biomásas

**Tabla 8-4:** Mezclas de biomasa y su poder calorífico

	Poder calorífico de Biomasa (J/g)		
	B1 (50:50)	B2 (75:25)	B3 (25:75)
Muestra (g)	0,8445	0,9732	0,7294
$\Delta T$ (°C)	1,195	0,794	0,47
Poder calorífico (J/g)	46614,7167	26862,738	21193,6449

Realizado por: Caiza, R., 2022.



**Ilustración 4-4:** Poder calorífico de combinación de biomásas en diferentes proporciones

Realizado por: Caiza, R., 2022.

En la ilustración 4-4, se observa la diferencia de los poderes caloríficos brindados por una biomasa modificada en cuanto a su proporción, se muestra que en proporciones diferentes de los tallos de quinoa o también de cáscara de piña no es producible, en las dos ocasiones cuando el tallo de quinoa está en mayor proporción B3 (25% cáscara de piña y 75% tallos de quinoa) el poder calorífico demuestra el punto más bajo, pero luego tenemos un poder calorífico bajo con la mezcla B2 (75% cáscara de piña y 25% tallos de quinoa) donde se evidencia mayor cantidad de cáscara de piña, con un poder calorífico pobre de 26862.738 J/g a diferencia de 46614.7167 J/g que se obtuvo con la mezcla B1 (50% cáscara de piña y 50% tallos de quinoa) encontrando un equilibrio y siendo esta la mejor opción para un posterior tratamiento con NmAl, esperando un incremento del poder calorífico, que desde ya es un poder calorífico alto.

#### 4.1.5. Mezcla de biomasa con nanopartículas de aluminio

##### 4.1.5.1. Poder calorífico de biomasa con 10% de nanopartículas de aluminio

- Aplicación de ecuación 5-3

**Tabla 9-4:** Variación de temperatura biomasa y NAl 10%

<b>Mezcla de Biomosas y nanopartículas de Al (10%)</b>		
<b>Tiempo (min)</b>	<b>BM1</b>	<b>BM2</b>
	<b>Temperatura (°C)</b>	
0	20,577	21,081
0,5	20,791	21,29
1	21,047	21,537
1,5	21,172	21,67
2	21,239	21,741
2,5	21,286	21,788
3	21,319	21,822
3,5	21,347	21,849
4	21,368	21,87
4,5	21,386	21,89
5	21,402	21,904
5,5	21,414	21,918
6	21,426	21,929
6,5	21,435	21,939
7	21,444	21,946
7,5	21,451	21,954
8	21,457	21,96
8,5	21,463	21,966
9	21,468	21,97
9,5	21,473	21,975
10	21,476	21,979
10,5	21,48	21,982
11	21,483	21,985
11,5	21,486	21,988

12	21,489	21,99
12,5	21,491	21,992
13	21,493	21,994
13,5	21,496	21,996
14	21,497	21,996
14,5	21,499	22
15	21,501	22,001
15,5	21,503	22,002

Realizado por: Caiza, R., 2022.

- Poder calorífico de biomasa modificada con 10% de NmAl

Muestra BM1

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido ( $J$ )
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7240 (g)$

$$Q = 42121.03242 \frac{J}{g}$$

- Poder calorífico de biomasa modificada con 10% de NmAl

Muestra BM2

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido ( $J$ )
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7199 (g)$

$$Q = 42131.89092 \frac{J}{g}$$

4.1.5.2. Poder calorífico de biomasa con 20% de nanopartículas de aluminio

**Tabla 10-4:** Variación de temperatura biomasa y NAl 20%

<b>Mezcla de Biomosas y nanopartículas de Al (20%)</b>		
<b>Tiempo (min)</b>	<b>BM3</b>	<b>BM4</b>
	<b>Temperatura (°C)</b>	
0	22,158	22,293
0,5	22,324	22,455
1	22,59	22,708
1,5	22,722	22,833
2	22,799	22,902
2,5	22,847	22,945
3	22,88	22,979
3,5	22,906	23,003
4	22,927	23,023
4,5	22,944	23,04
5	22,959	23,053
5,5	22,97	23,065
6	22,981	23,074
6,5	22,99	23,083
7	22,997	23,09
7,5	23,003	23,096
8	23,009	23,101
8,5	23,014	23,105
9	23,018	23,11
9,5	23,022	23,113
10	23,025	23,115
10,5	23,028	23,118
11	23,03	23,12
11,5	23,032	23,122
12	23,034	23,124
12,5	23,035	23,125
13	23,037	23,126
13,5	23,038	23,128
14	23,039	23,129

14,5	23,04	23,129
15	23,04	23,13
15,5	23,041	23,13

Realizado por: Caiza, R., 2022.

- Poder calorífico de biomasa modificada con 20% de NmAl

Muestra BM3

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7643 (g)$

$$Q = 38044.83366 \frac{J}{g}$$

- Poder calorífico de biomasa modificada con 20% de NmAl

Muestra BM4

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido (J)
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7242 (g)$

$$Q = 38056.85963 \frac{J}{g}$$

#### 4.1.5.3. Poder calorífico de biomasa con 30% de nanopartículas de aluminio

**Tabla 11-4:** Variación de temperatura biomasa y NAl 30%

Mezcla de Biomosas y nanopartículas de Al (30%)		
Tiempo (min)	BM5	BM6
	Temperatura (°C)	
0	22,34	22,486
0,5	22,502	22,626

1	22,738	22,882
1,5	22,862	23,012
2	22,934	23,085
2,5	22,98	23,131
3	23,013	23,163
3,5	23,039	23,188
4	23,059	23,207
4,5	23,076	23,223
5	23,089	23,237
5,5	23,102	23,248
6	23,111	23,257
6,5	23,119	23,265
7	23,126	23,271
7,5	23,131	23,277
8	23,136	23,282
8,5	23,14	23,286
9	23,144	23,289
9,5	23,147	23,292
10	23,149	23,295
10,5	23,152	23,297
11	23,153	23,299
11,5	23,155	23,301
12	23,156	23,302
12,5	23,158	23,303
13	23,159	23,304
13,5	23,159	23,305
14	23,16	23,306
14,5	23,161	23,307
15	23,161	23,307
15,5	23,161	23,307

Realizado por: Caiza, R., 2022.

- Poder calorífico de biomasa modificada con 30% de NmAl

Muestra BM5

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido ( $J$ )
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7759 (g)$

$$Q = 34841.04177 \frac{J}{g}$$

- Poder calorífico de biomasa modificada con 30% de NmAl

Muestra BM6

- $E = 32975.8396 \left( \frac{J}{^{\circ}C} \right)$
- 40: Calor adicional del cable de encendido ( $J$ )
- $\Delta T = (T_{final} - T_{inicial})(^{\circ}C)$
- $G = 0.7732 (g)$

$$Q = 34962.70604 \frac{J}{g}$$

#### 4.1.5.4. Resultados e interpretación de poder calorífico de biomasa más NmAl

**Tabla 12-4:** Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 10%

Poder calorífico de biomasa y nanopartículas 10%			
Biomasa y nanopartículas			
	Muestra (g)	$\Delta T (^{\circ}C)$	Poder calorífico (J/g)
BM1	0,724	0,926	42121,03242
BM2	0,7199	0,921	42131,89092

Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 13-4:** Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 20%

<b>Poder calorífico de biomasa y nanopartículas 20%</b>			
<b>Biomasa y nanopartículas</b>			
	<b>Muestra (g)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	<b>Poder calorífico (J/g)</b>
BM3	0,7643	0,883	38044,83366
BM4	0,7242	0,837	38056,85963

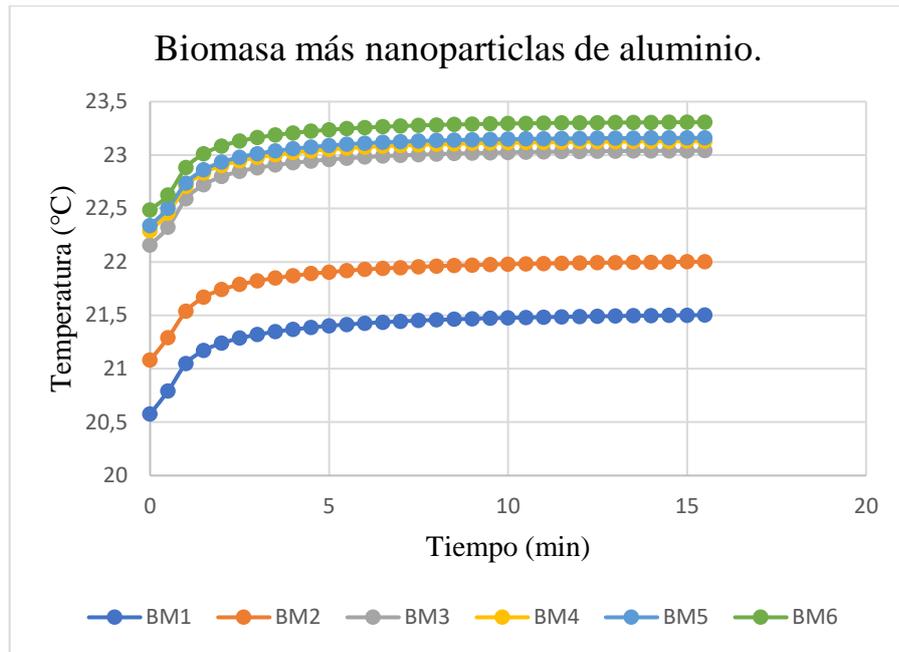
Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 14-4:** Resultados de poder calorífico de biomasa y nanopartículas de aluminio al 30%

<b>Poder calorífico de biomasa y nanopartículas 30%</b>			
<b>Biomasa y nanopartículas</b>			
	<b>Muestra (g)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	<b>Poder calorífico (J/g)</b>
BM5	0,7759	0,821	34841,04177
BM6	0,7732	0,821	34962,70604

Realizado por: Caiza, R., 2022.

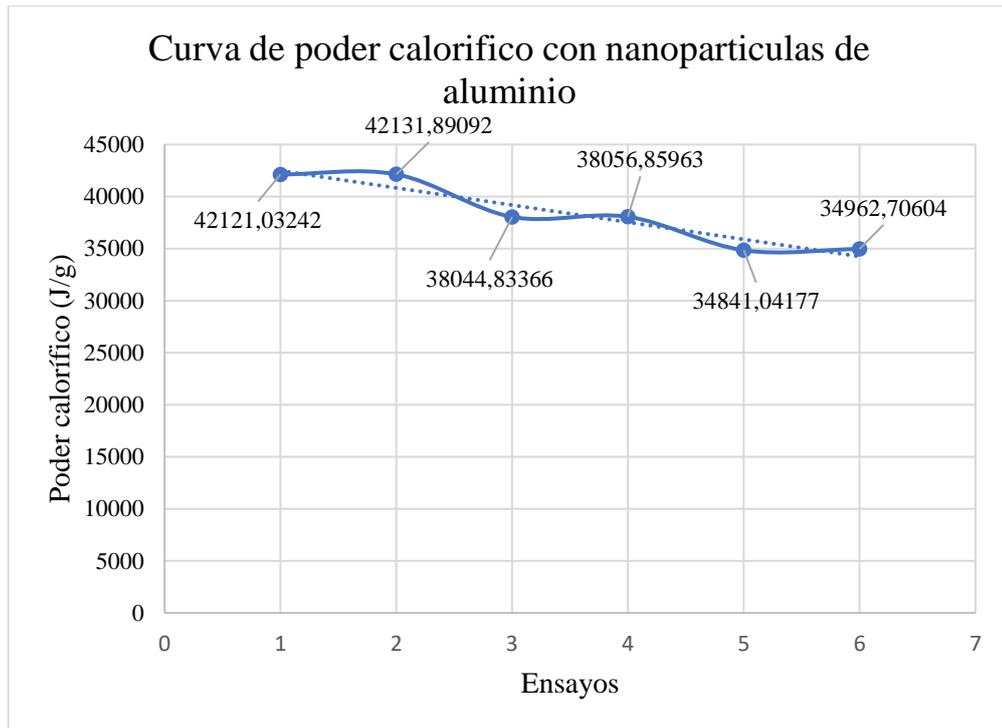
En la ilustración 5-4 se observa el comportamiento de las muestras de biomasa con diferentes proporciones de NmAl, existe una correlación entre el poder calorífico y la cantidad de nanopartículas agregadas, eso se evidencia también en las tablas 12-4, 13-4, 14-4. Cuando se agrega nanopartículas vemos un descenso en el poder calorífico y esto va en tendencia, demostrando que las NmAl no son beneficiosas para elevar el poder calorífico en biocombustibles sólidos.



**Ilustración 5-4:** Comportamiento de biomasa más nanopartículas de aluminio en combustión

Realizado por: Caiza, R., 2022.

En el ilustración 20-4 se evidencia la tendencia que tiene el poder calorífico al momento de agregar NmAl, esto es posible que se da debido a que para la combustión se necesita compuesto químicos orgánicos como es el caso del carbono, mientras que las NmAl es un metal con propiedades distintas al beneficio de combustión, por otro lado, cabe recalcar que si no aumento el poder calorífico de la biomasa, ayuda a aglomerar los restos de la combustión como lo son las cenizas, esto se evidenció al momento de los ensayos, el residuo tenía trazas de aluminio junto a partículas negras que demostraban la aglomeración de ceniza, en la ilustración 21-4. De acuerdo a Amberchan et al., (2022, p.1) las NmAl tienen aplicaciones como un recubriendo para aislar materiales a una corrosión debido a su propiedad de oxidación instantánea.



**Ilustración 614-4:** Tendencia del poder calorífico al aumentar nanopartículas de aluminio

Realizado por: Caiza, R., 2022.



**Ilustración 7-4:** Residuo de combustión de mezcla de biomasa y nanopartículas de aluminio

Realizado por: Caiza, R., 2022.

Después de analizar el Ilustración 20-4, se puede ver como el poder calorífico de la biomasa va disminuyendo un claro ejemplo es en el ensayo BM3 y BM4 con cantidades 38044,83 J/g y 38056,85 J/g respectivamente, que es corroborado por el ensayo BM5 y BM6 que contenían 30% de NmAl en la muestra, finalizando con un poder calorífico de 34841.04 J/g y 34962.70 J/g respectivamente.

#### 4.1.6. Briquetas de biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña

Se elaboró briquetas a partir de una mezcla de biomasa que cumplen con los parámetros preestablecidos como lo son una longitud promedio de 5.5 cm, un diámetro de cilindro de 3.2 cm, y un peso promedio de 26 gramos cada briqueta, para la elaboración de las misma se necesitó una presión de 1 MPa y un posterior secado de 4 horas a 100°C, estos parámetros hacen que la briqueta sea apta para la aplicación en la industria energética, de acuerdo a Guo (2022, p.1) una briqueta ayuda a almacenar energía de una biomasa de una forma versátil, los parámetros dependerán del nivel de producción, que va desde artesanal pasando por semi-industrial hasta llegar a una escala industrial.

#### 4.2. Análisis estadístico

Se aplica un análisis ANOVA a los datos obtenidos para validar la hipótesis, dependiendo de los resultados se dará paso a una afirmación de la hipótesis nula o por consecuencia se aceptará la hipótesis alternativa en caso de que los valores así lo reflejen. Para el análisis estadístico ANOVA se usaron los datos de los poderes caloríficos de 6 muestras mezcladas con 10%, 20%, 30% en peso de NmAl, la herramienta utilizada para generar nos datos para el análisis fue Excel.

**Tabla 15-4:** Análisis estadístico de la varianza con un factor (ANOVA)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados			
Entre grupos	204404042,8	1	204404042,8	F	Valor crítico para F	Probabilidad
Dentro de los grupos	52488467,43	10	5248846,743	38,942	4,964	9,62462E-05
Total	256892510,3	11				

Realizado por: Caiza, R., 2022.

**Tabla 16-4:** Resumen de los análisis estadísticos de la varianza con un factor (ANOVA)

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Poder calorífico(J/g) Inicial	6	279684,6051	46614,10085	8,943464559
Poder calorífico(J/g) Final	6	230158,3644	38359,72741	10497684,54

Realizado por: Caiza, R., 2022.

#### 4.2.1. Prueba de hipótesis

$H_0$ : Es posible caracterizar la materia prima tallos de quinoa y cáscara de piña con análisis proximales

$H_1$ : No es posible caracterizar la materia prima tallos de quinoa y cáscara de piña con análisis proximales.

Después de realizar pruebas de laboratorio se obtuvieron diferentes resultados en cuanto a composición química como fue carbono y nitrógeno, de igual manera los análisis proximales dieron resultados de humedad y ceniza, los resultados se pueden observar en la tabla 2-4, de acuerdo a Onokwai et al., (2022) los análisis proximales si se pueden realizar en un laboratorio, por esta evidencia se acepta la hipótesis nula: Es posible caracterizar la materia prima tallos de quinoa y cáscara de piña con análisis proximales, por consiguiente se rechaza la hipótesis alternativa: No es posible caracterizar la materia prima tallos de quinoa y cáscara de piña con análisis proximales.

$H_0$ : Cuando se añade hasta el 30% en peso de NmAl a la biomasa de origen agroindustrial esta eleva su poder calorífico inicial hasta un 15%

$H_1$ : Cuando se añade hasta el 20% en peso de NmAl a la biomasa de origen agroindustrial esta no eleva su poder calorífico inicial hasta un 15%

$$H_0: \text{Poder Calorífico} > 46614.7167 \text{ J/g}$$

$$H_1: \text{Poder Calorífico} < 46614.7167 \text{ J/g}$$

Para validar la hipótesis se tomaron 12 muestras que ayudan a confirmar o desestimar la hipótesis nula, de acuerdo a la tabla 15-4, la F estadística es mayor a la F crítica (**38,942 > 4,964**) y de acuerdo a los análisis estadísticos de la varianza con un factor esto con lleva a desestimar la hipótesis nula: Cuando se añade hasta el 30% en peso de NmAl a la biomasa de origen agroindustrial esta eleva su poder calorífico inicial hasta un 15%, de otra forma aceptamos la hipótesis alternativa: Cuando se añade hasta el 20% en peso de NmAl a la biomasa de origen agroindustrial esta no eleva su poder calorífico inicial hasta un 15%.

#### 4.3. Discusión

Los resultados obtenidos en cuanto al análisis proximal hacen referencia a una combustión completa, es decir con exceso de oxígeno, para ello se efectuó un análisis proximal de carbono, ceniza y humedad que influyen directamente en el poder calorífico de la biomasa, el carbono en la cáscara de piña 45,829% y el poder calorífico es de 43243,4702 J/g, mientras que el carbono en el tallo de quinoa es de 49,279% y el poder calorífico es de 40199,1335, esto muestra que no solo influye el carbono en la biomasa para tener un buen poder calorífico esto también es

confirmado por Onokwai et al., (2022). En cuanto a la ceniza y la humedad tenemos un para los tallos de quinoa tenemos 4.0899% y 3.9442% de ceniza y para la cáscara de piña 0.8897% y 0.9025% de ceniza, esto hace que el factor de ensuciamiento sea relativamente bajo de esta manera influyendo al momento de seleccionar la biomasa (Lachman et al., (2021, p. 1). También la humedad influye al momento de usar una biomasa, la humedad más alta fue de la cáscara de piña que está en un rango de 73.7175% y 73.9038%, esto quiere decir que si se desea implantar esta biomasa como un combustible deberá ser sometida a un secado para estar dentro de los parámetros de 5 a 15% de humedad para una palletización de acuerdo con Huang et al., (2017). Cabe mencionar que el briquetaje de biomasa no puede ser si la materia prima no está debidamente tratada como lo es biomasa con un ligante en su estructura, en nuestro caso se empleó el almidón de yuca con un porcentaje de 8.5% en base de 100 gramos, de acuerdo con Guo (2022, p.2) el parámetro de almidón debe estar de 3% a 8%, demostrando que la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña necesitan estar por el límite de cantidad de almidón, es posible que esto se deba a las características físicas de las biomasa, en especial el tallo de quinoa que es de aspecto fibroso con presencia de astillas que limitan el uso de la prensa hidráulica, en cuanto a la presión empleamos 1 MPa, lo cual no modifica significativamente las propiedades físicas de una briqueta según Aransiola et al., (2019, p.1), cuando se aplica una presión muy elevada al momento del briquetaje las propiedades físicas de las briquetas tienden a modificarse en cuanto a una densidad muy elevada en parte generando una complicación para la incineración de las briquetas, finalmente la temperatura de secado es para eliminar el agua incorporada por la mezcla con el almidón.

## CONCLUSIONES

- Se determinó el poder calorífico de la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña, después de esto se formularon combinaciones para encontrar un mayor poder calorífico, la mezcla que consistía en 50:50 favoreció un aumento en el poder calorífico 46614.71 J/g, una combinación de biomásas en proporciones adecuada pueden elevar el poder calorífico inicial de los residuos agroindustriales individuales.
- Se caracterizó la biomasa de tallos de quinoa y cáscara de piña mediante un análisis proximal donde se obtuvieron niveles de ceniza, humedad y carbono, después de realizar esto se pudo evidenciar que la cáscara de piña y tallos de quinoa son fuentes de energía alternas por el bajo porcentaje de ceniza, también se encontró una relación entre carbono y poder calorífico, a mayor porcentaje de carbono mayor poder calorífico.
- Los niveles de carbono son altos, esto ayuda a tener un buen poder calorífico denominados biomásas de buena calidad, los valores de carbono que son iguales o superiores a 45% pueden ser usados como combustible sólido como es el caso de 49.27% y 45.82% para tallos de quinoa y cáscara de piña respectivamente.
- Se cuantificó el poder calorífico de cada residuo agroindustrial siendo la cáscara de piña de mayor poder calorífico con  $43243.47 \frac{J}{g}$ , pero no es aplicable a la industria por si sola por la complejidad de conseguirla en grandes cantidades, pero si puede ser combinada con tallos de quinoa que si se consigue en grandes cantidades y este con un poder calorífico de  $40199.13 \frac{J}{g}$ .
- Después de análisis de laboratorio SEM y FT-IR se evidencia que son muestras de nanopartículas de aluminio, con el microscopio de barrido electrónico se encuentra diámetros de partícula de 10 nm a 50 nm pertenecientes a parámetros de nanopartículas, también los picos después de las pulsaciones eléctricas coinciden con las nanopartículas de aluminio, este estudio ayudó a corroborar que el material usado fue NmAl.
- Se mezclaron dos residuos agroindustriales en diferentes proporciones lo cual en cierta medida eleva el poder calorífico, pero se debe encontrar la combinación adecuada si queremos elevar el poder calorífico, en las proporciones de 25:75 y viceversa dicha energía no incremento en gran medida, pero con una combinación adecuada de 50:50 se eleva el poder calorífico dando como resultado  $46614,71 \frac{J}{g}$ .
- Se combinó las biomásas con nanopartículas de aluminio las cuales no son favorables en combustibles sólidos, el poder calorífico disminuyó hasta  $34841.04 \frac{J}{g}$ , entonces a mayor presencia de NmAl el poder calorífico descende, demostrando que las NmAl no son aplicables para elevar el poder calorífico de una mezcla de residuos agroindustriales.

- Se establecieron los parámetros óptimos para la fabricación de briquetas, la cantidad 8.5 g en base de aglutinante es un parámetro que permite sostener la biomasa en forma cilíndrica, también la presión de prensado es fundamental no exceder 1MPa, y un secado a 100°C durante 4 horas que permite reducir el porcentaje de humedad dentro del parámetro de 15%.

## RECOMENDACIONES

- Para sintetizar NmAl hacen falta los equipos necesarios, por la vía química no es factible debido a la dificultad para conseguir reactivos en el país, mientras si se usa un método físico no se cuenta con el molino de partículas pequeñas.
- Cuando se realiza una investigación se debe tomar en cuenta la facilidad de conseguir materia prima, la quinoa se cosecha en estaciones del año determinadas, no se puede conseguir todo el año.
- El grupo GIMA debe seguir con las investigaciones en cuanto a energía alternativa, existen diferentes fuentes de biomasa que aún no son tomadas en cuenta.
- Para determinar el poder calorífico de los combustibles es necesario adquirir una máquina o hacer un convenio con la Facultad de Mecánica, para evitar contratiempos al momento de efectuar los análisis.
- Conseguir un proveedor de mechas de ignición para seguir con investigaciones de combustibles sólidos y líquidos.
- Al trabajar con equipos que usan un gas a altas presiones se debe verificar el estado de las conexiones de mangueras, si no se da un correcto mantenimiento se pueden generar accidentes.
- Medir las cantidades de biomasa previo mezcla con el almidón de yuca.
- Limpiar la briquetadora antes de que la biomasa se seque los moldes.
- Usar agua caliente para limpiar los moldes de la briquetadora.

## BIBLIOGRAFÍA

**AFANASJEVA, N.; et al.** “Lignocellulosic biomass. Part I: Biomass transformation”. *Journal of Science with Technological Applications* [En línea], 2017, 3(22), pp. 27–43. [Consulta: 2 junio 2022]. ISSN 0719-8647. Disponible en: <https://doi.org/10.34294/j.jsta.17.3.22>

**AMBERCHAN, G.; et al.** “Aluminum Nanoparticles from a Ga–Al Composite for Water Splitting and Hydrogen Generation”. *ACS Applied Nano Materials* [En línea], 2022, 5(2), pp. 2636–2643. [Consulta: 2 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsnm.1c04331>

**ANGULO, L.; et al.** “Production of solid biofuels from organic waste in developing countries: A review from sustainability and economic feasibility perspectives”. *Science of The Total Environment* [En línea], 2021, 795(1), p. 148816. [Consulta: 23 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148816>

**ARANSIOLA, E. F.; et al.** “Effect of binder type, binder concentration and compacting pressure on some physical properties of carbonized corncob briquette”. *Energy Reports* [En línea], 2019, 5(1), pp. 909–918. [Consulta: 2 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2019.07.011>

**ASHER, A.; et al.** “The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed”. *Scientia Horticulturae* [En línea], 2020, 272(1), p.109534. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109534>

**BASU, P.** *Definition of Biomass. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*. 3 ed. Academic Press, 2018. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812992-0.00024-8>

**BELTRÓN, I.; et al.** “Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica”. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT*, vol. 2, n° 2 (2019). pp. 33-38. ISSN: 2588-0721.

**BONNEUIL, C.; et al.** “Early warnings and emerging accountability: Total’s responses to global warming, 1971–2021”. *Global Environmental Change* [En línea], 2021, 71(1), pp. 959–3780. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2021.102386>

**BOYD, R. D.; et al.** “New approach to inter-technique comparisons for nanoparticle size measurements; using atomic force microscopy, nanoparticle tracking analysis and dynamic light scattering”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* [En línea], 2011, 387(1–3), pp. 35–42. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2011.07.020>

**CAMACHO, Á.; et al.** “Definición de nanomateriales para Colombia”. *Revista Colombiana de Química* [En línea], 2016, 45(1), pp. 15–20. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/REV.COLOMB.QUIM.V45N1.58955>

**CORREDOR, Y. A. V.; & PÉREZ, L. I. P.** “Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente”. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* [En línea], 2018, 14(1), 59–72. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/RFCB.3108>

**DE LUCAS, A. I.; et al.** *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. Graficolor-Palencia S.L. 2012. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf>

**DESHANNAVAR, U.; et al.** “Production and characterization of agro-based briquettes and estimation of calorific value by regression analysis: An energy application”. *Materials Science for Energy Technologies* [En línea], 2018, 1(2), pp. 175–181. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MSET.2018.07.003>

**DORIA SERRANO, M.** “Química verde: un nuevo enfoque para el cuidado del medio ambiente”. *Educación Química* [En línea], 2009, 20(4), pp. 412–420. . [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30044-2](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30044-2)

**GÓMEZ, J. M.** “Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina”. *Estudios Gerenciales* [En línea], 2016, 32(139), pp. 120–126.[Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ESTGER.2016.01.001>

**GUO, Z., et al.** “Parameter optimization of waste coal briquetting and particulate matter emissions test during combustion: A case study”. *Environmental Pollution* [En línea], 2022,

294(1), p.118621. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.118621>

**GUO, Z.; et al.** “Characteristics of biomass charcoal briquettes and pollutant emission reduction for sulfur and nitrogen during combustión”. *Fuel* [En línea], 2022, 272(1), p. 117632. [Consulta: 19 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.117632>

**HAN, K.; et al.** “The study of sulphur retention characteristics of biomass briquettes during combustión”. *Energy* [En línea], 2019, 186(1), p.115788. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2019.07.118>

**HERNÁNDEZ, M.; et al.** Síntesis de nanopartículas de plata biológicamente asistida con opuntia sp. Y su incorporación en membranas poliméricas nanofibrosa. (Trabajo de Titulación) (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila. 2013. pp. 1-156.

**HUANG, Y.; et al.** “Biofuel pellets made at low moisture content – Influence of water in the binding mechanism of densified biomass”. *Biomass and Bioenergy* [En línea], 2017, 98(1), pp. 8–14. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.01.002>

**INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA.** *Energías renovables* [En línea]. Biomasa: Industria. 2008. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: [www.idae.es](http://www.idae.es)

**KARAGOZ, M.; et al.** “Exergetic and exergoeconomic analyses of a CI engine fueled with diesel-biodiesel blends containing various metal-oxide nanoparticles”. *Energy* [En línea], 2021, 214(1), p. 118830. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118830>

**KONGTO, P.; et al.** “Intensive exploration of the fuel characteristics of biomass and biochar from oil palm trunk and oil palm fronds for supporting increasing demand of solid biofuels in Thailand”. *Energy Reports*, 2022, 8(1), pp. 5640–5652. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2022.04.033>

**LACHMAN, J.; et al.** “An overview of slagging and fouling indicators and their applicability to biomass fuels”. *Fuel Processing Technology* [En línea], 2021, 217(1), p. 106804. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2021.106804>

**LU, J.; et al.** “Elemental migration and transformation during hydrothermal liquefaction of biomass”. *Journal of Hazardous Materials* [En línea], 2022, 423(1), p. 126961. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126961>

**MANOGAR, P.; et al.** “Biosynthesis and antimicrobial activity of aluminium oxide nanoparticles using *Lyngbya majuscula* extract”. *Materials Letters* [En línea], 2022, 311 (1), p. 131569. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2021.131569>

**MANYUCHI, M.; et al.** “Value addition of coal fines and sawdust to briquettes using molasses as a binder”. *South African Journal of Chemical Engineering* [En línea], 2018, 26(1), pp. 70–73. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SAJCE.2018.09.004>

**MARTÍNEZ PÉREZ, R.; et al.** “Poder calorífico y material inorgánico en la corteza de seis árboles frutales”. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente* [En línea], 2012, 18(1), pp. 375–384. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.05.039>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE.** MAE trabaja en programas de mitigación y adaptación para reducir emisiones de CO2 en Ecuador. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Noticias* [En línea]. 2013. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/>

**MONTILLA, I.; et al.** *El cultivo de la Piña en Venezuela* [En línea]. Prociandino. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=eZmgbqoL7TAC&oi=fnd&pg=PA7&dq=pi%C3%B1a+cultivo&ots=XTjW4WQInz&sig=zZ1yzPu9qbX0dQFgqHCK9179vF8#v=onepage&q=pi%C3%B1a%20cultivo&f=false>

**NDUNI, M.; et al.** “Synthesis and characterization of aluminium oxide nanoparticles from waste aluminium foil and potential application in aluminium-ion cell”. *Cleaner Engineering and Technology* [En línea], 2021, 3(1), pp. 100–108. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100108>

**NIKIEMA, J.; et al.** “Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes”. *Resources, Conservation and Recycling Advances* [En línea], 2022, 15(1), p. 200095. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2022.200095>

**OKOT, D. K.; et al.** “Thermo-chemical behaviour of maize cob and bean straw briquettes”. *Energy Conversion and Management* [En línea], 2022, 16(1), p. 100313. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ECMX.2022.100313>

**ONOKWAI, A. O.; et al.** “Characterization of lignocellulose biomass based on proximate, ultimate, structural composition, and thermal análisis”. *Materials Today: Proceedings* [En línea], 2022, 65(1), pp. 2156-2162. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.05.313>

**OZYUGURAN, A.; et al.** “Optimal use of condensed parameters of ultimate analysis to predict the calorific value of biomass”. *Fuel* [En línea], 2018, 214(1), pp. 640–646. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2017.10.082>

**PADILLA-RIVERA, P.; et al.** “A systematic review of the sustainability assessment of bioenergy: The case of gaseous biofuels”. *Biomass and Bioenergy* [En línea], 2019, 125(1), pp. 79–94. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.03.014>

**PINILLA, A. B.; & AGUILERA, Y. G.** Elaboración de manual y procedimientos de la bomba calorimétrica PARR 6300 de la Universidad de La Salle para la determinación del poder calorífico de muestras sólidas de interés ambiental [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Ingeniería Ambiental y Sanitaria. 2018. Bogotá-Colombia. [Consulta: 9 junio 2022]. Disponible en: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/791](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/791)

**QUIRINO, W.; et al.** “Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos”. *Revista da Madeira* [En línea], 2005, 1(89), pp. 100-106. [Consulta: 16 junio 2022]. Disponible en: <https://mundoflorestal.com.br/arquivos/podercalorifico.pdf>

**RIEGSINGER, S.; et al.** “Room-temperature liquid-phase synthesis of aluminium nanoparticles”. *Chemical Communications* [En línea], 2022, 58(54), pp. 7499–7502. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D2CC01846B>

**ROMANO, A.; & FERRANTI, P.** *Pseudocereals: Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.)* [En línea]. Reference Module in Food Science. 2023. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00004-4>

**SHUMA, R.; & MADYIRA, D. M.** “Production of Loose Biomass Briquettes from Agricultural and Forestry Residues”. *Procedia Manufacturing* [En línea], 2017, 7(1), pp. 98–105. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2016.12.026>

**VIGNOTE, S.** *La biomasa: Importancia, tipos y características y formas de preparación* [En línea]. 2016. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/311171316\\_La\\_biomasa\\_Importancia\\_tipos\\_y\\_caracteristicas\\_y\\_formas\\_de\\_preparacion](https://www.researchgate.net/publication/311171316_La_biomasa_Importancia_tipos_y_caracteristicas_y_formas_de_preparacion)

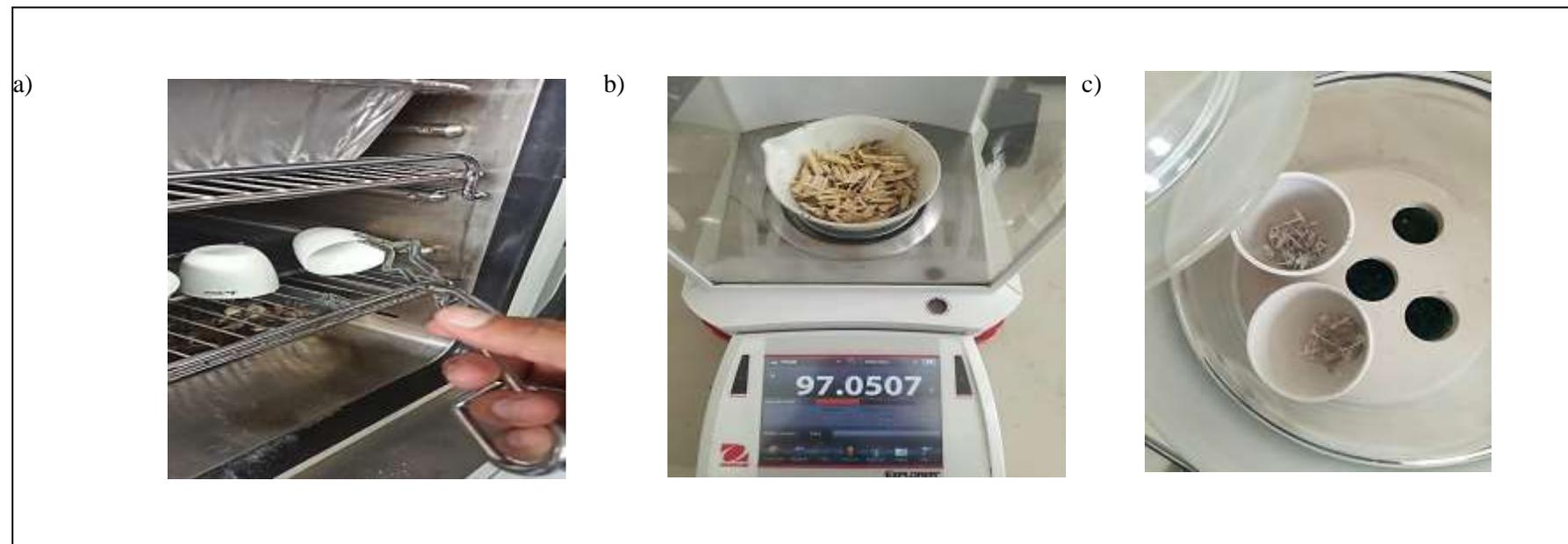
**ZHANG, M.; et al.** “Biomass-Derived sustainable carbon materials in energy conversion and storage applications: Status and Opportunities”. *Electrochemistry Communications* [En línea], 2022, 138(1), p. 107283. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ELECOM.2022.107283>

**ZHANG, Q.; et al.** “Applications of Magnetic Nanomaterials in Heterogeneous Catalysis”. *ACS Applied Nano Materials* [En línea], 2019, 2(8), 4681–4697. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acsanm.9b00976>



## ANEXOS

### ANEXO A: ANÁLISIS PROXIMALES DE LA BIOMASA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA															
a) Materiales a tarar b) Peso para determinar humedad c) Muestras de ceniza	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir			“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO”		
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																
<input type="checkbox"/>	APROBADO																
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																
		ESCALA	FECHA	LÁMINA													
		1:1	08/12/2022	1													

**ANEXO B: PREPARACIÓN DE LA BIOMASA PARA LAS MEZCLAS**

d)



e)

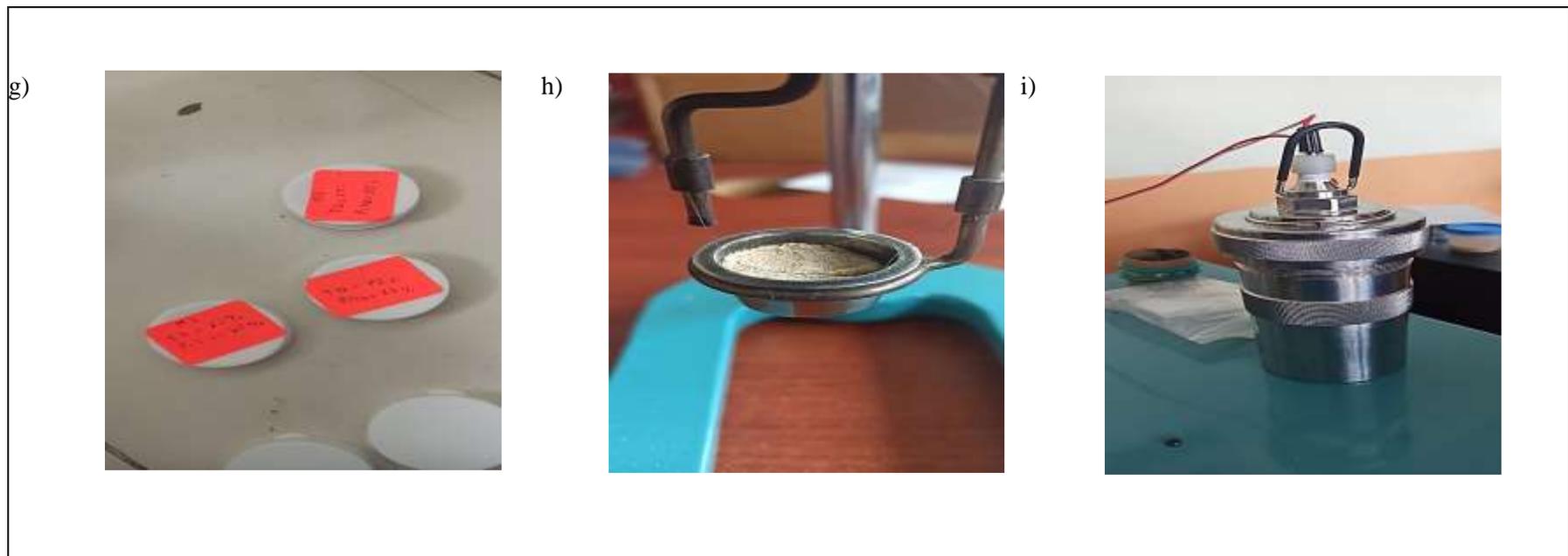


f)



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA		
d) Trituración de materia biomasa e) Tamizaje de biomasa f) Mezcla de biomasa		<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA
			1:1	08/12/2022	2

**ANEXO C: PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA ENSAYOS DE PODER CALORÍFICO**



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA															
g) Pesaje de muestras 0.7g - 1g h) Montaje de mechas de ignición i) Conexión a tanque de oxígeno industrial		<table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROBADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROBAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir			“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO”		
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																	
<input type="checkbox"/>	APROBADO																	
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																	
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																	
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																	
			ESCALA	FECHA	LÁMINA													
			1:1	08/12/2022	3													

**ANEXO D: ENSAYOS PARA DETERMINAR EL PODER CALORÍFICO DE LAS MUESTRAS DE BIOMASA**

j)



k)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir	TEMA												
j) Ensayos en la bomba calorimétrica k) Residuo de la combustión de la biomasa	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROBADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROBAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table>		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO”	ESCALA	FECHA
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO														
<input type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														
1:1	08/12/2022	4													

**ANEXO E: PREPARACIÓN DE BIOMASAS PARA BRIQUETAS**

l)



m)

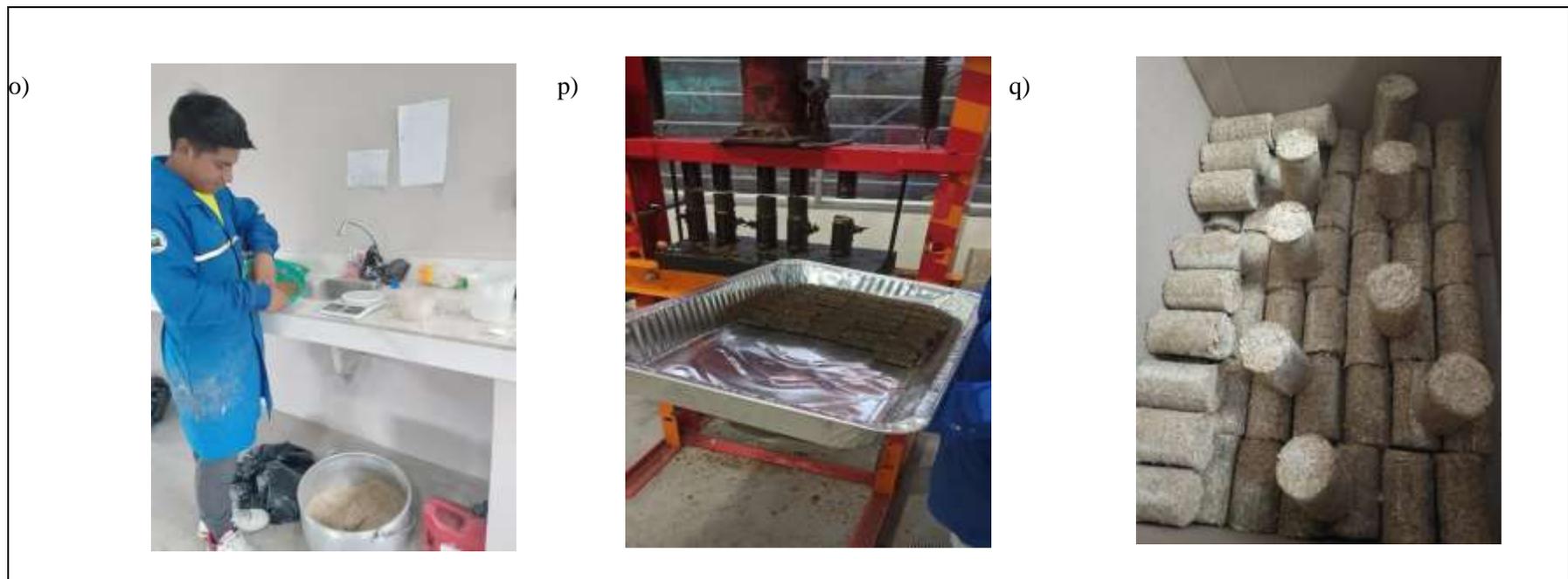


n)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA															
l) Secado de Biomosas m) Triturado de cáscara de piña n) Triturado de tallos de quinoa	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir			“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO”		
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																
<input type="checkbox"/>	APROBADO																
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																
		ESCALA	FECHA	LÁMINA													
		1:1	08/12/2022	5													

**ANEXO F: BRIQUETAJE DE BIOMASAS**



NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA					
o) Mezclado de biomazas y almidón p) Prensado de biomazas q) Almacenamiento de briquetas		<input type="checkbox"/> CERTIFICADO <input type="checkbox"/> APROBADO <input type="checkbox"/> POR APROBAR <input type="checkbox"/> POR CALIFICAR <input checked="" type="checkbox"/> POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA  REALIZADO POR: Caiza Anrrango Robinson Bladimir			“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LA BIOMASA DE TALLOS DE QUINOA Y CÁSCARA DE PIÑA CON LA COMBINACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO”		
			ESCALA	FECHA	LÁMINA			
			1:1	08/12/2022	6			



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:** 16 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> ROBINSON BLADIMIR CAIZA ANRRANGO
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA QUÍMICA
<b>Título a optar:</b> INGENIERO QUÍMICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.

2342-DBRA-UPT-2022

