



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS
CÁSCARAS DE PIÑA Y DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR
ENRIQUECIDOS CON NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO
COMO ALTERNATIVA DE NUEVAS FUENTES DE ENERGÍA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: JHOSELINE GABRIELA FRÍAS MOYÓN

DIRECTORA: Biof. ROSA MARICELA ORMAZA HUGO, MSc.

Riobamba - Ecuador

2022

© 2022, **Jhoseline Gabriela Frías Moyón**

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 de autor.

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

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

Riobamba, 08 de diciembre de 2022.

A handwritten signature in blue ink that reads "Jhoseline Frías". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

Jhoseline Gabriela Frías Moyón

060441464-9

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 LAS CÁSCARAS DE PIÑA Y DEL BAGAZO DE LA CAÑA DE AZÚCAR ENRIQUECIDOS CON NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA DE NUEVAS FUENTES DE ENERGÍA**, realizado por la señorita: **JHOSELINE GABRIELA FRÍAS MOYÓN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científico, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2022-12-08
Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2022-12-08
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera, MSc. ASESOR DEL TRIBUNAL	 _____	2022-12-08

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, este nuevo paso en mi vida, primeramente, a Dios que durante toda mi vida me ha guiado, me ha regalado su bendición y fortaleza para afrontar cada uno de los obstáculos que se presentaron en todos estos años. A mis padres, Ramiro y Blanca, no existe nada mejor que conseguir este logro y poder dedicarlo a ellos, dar las gracias por cada día que estuvieron a mi lado, por cuidarme, por nunca dejarme sola, por su trabajo diario y por cada uno de sus esfuerzos, por todo su amor, su apoyo incondicional, mil gracias por todo lo que hicieron por mí para que hoy este aquí cumpliendo un sueño más en mi vida, a mi hermanos, Alex y Jefferson, que son lo que más quiero, a mi hermano Jefferson que desde siempre ha sido un ejemplo a seguir, para mantenerme en constante aprendizaje y cumplir mis sueños cada día.

Jhoseline

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haberme brindado la formación académica todos estos años, a cada uno de los ingenieros que nos compartieron sus conocimientos en cada área de estudio que tomé durante toda la carrera. A mi directora y miembro de este trabajo, Biof. Rosa Ormaza e Ing. Mabel Parada por su permanente asesoría, por su paciencia y apoyo durante el transcurso de la realización del Trabajo de Integración Curricular.

Jhoseline

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.	Planteamiento del Problema.....	2
1.2.	Limitaciones y Delimitaciones.....	3
1.2.1.	<i>Limitaciones</i>	3
1.2.2.	<i>Delimitaciones</i>	3
1.3.	Problema General de Investigación.....	3
1.3.1.	<i>Problemas específicos de investigación</i>	3
1.4.	Objetivos.....	4
1.4.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.5.	Justificación.....	4
1.5.1.	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.5.2.	<i>Justificación Metodológica</i>	5
1.5.3.	<i>Justificación Práctica</i>	5
1.6.	Hipótesis.....	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes de investigación.....	6
2.2.	Referencias Teóricas.....	8
2.2.1.	<i>Bagazo de caña de azúcar</i>	8
2.2.2.	<i>Piña</i>	9
2.2.3.	<i>Residuo</i>	9
2.2.4.	<i>Biomasa</i>	10

2.2.4.1.	<i>Tipos de Biomasa</i>	10
2.2.4.2.	<i>Biomasa agrícola</i>	11
2.2.4.3.	<i>Biomasa Seca</i>	11
2.2.5.	<i>Briquetas</i>	12
2.2.6.	<i>Combustión</i>	12
2.2.7.	<i>Poder calorífico</i>	12
2.2.7.1.	<i>Poder calorífico superior</i>	13
2.2.7.2.	<i>Poder calorífico inferior</i>	13
2.2.7.3.	<i>Determinación del poder calorífico</i>	13
2.2.8.	<i>Análisis Químico Proximal</i>	14
2.2.8.1.	<i>Cenizas</i>	14
2.2.8.2.	<i>Humedad</i>	14
2.2.9.	<i>Análisis Elemental</i>	14
2.2.10.	<i>Nanopartículas de Aluminio</i>	14
2.2.10.1.	<i>Óxido de aluminio</i>	14
2.2.10.2.	<i>Nanopartículas de Aluminio</i>	15
2.2.10.3.	<i>Usos y aplicaciones</i>	15

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	16
3.1.	Enfoque de investigación	16
3.2.	Nivel de Investigación	16
3.3.	Diseño de investigación	16
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	19
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	19
3.4.	Tipo de estudio	20
3.5.	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	20
3.5.1.	<i>Unidad de Análisis</i>	20
3.5.2.	<i>Población de Estudio</i>	20
3.5.3.	<i>Tamaño de Muestra</i>	20
3.5.4.	<i>Selección de muestra</i>	21
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	21
3.6.1.	<i>Análisis químico proximal</i>	21
3.6.1.1.	<i>Determinación de porcentaje de humedad</i>	21
3.6.1.2.	<i>Determinación de porcentaje de cenizas</i>	22
3.6.2.	<i>Análisis Elemental</i>	23

3.6.3.	<i>Caracterización de las Nanopartículas de aluminio</i>	23
3.6.4.	<i>Determinación del poder calorífico</i>	24
3.6.4.1.	<i>Calibración de la bomba calorimétrica</i>	24
3.6.4.2.	<i>Procedimiento del poder calorífico</i>	25
3.6.5.	<i>Briquetas</i>	26
3.6.5.1.	<i>Obtención del bagazo de caña de azúcar</i>	26
3.6.5.2.	<i>Obtención de la cáscara de piña</i>	27
3.6.5.3.	<i>Elaboración de briquetas</i>	27

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
4.1.	Cálculo del análisis proximal	29
4.1.1.	Cálculo del porcentaje de humedad	29
4.1.1.1.	<i>Porcentaje de humedad de la cáscara de piña</i>	29
4.1.1.2.	<i>Porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar</i>	30
4.1.1.3.	<i>Porcentajes finales de humedad</i>	30
4.1.2.	Cálculo del porcentaje de cenizas	31
4.1.2.1.	<i>Porcentaje de cenizas de la cáscara de piña</i>	31
4.1.2.2.	<i>Porcentaje de cenizas del bagazo de caña de azúcar</i>	31
4.1.2.3.	<i>Porcentajes finales de cenizas</i>	32
4.2.	Cálculo del análisis elemental	32
4.3.	Caracterización de Nanopartículas de Aluminio	33
4.4.	Determinación del poder calorífico	33
4.4.1.	Determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales	33
4.4.1.1.	<i>Resultados de la bomba calorimétrica de las muestras por separado</i>	33
4.4.1.2.	<i>Cálculo del poder calorífico de muestras separadas</i>	34
4.4.1.3.	<i>Resultados de las muestras por separado</i>	35
4.4.2.	Determinación del poder calorífico de la combinación de los residuos agroindustriales (biomasas)	36
4.4.2.1.	<i>Resultados obtenidos de la bomba calorimétrica de las biomasas</i>	36
4.4.2.2.	<i>Cálculo del poder calorífico de las biomasas</i>	37
4.4.2.3.	<i>Resultados del poder calorífico de las muestras madres</i>	38
4.4.3.	Determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales enriquecidos con Al Nps	39
4.4.3.1.	<i>Resultados de la bomba calorimétrica de las combinaciones de biomasa con adición del 25% de Al Nps</i>	39

4.4.3.2.	<i>Cálculo del poder calorífico de biomasa con adición del 25% de Al Nps</i>	41
4.4.3.3.	<i>Resultados de la bomba calorimétrica de biomasa con adición del 50% de Al Nps</i>	42
4.4.3.4.	<i>Cálculo del poder calorífico de biomasa con adición del 50% de Al Nps</i>	43
4.4.3.5.	<i>Resultados del poder calorífico de biomas combinadas con Al Nps</i>	44
4.5.	Elaboración de briquetas	45
4.6.	Comprobación de hipótesis	46
4.7.	Discusión de resultados	47
4.7.1.	<i>Humedad y cenizas</i>	47
4.7.2.	<i>Poder Calorífico</i>	48
CONCLUSIONES		51
RECOMENDACIONES		52
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Antecedentes de investigación relacionados al tema.....	7
Tabla 2-2:	Composición de la piel de piña en seco y molida variedad MD-2	9
Tabla 1-3:	Porcentaje de los residuos agroindustriales por separado.....	17
Tabla 2-3:	Porcentaje de los residuos agroindustriales para la mezcla	18
Tabla 3-3:	Cantidad de Al Nps combinados con la muestra seleccionada.....	18
Tabla 4-3:	Método para determinar la humedad de los residuos agroindustriales	21
Tabla 5-3:	Método para determinar las cenizas de los residuos agroindustriales	22
Tabla 6-3:	Método para la determinación de C y N de los residuos agroindustriales.....	23
Tabla 7-3:	Calibración del equipo.....	24
Tabla 8-3:	Método para la determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales	25
Tabla 1-4:	Pesos iniciales y finales de la cáscara de piña para obtener el porcentaje de humedad	29
Tabla 2-4:	Pesos iniciales y finales del bagazo de caña de azúcar para obtener el porcentaje de humedad.....	30
Tabla 3-4:	Porcentaje final de humedad	30
Tabla 4-4:	Pesos iniciales y finales de la cáscara de piña para obtener el porcentaje de cenizas	31
Tabla 5-4:	Pesos iniciales y finales del bagazo de caña de azúcar para obtener el porcentaje de ceniza	31
Tabla 6-4:	Porcentaje final de cenizas	32
Tabla 7-4:	Resultados obtenidos del análisis elemental de los residuos agroindustriales.....	32
Tabla 8-4:	Poder calorífico de la muestra 100 % Cp	33
Tabla 9-4:	Poder calorífico de la muestra 100% Bc	34
Tabla 10-4:	Poder calorífico de las muestras de residuos agroindustriales.....	35
Tabla 11-4:	Poder calorífico de la muestra M ₁	36
Tabla 12-4:	Poder calorífico de la muestra M ₂	36
Tabla 13-4:	Poder calorífico de la muestra M ₃	37
Tabla 14-4:	Poder calorífico de las biomásas	38
Tabla 15-4:	Peso iniciales de la biomasa combinada con Al Nps.....	39
Tabla 16-4:	Resultados de la muestra Mo ₁	39
Tabla 17-4:	Resultados de la muestra Mo ₂	40
Tabla 18-4:	Resultados de la muestra Mo ₃	40
Tabla 19-4:	Resultados de la muestra Mo ₄	42

Tabla 20-4:	Resultados de la muestra Mo ₅	42
Tabla 21-4:	Resultados de la muestra Mo ₆	43
Tabla 22-4:	Poder calorífico de la combinación de Al Nps con los residuos agroindustriales	44
Tabla 23-4:	Análisis estadístico de varianza con un factor (ANOVA).....	46
Tabla 24-4:	Resumen del ANOVA.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-3:	Diseño de investigación para llevar a cabo la determinación del poder calorífico, enriquecidos con Nanopartículas de Aluminio	17
Ilustración 2-3:	Determinación del poder calorífico enriquecido con AL Nps.....	19
Ilustración 3-3:	Pasos para la selección y tratamiento de la muestra.....	21
Ilustración 4-3:	Flujograma del proceso de elaboración de briquetas	27
Ilustración 1-4:	Poder calorífico vs. Residuos agroindustriales.....	35
Ilustración 2-4:	Poder calorífico vs. Biomosas	38
Ilustración 3-4:	Poder calorífico vs. Muestras combinadas con Al Nps.....	45
Ilustración 4-4:	a) Resultado del contenido de humedad (%); b) Resultado del contenido de cenizas (%)	47
Ilustración 5-4:	Poder calorífico de las biomosas	49
Ilustración 6-4:	Poder calorífico de las muestras combinadas.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

ANEXO B: OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

ANEXO C: OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO

ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

ANEXO F: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

RESUMEN

La presente investigación consistió en determinar el poder calorífico de las cáscaras de piña y del bagazo de la caña de azúcar enriquecidos con nanopartículas de aluminio como fuentes de energía. La metodología consistió en tres combinaciones de los residuos agroindustriales del bagazo de caña de azúcar y cáscaras de piña, en proporciones de: M1: 50-50%, M2: 75-25% y M3: 25-75%, respectivamente; consecuentemente, la biomasa con mayor contenido de poder calorífico se combinó con dos concentraciones de nanopartículas de aluminio, de 25 y 50% cada una, con tres repeticiones. Se partió de un análisis químico proximal de la materia prima, consistente en: determinar el porcentaje de humedad y el porcentaje de cenizas presentes, seguido de un análisis elemental para determinar el contenido de carbono y nitrógeno, una caracterización de las nanopartículas de aluminio mediante microscopía electrónica de barrido y espectrofotometría infrarroja, para finalmente determinar el poder calorífico, esto se lo realizó mediante una calibración de la bomba calorimétrica y posterior procedimiento correspondiente con el equipo, cálculo de los datos obtenidos y elaboración de briquetas. Para la comprobación de la hipótesis se usó un análisis estadístico de varianza con un factor con nivel de significancia de 0,05. El poder calorífico de la cáscara de piña fue de 40373,46 J/g y el del bagazo de caña fue de 24096,05 J/g, la muestra M₁ con porcentaje del 50%-50% es la combinación que más favorece para aumentar el poder calorífico de estos residuos agroindustriales al sumar 45808,97 J/g juntos; agregando las nanopartículas de aluminio el valor máximo fue de 36492,48 J/g. La adición de nanopartículas de aluminio no aumentó el poder calorífico de dichos residuos, se recomienda probar otras adiciones que logren aumentar los valores de poder calorífico.

Palabras clave: <ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL>, <BOMBA CALORIMÉTRICA>, <CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum officinarum*)>, <NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO (AL NPS)>, <PIÑA (*Ananas comosus*)>, <PODER CALORÍFICO>, <RESIDUOS AGROINDUSTRIALES>.



2471-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

The present research consisted of determining the calorific value of pineapple peels and sugarcane bagasse enriched with aluminum nanoparticles as energy sources. The methodology consisted of three combinations of the agroindustrial residues of sugarcane bagasse and pineapple peels, in proportions of: M1: 50-50%, M2: 75-25% and M3: 25-75%, respectively; consequently, the biomass with the highest calorific value content was combined with two concentrations of aluminum nanoparticles, 25 and 50% each, with three replicates. The starting point was a proximal chemical analysis of the raw material, dealing with: determining the percentage of moisture and the percentage of ash present, followed by an elemental analysis to determine the carbon and nitrogen content, a characterization of the aluminum nanoparticles by scanning electron microscopy and infrared spectrophotometry, to finally determine the calorific value, this was done by calibrating the calorimetric pump and subsequent corresponding procedure with the equipment, calculation of the data obtained and preparation of briquettes. A statistical analysis of variance with one factor with a significance level of 0.05 was used to test the hypothesis. The calorific value of pineapple peel was 40373.46 J/g and that of sugarcane bagasse was 24096.05 J/g, the M1 sample with a percentage of 50%-50% is the combination that favors the most to increase the calorific value of these agro-industrial wastes by adding 45808.97 J/g together; by adding the aluminum nanoparticles, the maximum value was 36492.48 J/g. The addition of aluminum nanoparticles did not increase the calorific value of these wastes; it is recommended to try other additions that could increase the calorific value.

Keywords: <PROXIMAL CHEMICAL ANALYSIS>, <CALORIMETRIC POWER>, <SUGAR CANE (*Saccharum officinarum*)>, <ALUMINIUM NANOPARTICLES (AL NPS)>, <PINEAPPLE (*Ananas comosus*)>, <CALORIFIC POWER>, <AGROINDUSTRIAL WASTE>.



Mgs. Ana Gabriela Reinoso Espinosa

110369613-2

INTRODUCCIÓN

Los residuos producidos por la piña y la caña de azúcar presentan propiedades energéticas entre ellas el poder calorífico, que muchas veces es ignorado o no estudiada antes de ser desechadas, lo cual produce grandes daños en el medio ambiente, por lo que su determinación es vital en la valoración energética y económica (Quintero y Chimá, 2014, p. 31).

Por otra parte, el cultivo de piña y de caña de azúcar ayuda al consumo diario de estos en todo el país, generando residuos orgánicos con una gran viabilidad de aprovechamiento, por tal motivo se busca la determinación del poder calorífico de estos residuos dando así paso a alternativas de nuevas fuentes de energía, posterior a esta investigación. Con el propósito de mejorar las propiedades energéticas de la biomasa bajo análisis se le agregará nanopartículas de aluminio, se espera que este material eleve significativamente el poder calorífico de los residuos.

En el tratamiento de los residuos orgánicos el uso de nanopartículas es muy importante ya que ayuda a obtener un mejor aprovechamiento de los mismos, llegando a ser así innovador, aumentando significativamente la degradación de estos residuos, por lo que es importante realizar una investigación para determinar qué tan factible es el uso de las nanopartículas de aluminio y observar si logra o no aportar algún beneficio extra al momento de valorar el poder calorífico en las muestras que se obtengan de dichos residuos.

Por lo tanto, en el presente trabajo está integrado por cuatro capítulos que permitirán obtener cada uno de los resultados que se necesitan para llegar al objetivo general, por lo que en el capítulo uno se presenta el problema de la investigación, el planteamiento del problema juntos con los objetivos, en el segundo capítulo encontraremos el marco teórico en donde se detallará la información necesaria de la investigación que se está realizando, en el capítulo tres se detalla el marco metodológico, es decir el diseño de la investigación, métodos, técnicas e instrumentos que se necesitarán durante la investigación y por último en el capítulo cuatro se encontrará los resultados de cada uno de los métodos que se utilizaron para este trabajo de investigación.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

Actualmente el cultivo de piña y de caña de azúcar es un negocio rentable en lo económico pero a la vez representa un problema ambiental debido que tienen altos contenidos de materia orgánica, elementos minerales y también tiene la presencia de fitopatógenos los cuales pueden causar la contaminación del aire, suelo y agua, en muchas ocasiones estos residuos son despreciables y no son tratados para aprovechar su potencial como materia prima para otros procesos alternos de conservación de energías (Rojas y Flórez, 2019, p. 43).

Además, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y la necesidad de adquirir nuevas fuentes de energía que sea limpia, barata y renovable lo que ha permitido analizar nuevas alternativas para analizar el potencial energético de diferentes residuos agrícolas que se obtienen de biomasa agroindustrial, estos residuos son grandes y provocan diferentes problemas ambientales (Maradiaga et al., 2017, p. 528).

Por lo que el uso de estos residuos para elaborar biocombustibles sólidos es una de las mejores opciones para lograr reemplazar al combustible convencional, ya que estas biomásas son excelentes para generar energía eléctrica y calorífica (Ponce et al., 2020, p. 87).

La utilización de nanopartículas logra aumentar la producción en algunas fuentes de energía. Las nanopartículas de aluminio se destacan por ser un material muy versátil, tiene muchas propiedades que lo hace apto para procesos en donde la temperatura es un factor clave, y también se puede adaptar de manera fácil en diferentes usos y aplicaciones (Varguez et al., 2016, p. 27).

Con el propósito de ofrecer nuevas alternativas de aprovechamiento de los residuos de la piña y de la caña de azúcar se plantea determinar el poder calorífico de estos residuos enriquecidos con Nanopartículas de Aluminio para evaluar su factibilidad de uso como una fuente de energía alternativa como es el caso de la fabricación de briquetas. Esta investigación se efectuará conjuntamente con el Grupo de Investigación en Materiales Avanzado (GIMA) de la ESPOCH.

1.2. Limitaciones y Delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

Dentro de las limitaciones que se pudo encontrar durante la realización del trabajo de investigación fueron:

- Para adquirir el bagazo de caña de azúcar se lo hizo en la parroquia Shell, en donde existe gran cantidad, pero se necesita viajar para conseguir la materia prima.
- Para la determinación del poder calorífico, la bomba calorimétrica no se encuentra en la Facultad de Ciencias, fue necesario realizar oficios y buscar el permiso para utilizar en la Facultad de Ciencias Pecuarias o Mecánica.
- El equipo se encontró fuera de uso por más de dos años, se necesitó realizar varios cambios, por ejemplo, adquirir una nueva manguera para el paso de oxígeno del tanque a la bomba de oxígeno del equipo.

1.2.2. Delimitaciones

La investigación se lo realiza con dos residuos agroindustriales, las cáscaras de piña y el bagazo de caña de azúcar para realizar el análisis químico proximal, análisis elemental y por último la determinación del poder calorífico de las biomásas y su combinación con nanopartículas de aluminio.

1.3. Problema General de Investigación

¿La combinación de nanopartículas de aluminio con la biomasa generada del bagazo de la caña de azúcar y las cáscaras de piña permitirá el aumento de su poder calorífico?

1.3.1. Problemas específicos de investigación

- ¿Con la determinación del análisis químico proximal en la biomasa generada por el bagazo de la caña de azúcar y las cáscaras de piña permitirá conocer el porcentaje exacto de humedad y cenizas de dichos residuos agroindustriales?
- ¿Con el análisis elemental será posible determinar la composición química (C-N) del bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de piña?

- ¿Con el poder calorífico determinado en la biomasa y la mezcla con las nanopartículas de aluminio se podrá conocer si aumentan o no el poder calorífico de la biomasa?
- ¿La biomasa de los residuos agrícolas enriquecidos con las nanopartículas de aluminio es realmente factibles o aptos para poder reemplazar otras fuentes de energía como los combustibles fósiles?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el poder calorífico de las cáscaras de piña y del bagazo de la caña de azúcar enriquecido con nanopartículas de aluminio como alternativa de nuevas fuentes de energía.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la biomasa de la cáscara de piña y del bagazo de la caña de azúcar por medio de análisis químico proximal y el análisis elemental.
- Obtener el poder calorífico de la combinación de los residuos agroindustriales (bagazo de caña de azúcar y cáscaras de piña).
- Determinar el poder calorífico de la biomasa de los residuos agroindustriales de la cáscara de piña y del bagazo de la caña de azúcar enriquecidos con nanopartículas de aluminio.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación Teórica

En todo el mundo se está implementando estudios que busquen encontrar soluciones o alternativas que ayuden a solucionar diferentes problemas, tales como: aspectos energéticos en donde se intenta reducir la dependencia del petróleo, aspectos medioambientales en donde se busca reducir la producción de CO₂ y diferentes gases nocivos que producen el efecto invernadero y por ende el calentamiento global y por último es lograr que nuestro país aprovechen de mejor manera los residuos orgánicos generados por la agricultura, potenciando así el uso de cada uno de los residuos para obtener nuevas fuentes de energía (López, 2021, p. 5).

El cultivo de piña y de caña de azúcar ayuda al consumo diario de estos en todo el país, los residuos producidos por la piña y la caña de azúcar presentan propiedades energéticas entre ellas

el poder calorífico, que muchas veces es ignorado o no estudiada antes de ser desechadas, lo cual produce grandes daños en el medio ambiente, por lo que su determinación es vital en la valoración energética y económica (Quintero y Chimá, 2014, p. 31).

Por tal motivo, la caracterización de la cáscara de piña y el bagazo de la caña de azúcar para uso energético y con el propósito de mejorar sus propiedades energéticas, la biomasa será enriquecido con nanopartículas de aluminio, en donde se espera que este material eleve significativamente el poder calorífico de los residuos, este es un paso muy importante para lograr determinar si es posible y factible utilizarlo posteriormente como fuente de energía a través de briquetas.

1.5.2. Justificación Metodológica

La metodología por usar para alcanzar los objetivos de este estudio se basa en determinar la cantidad de humedad y cenizas que se encuentran en ambos residuos agroindustriales, realizar el análisis elemental para obtener la cantidad de C-N, además, se realizará la determinación del poder calorífico mediante el uso de una bomba calorimétrica, de la combinación de ambos residuos agroindustriales, para finalmente enriquecer esta combinación con nanopartículas de aluminio para determinar si estas son capaces de aumentar su poder calorífico y conocer si el uso de este material es factible para posteriormente realizar briquetas como la mejor opción de fuente de energía.

1.5.3. Justificación Práctica

Los análisis se realizarán en los laboratorios de la ESPOCH en colaboración con el Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA) de la ESPOCH, que respalda las actividades que abarca el proyecto de investigación que se ha interesado en la determinación del poder calorífico de estos residuos agroindustriales, lo cual servirá de base para un posterior aprovechamiento de estos residuos como fuentes de energía renovable, como por ejemplo el uso de briquetas para usarlos como combustibles en equipos como calderas.

1.6. Hipótesis

¿Es posible aumentar el poder calorífico de las cáscaras de piña y del bagazo de la caña de azúcar cuando son enriquecidas con nanopartículas de aluminio?

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Existen diferentes investigaciones en donde se realizan experimentos para la determinación del poder calorífico de diversos subproductos agrícolas, por ejemplo en la Facultad de Ciencias, en la carrera de Ingeniería Química, en donde compararon dos métodos para la determinación de energía bruta de ocho subproductos, uno de ellos fue el método calorimétrico, utilizaron una bomba calorimétrica en donde se realizó la combustión de las muestras de los subproductos agrícolas, mediante la ignición con un conductor eléctrico que se conecta a la bomba con O₂ que se encuentra dentro del agua a una temperatura ambiente la muestra se combustiona, el cual desprende calor que calienta el agua circundante produciendo el cambio de temperatura (Chugñay, 2016, p. 16).

En la facultad de Mecánica de la ESPOCH en la ciudad de Riobamba, se realizó el análisis para evaluar cuán viable es la adición de nanopartículas de alofán a biocombustibles para incrementar el poder calorífico, en donde el estudio del poder calorífico lo realizaron bajo la Norma ASTM D-240, utilizaron un calorímetro, lo cual quema el biocombustible y a través de la energía térmica mide el calor que se produce, el equipo que ocuparon consta de dos cámaras separadas por una pared metálica que no tiene ningún contacto entre sí, en una de ellas se coloca 2L de agua y en la otra se ubica el biocombustible, 100ml, y dentro del proceso también usan un termómetro, un dispositivo de agitación y dos barras eléctricas de ignición (Guano y Morales, 2020, p. 42).

El análisis del poder calorífico de los residuos agroindustriales empezó a tomar gran importancia, debido a la escasez de los recursos naturales, la explotación inadecuada y los impactos ambientales y sociales que implican dichas explotaciones especialmente el petróleo, por lo que la opción de reemplazarlo por biocombustibles fue una buena alternativa, por tal razón, en el Departamento del Cauca, mediante la determinación del poder calorífico analizaron los valores energéticos de diferentes residuos energéticos, en donde el bagazo de caña contiene un potencial energético de 162,45 TJ/año, aportando así el 35,73% de energía, concluyendo que este tipo de residuo es capaz de ofrecer varias ventajas energéticas en comparación con el afrecho de yuca (Muñoz et al., 2013, pp. 156-157).

La determinación del poder calorífico es muy importante debido a que ayuda a identificar los residuos que son aptos, viables y con suficiente poder calorífico para que puedan ser usados

posteriormente como materia prima para la producción de combustibles sólido por ejemplo las briquetas. En la Universidad Austral de Chile realizaron el estudio de la producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón de manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña, en donde evaluaron la materia prima para determinar las características físico-químicas y la asociación con otro materia prima que tenga también un valor energético como es el caso del bagazo de la caña de azúcar, que con el objetivo de mejorar el uso de estos residuos y lograr conseguir nueva fuente de energía limpia, barata y renovable, que sea amigable con el planeta los llevó a evaluar su poder calorífico (Maradiaga et al., 2017, pp. 527-528).

La elaboración de briquetas lo realizaron con cáscaras de piñón manso y bagazo de caña de azúcar, empezaron con el despulpe manual del fruto, luego la biomasa fue triturada en un molino de cuchillas del tipo Willey, mediante el uso de un agitador orbital se realizó la separación mecánica por diez minutos, para luego con el uso de un malla de 60 mes ser tamizada, el material que obtuvieron del molino se dirigió a una estufa de circulación forzada a una temperatura de 105°C; este estudio lo realizaron mediante un diseño estadístico al azar con cinco repeticiones (Maradiaga et al., 2017, pp. 527-528).

Tabla 1-2: Antecedentes de investigación relacionados al tema

AUTOR/AÑO	TEMA	FUENTE
Muñoz et al, 2013	Potencial Energético de Residuos Agroindustriales del departamento del Cauca, A Partir del Poder Calorífico Inferior	https://bit.ly/3wnI73s
Gusman, 2014	Síntesis de Nanopartículas De Óxido de Aluminio Mediante la Técnica De Micro-ondas	https://bit.ly/3K0RcWt
Chugñay, 2016	Comparación de los Métodos Calorimétricos y de Estimación Matemática para la determinación de Energía Bruta en ocho Subproductos Agrícolas.	https://bit.ly/39kfAnD
Maradiaga et al., 2017	Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (<i>Jatropha curcas</i>) y bagazo de caña de azúcar	https://bit.ly/3ko59Sd

Aguilar, 2019	Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador	https://bit.ly/3vmppmOI
Rojas y Flórez, 2019	Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis	https://bit.ly/3v1vx5z
Guano y Morales, 2020	Determinación de la factibilidad del aumento del poder calorífico de un biocombustible mediante la adición de Nanopartículas de Alofán	https://bit.ly/3Mqa6G3
Ponce et al., 2020	Aprovechamiento de cáscara de piñón (<i>Jatropha curcas</i> L.) y paja de arroz (<i>Oriza sativa</i> L.) para la elaboración de pellets como biocombustible	https://bit.ly/3MpLbIO
López, 2021	Evaluación de la biomasa residual agrícola de los cultivos de papa (<i>Solanum tuberosum</i>), maíz (<i>Zea mays</i>) y tomate de árbol (<i>Solanum betaceum</i>) como recurso energético renovable en la provincia de Tungurahua	https://bit.ly/3iETFZP

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Bagazo de caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es utilizada para la extracción del jugo para la elaboración de azúcar mediante el proceso de molienda con el uso de trapiches, además se emplea principalmente como combustible en las calderas que generan el vapor que se requiere para el funcionamiento de las máquinas térmicas y para los procesos de calentamiento, concentración, cocimiento, secado, destilación de alcohol, etc. La cantidad de bagazo que se necesita va a depender tanto de la humedad como también de la fibra de la caña de azúcar y del tipo de cosecha y es cerca del 30% de la caña molida (Maradiaga et al., 2017, p. 528).

2.2.2. Piña

El nombre científico es *Ananas comosus*, esta fruta es nativa de Uruguay y Argentina, y la planta es nativa de América del Sur, debido a su delicioso sabor, esta fruta empezó a ser comercializada en donde surgieron diferentes problemas de conservación, James Drummond fue el pionero en procesar la piña obteniendo como producto final enlatados de esta fruta (Velez y Vergara, 2020, p. 15).

La planta tiene una altura de 1m aproximadamente, posee entre 70 y 100 hojas las cuales son encargadas de retener el agua y resistir la pérdida de la misma, su composición porcentual de la piña está dada por: 33% de pulpa, 41% de cáscara, 6% de corazón y 20% de corona (Velez y Vergara, 2020, p. 15).

La cáscara de piña está constituido por lignina, tiene 2% de fibra (polisacáridos estructurales y de reserva) y 0,5 % de proteína (vitaminas y calcio) (Velez y Vergara, 2020, p. 17).

Tabla 2-2: Composición de la piel de piña en seco y molida variedad MD-2

Ensayo	Resultado
Humedad	7,46% ($\pm 0,01$)
Cenizas	4,25% ($\pm 0,01$)
Solubilidad en agua fría	29,32% ($\pm 0,01$)
Solubilidad en agua caliente	30,93% ($\pm 0,01$)
Solubilidad ciclohexano-etanol	24,74% ($\pm 0,02$)
Lignina	9,05% ($\pm 0,02$)
α -celulosa	41,19% ($\pm 0,01$)
Holocelulosa	65,61% ($\pm 0,01$)
Xilano	28,40% g/L ($\pm 0,04$)

Fuente: Velez y Vergara, 2020, p. 17

2.2.3. Residuo

Existen diferentes definiciones que encontramos sobre la palabra residuo de las cuales encontramos:

Según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2841:2014-3, dice que: “Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido o semisólido, resultante del consumo o uso en diferentes actividades como domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que no tiene valor para

quien lo genera, pero que es susceptible de aprovechamiento y transformación en un nuevo bien con un valor económico agregado”.

2.2.4. Biomasa

La biomasa es aquel material orgánico que se obtiene de animales y plantas que provienen de la agricultura, bosques y desechos que contienen azúcares, almidones y materias lignocelulósicas que son las fuentes principales de materia prima para la generación de bioenergía por lo que es una fuente renovable de energía, la energía que tienen almacenada proviene de la luz solar en la morfología interna de las plantas vivas, debido a que las plantas son capaces de absorber esa energía y originar la fotosíntesis (Velez y Vergara, 2020, p. 24).

Cuando la biomasa se quema, la energía química interna se desprenderá como calor y se lo puede quedar directamente o convertirse en biocombustible ya sean líquidos o biogás (Velez y Vergara, 2020, p. 24).

Los diferentes tipos de biomasa son un recurso fundamental como fuente de energía y en la actualidad tienen gran importancia sobre todo en los países industrializados, debido a sus diferentes aplicaciones, ya que se pueden obtener también carbón vegetal, sustancias orgánicas, por procesos de descomposición térmica como la pirólisis y la gasificación y biocombustibles ya sean líquidos o gaseosos (Manals y Penedo, 2015, p. 181).

2.2.4.1. Tipos de Biomasa

Según Velez y Vergara (2020, p. 25), dentro de los tipos de Biomasa podemos detallar:

- **Biomasa Primaria:** es aquella que se elabora por seres fotosintéticos refiriéndose a la biomasa vegetal, residuos agrícolas y forestales.
- **Biomasa Secundaria:** es aquella que se origina por seres heterótrofos que se alimentan de la biomasa primaria, como de la materia fecal y carne de animales.
- **Biomasa Terciaria:** es aquella que proviene de los seres vivos que se alimentan de la biomasa secundaria.
- **Biomasa natural:** es aquella que se obtiene del mismo ecosistema, en otras palabras, son los que provienen de la Tierra.
- **Biomasa Residual:** es aquella que se obtiene de los residuos agrícolas, forestales y desechos originados por las actividades humanas.

- **Cultivos Energéticos:** son aquellos cultivos agrícolas que tienen como objetivo producir biocombustibles.

2.2.4.2. *Biomasa agrícola*

Es necesario conocer que toda la biomasa agrícola no se la puede usar para generar nuevas energías, la razón es porque algunos materiales tienen una densidad baja de partículas, menor poder calorífico y mayor porcentaje de humedad, lo cual provoca costos altos durante su transporte y almacenamiento y por lo cual termina siendo una alternativa no viable, por lo que es necesario el estudio que ayude a determinar cuánto poder calorífico se obtiene en diferentes proporciones (Maradiaga et al., 2017, p. 529).

2.2.4.3. *Biomasa Seca*

Mediante el uso de diferentes tecnologías modernas se puede transformar la biomasa en formas sólidas, líquidas y gaseosas, que luego pueden ser utilizadas como la materia prima principal como suministro de energía eficaz para poder obtener calor, energía eléctrica o biocombustible amigable con el planeta, entonces, para poder conocer la eficiencia y la capacidad que tiene la biomasa seca es fundamental conocer tanto el porcentaje de cenizas, como el porcentaje de humedad, ya que éste es un buen indicador del tiempo que puede mantener en condiciones óptimas en ambientes no favorables al combustible, esto ayuda a conocer la calidad del combustible, por lo que a mayor contenido de humedad provocará que la caldera se apague, mientras que si existe un menor porcentaje de humedad ayudará que la combustión se acelere más (Aguilar, 2019, p. 11).

La biomasa tiene un mayor porcentaje de humedad lo cual provocará que tenga una baja densidad energética al compararlo con los combustibles fósiles, por esta razón, es recomendable secar la biomasa antes de ser utilizada como materia prima para la generación de energía. Por lo que, en la reacción el uso de la biomasa seca ayuda a calentar el aire, lo cual produce una mayor temperatura de la llama, al tener una temperatura mayor o elevada, aumentará la transferencia de calor de la caldera y por ende la producción de vapor; cuando se obtiene una llama alta permite que se obtenga una combustión de manera completa, reduciendo así las emisiones de CO₂ (Aguilar, 2019, p. 11).

2.2.5. Briquetas

Las briquetas son productos estructurados de materiales sólidos, que se forman por pequeñas partículas de residuos agrícolas, aserrín, virutas o polvo de madera, estos son prensados en equipamientos agrícolas o por prensas mecánicas para obtener un producto compacto, la forma más común que adquieren las briquetas es cilíndricas o en forma de discos. Estos materiales tienen diferentes usos, puede ser en hornos industriales para elaborar alimentos, calderas y en industrias de cerámicas donde el tipo y características exigidas son variadas (Maradiaga et al., 2017, p. 528).

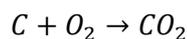
2.2.6. Combustión

La combustión es el proceso de oxidación rápida de cualquier materia, en donde aumenta también el calor, este proceso se basa prácticamente en una reacción química del oxígeno de la atmósfera en donde se forma dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua y otros productos como el dióxido de azufre, que resultan de los componentes menores del combustible, por lo que el análisis químico nos ayuda a distinguir los elementos puros que se encuentran en el combustible, los cuales se clasifican en, elementos activos, que son aquellos que se combinan con el comburente, cediendo calor, los cuales son: carbón, hidrógeno y azufre y los elementos inertes que son aquellos que no se van a combinar con el comburente y pasarán a los residuos de la combustión y son el agua, nitrógeno y cenizas (Córdova, 2008, p. 58).

2.2.7. Poder calorífico

El poder calorífico es aquella cantidad de calor por un kilogramo, o un metro cúbico, de cualquier combustible cuando se oxida de forma completa, en otras palabras, cuando el carbono pase a anhídrido carbónico (Cabrerá, 2016, p. 27).

Por lo que, el poder calorífico se define como la cantidad de calor que se libera por la combustión completa a condiciones estándar establecidas por cada país (Ayala et al., 2016, p. 3).



Tenemos las siguientes unidades (Fernández, 2013, p. 2):

$$\left(\frac{kcal}{Kg}\right); \left(\frac{kcal}{m^3}\right); \left(\frac{BTU}{lb}\right); \left(\frac{BTU}{pie^3}\right)$$

2.2.7.1. Poder calorífico superior

El poder calorífico superior (PCS) de una sustancia es aquella cantidad de calor que se desprende al quemar un kilogramo, en donde se debe tener en cuenta el calor que se desprende por la condensación del vapor que contiene el producto de combustión. La combustión completa del kilogramo de combustible se da a una temperatura de 0°C y a 1 atm de presión (Cabrera, 2016, p. 27).

2.2.7.2. Poder calorífico inferior

El poder calorífico inferior (PCI) de un sustancia o material es aquella cantidad de calor que se desprende cuando se quema un kilogramo de este, a diferencia del poder calorífico superior, en este se debe descontar la cantidad de energía calórica absorbida por la vaporización del agua que contiene la sustancia o material. Existe una principal diferencia entre el PCS y PCI que es el calor latente de vaporización del agua proveniente de la combustión (Cabrera, 2016, p. 27).

Por lo que este poder calorífico inferior es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad combustible, en donde no se debe tener en cuenta el calor latente de vaporización, que se genera durante la combustión, debido a que no se produce cambios de fase, y solo se genera vapor, el vapor del PCI es de interés industrial tales como: hornos, calderas, turbinas, etc., ya que los gases de escape producto de la combustión tienen temperaturas elevadas, por lo que el agua en fase vapor no se condensa. El poder calorífico inferior es conocido también como también como el Poder Calorífico Neto (PCN), y lo podemos encontrar restando el calor latente de vaporización al Poder Calorífico Superior (PCS) (Debernardi et al., 2016, p. 70).

2.2.7.3. Determinación del poder calorífico

Para la determinación de este parámetro se utiliza generalmente una bomba calorimétrica, en donde se produce una combustión de una muestra de residuos de alimentos, mediante la ignición con un conductor eléctrico que se encuentra conectado a una bomba o cámara inyectada con O₂, en donde se coloca la muestra que se desea analizar, la bomba debe estar sumergida en agua a temperatura ambiente, y cuando se produce la combustión se desprende calor, que va calentando el agua circundante y provoca el cambio de temperatura. La oxidación que se da como resultado de la unión del carbono o hidrógeno con el oxígeno que se le adiciona al medio, el cual provoca la ruptura de los enlaces covalentes energéticos produce el denominado calor de combustión o energía bruta (Chugñay, 2016, p. 16).

2.2.8. Análisis Químico Proximal

2.2.8.1. Cenizas

Al quemar la materia orgánica obtenemos un residuo orgánico denominado ceniza de un alimento, aquí se debe tener en consideración diferentes condiciones para realizar la incineración dependiendo del material o materia prima. La obtención de las cenizas de un alimento es muy importante debido a que es una medida general de calidad, es utilizado como un criterio útil en donde se identifica la autenticidad de cualquier alimento, aquí se determina si el valor es alto y muestra si existe alguna presencia de adulterante inorgánico y para determinar el porcentaje de cenizas totales, la muestra debe ingresar a una mufla a una temperatura de 500-550°C en donde será calcinada (Chugñay, 2016, p. 17).

2.2.8.2. Humedad

Todos los alimentos contienen agua y estos se encuentran de manera disponible o libre y enlazada, es muy importante la determinación del porcentaje de humedad en las muestras de residuos agrícolas, el cual se puede obtener con ayuda de diferentes métodos, tales como: secado, destilación, razones técnicas, científicas y económicas (Chugñay, 2016, p. 17).

El bagazo de caña de azúcar contiene un poder calorífico alto capaz de producir energía debido a que cada libra tiene 50% de humedad y alcanza las 3000 btu (Garcés y Martínez, 2007, p. 21).

2.2.9. Análisis Elemental

La caracterización elemental ayuda a obtener la composición química que existe en los residuos, como son: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (C-N) en los residuos, estas propiedades pueden variar dependiendo de la materia prima que se analice (Manals y Penedo, 2015, p. 181).

2.2.10. Nanopartículas de Aluminio

2.2.10.1. Óxido de aluminio

El óxido de aluminio es un material cerámico muy versátil, tienen propiedades que lo hace apto para diferentes usos en donde la temperatura es un factor crítico y su relatividad ayuda a que este material se adapte a diversos usos y aplicaciones, lo podemos encontrar en la naturaleza en forma de corindón y de esmeril (Varguez et al., 2016, p. 27).

2.2.10.2. Nanopartículas de Aluminio

Las nanopartículas de óxido de aluminio son buenos materiales para ser usado dentro de la ingeniería, debido a su alta dureza y por sus excelentes propiedades de abrasión y tiene varias aplicaciones industriales como aislantes, catalizadores o en recubrimientos (Varguez et al., 2016, p. 29).

2.2.10.3. Usos y aplicaciones

Este material tiene diversas aplicaciones, se usa para contener metal fundido, para operar a alta temperatura en donde es necesario tener una buena resistencia, es considerado como un sustrato aislante para soporte de circuitos integrados o como un aislante de las bujías (Varguez et al., 2016, p. 28).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, el objeto de estudio son el bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de piña, en donde se realizarán análisis en el laboratorio y se determinará el poder calorífico de la biomasa combinada junto a las nanopartículas y con los datos obtenidos en los laboratorios se determinará si las nanopartículas tienen la capacidad de aumentar su poder calorífico con menos uso de residuos y usarlos para la elaboración de briquetas con el objetivo de ser nuevos combustibles.

3.2. Nivel de Investigación

Esta investigación es de tipo exploratoria, ya que se centra en el análisis, investigación e interpretación de diferentes aspectos y datos que se obtienen en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para cumplir los objetivos planteados para este trabajo de investigación.

3.3. Diseño de investigación

Para esta investigación se va a utilizar el método por conveniencia, en donde se va a fijar el número de muestras que se van a realizar dependiendo de la determinación que se vaya a realizar tanto para la determinación de humedad y cenizas como para la determinación de C-N y la determinación del poder calorífico en donde se trabajará mediante un diseño completamente al azar para establecer la combinación adecuada de ambos residuos agroindustriales en porcentajes M1: 50-50%, M2: 75-25% y M3: 25-75% de bagazo de caña de azúcar y cáscaras de piña, respectivamente, se elegirá la biomasa que tenga mayor contenido de poder calorífico y se realizará dos combinaciones con las nanopartículas de aluminio y tres repeticiones de cada uno, teniendo un total de 6 muestras.

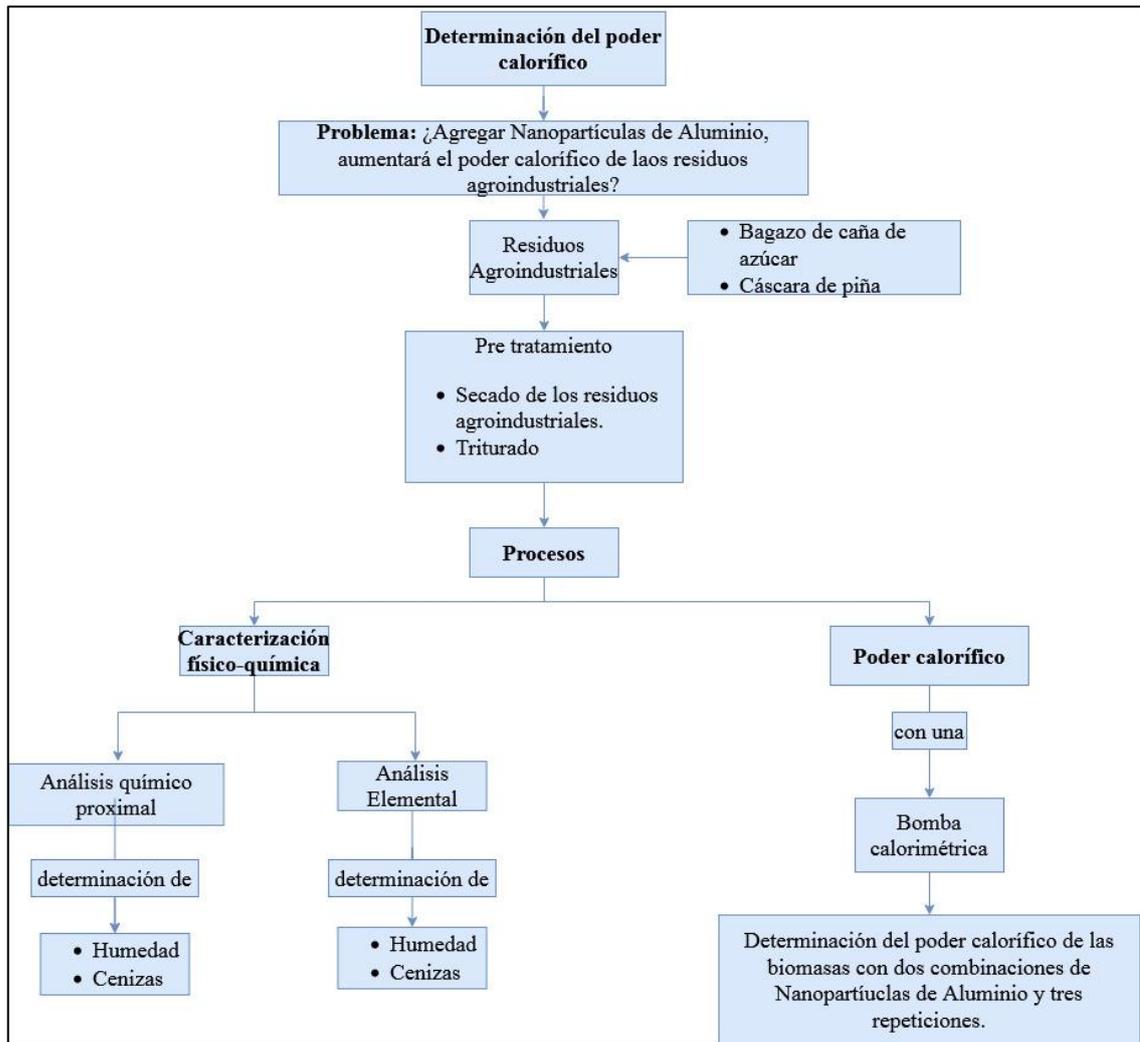


Ilustración 1-3: Diseño de investigación para llevar a cabo la determinación del poder calorífico, enriquecidos con Nanopartículas de Aluminio

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Para la obtención del poder calorífico se realizará de las muestras de los residuos por separado luego de las biomásas de la mezcla de ambos residuos agroindustriales:

Tabla 1-3: Porcentaje de los residuos agroindustriales por separado

Muestras	Porcentaje de los residuos agroindustriales (%)
Bc	100
Cp	100

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Donde:

Bc: Bagazo de caña de azúcar

Cp: Cáscara de piña

Tabla 2-3: Porcentaje de los residuos agroindustriales para la mezcla

Muestras (M)	Porcentaje de los residuos agroindustriales (%)	
	Bagazo de caña de azúcar (Bc)	Cáscara de piña (Cp)
M ₁	50	50
M ₂	75	25
M ₃	25	75

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Donde:

M: Mezcla de los residuos de bagazo de caña de azúcar con cáscara de piña.

Bc: Bagazo de caña de azúcar

Cp: Cáscara de piña

Para la determinación del poder calorífico, se determinará en primer lugar de las muestras por separado 100% bagazo de caña de azúcar y 100% de cáscara de piña, luego de la mezcla de ambos residuos en 3 diferentes porcentajes explicados en la tabla anterior, se analizará los datos obtenidos de la bomba calorimétrica, y se elegirá la mezcla que tenga más cantidad de poder calorífico y en esta muestra se realizarán dos combinaciones con Nanopartículas de Aluminio con tres repeticiones cada uno:

Tabla 3-3: Cantidad de Al Nps combinados con la muestra seleccionada.

Muestra seleccionada	Al Nps	
	C1 (%)	C2 (%)
Ms	25	50

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Donde:

Al Nps: Nanopartículas de Aluminio.

Ms: Muestra seleccionada, la mezcla que obtuvo más poder calorífico.

Mo: Combinación de la muestra seleccionada con Al Nps.

Pc: Poder calorífico obtenido de las muestras.

C: Concentración de Aluminio.

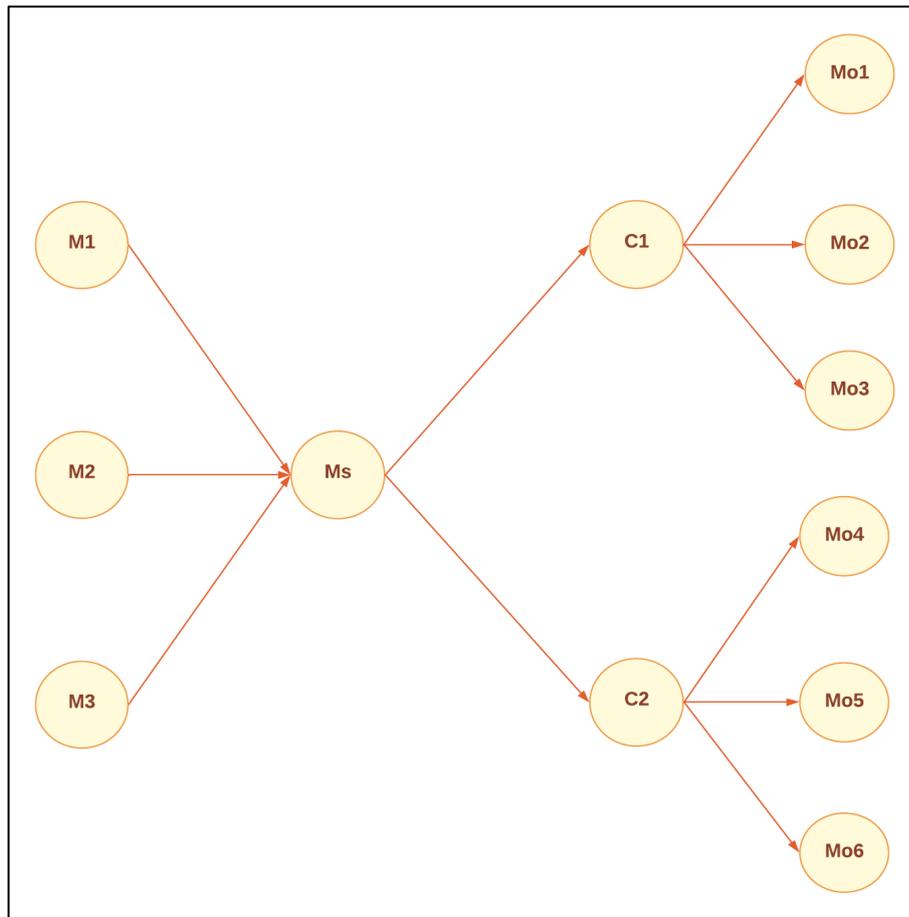


Ilustración 2-3: Determinación del poder calorífico enriquecido con AL Nps

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

Según las variables independientes que son la cantidad de biomasa y la cantidad de nanopartículas, el trabajo es experimental, debido a que estas variables independientes ayudarán a determinar el poder calorífico de la biomasa con la combinación de las Nanopartículas de Aluminio y alcanzar el objetivo, de conocer si esta combinación es viable su uso en briquetas como combustible para diferentes equipos industriales.

3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo

El trabajo es de estudio transversal ya que mediante las variables independientes ayudarán a analizar el poder calorífico en un determinado tiempo, al realizar la combinación de nanopartículas de aluminio con la biomasa, realizando tres repeticiones de ambas concentraciones.

3.4. Tipo de estudio

El tipo de estudio de esta investigación es de campo, en donde se realizará una investigación experimental, que mediante el uso de muestras de ambos residuos conoceremos los datos de su poder calorífico obtenidos en el laboratorio, se analizará el contenido de sus componentes químicos (C y N) y mediante la combinación de la nanopartículas determinaremos su poder calorífico mediante el uso de la bomba calorimétrica y analizaremos si es conveniente su uso para obtener un combustible sólido con mejor poder calorífico y que requiera menos uso de residuos.

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

3.5.1. Unidad de Análisis

La unidad de análisis para el presente trabajo de investigación será de dos tipos de muestras, bagazo de caña de azúcar y las cáscaras de piña que son residuos agroindustriales que se generan en cualquier proceso productivo.

3.5.2. Población de Estudio

La población de estudio considerada para el presente trabajo es la mezcla de bagazo de caña de azúcar y cáscaras de piña mismos que fueron obtenidas de diferentes lugares, en la parroquia Shell y del mercado de la ciudad de Riobamba respectivamente, cuyos residuos se encontraron en óptimas condiciones.

3.5.3. Tamaño de Muestra

Se trabajó por conveniencia en porcentajes con tres mezclas de ambos residuos en diferentes porcentajes, las cuales tendrán cantidades de bagazo de caña de azúcar y cáscara de piña de 50-50%, 75-25%, 25-75% respectivamente, el total de ambos residuos agroindustriales a utilizar es 1g.

3.5.4. Selección de muestra

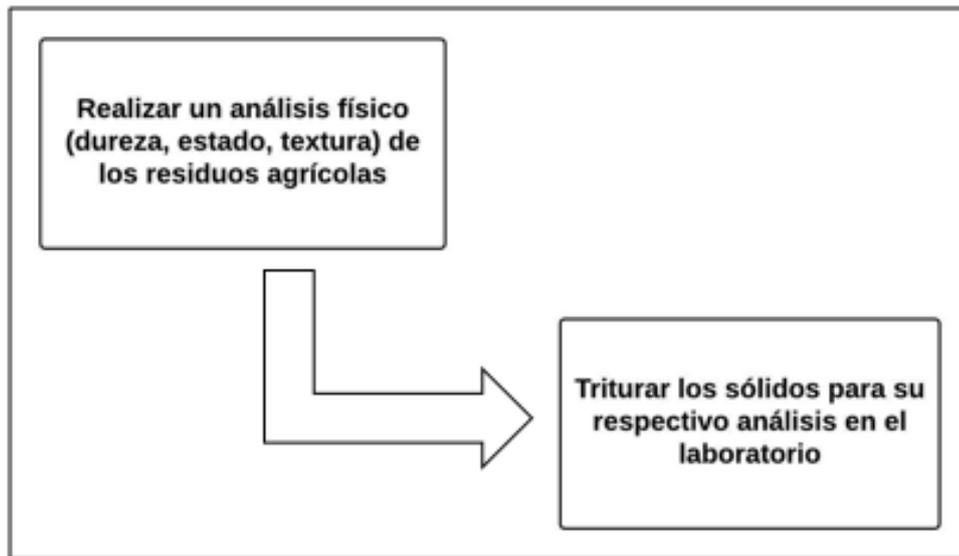


Ilustración 3-3: Pasos para la selección y tratamiento de la muestra

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Análisis químico proximal

3.6.1.1. Determinación de porcentaje de humedad

Tabla 4-3: Método para determinar la humedad de los residuos agroindustriales

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none">• Reverbero• Cápsula• Estufa• Desecador• Balanza	<ul style="list-style-type: none">• Bagazo de caña de azúcar• Cáscara de piña
Procedimiento	
Primero se debe tarar la cápsula de 2 a 3 horas, posterior a esto se debe triturar la muestra, luego pesar de 2 a 10g de muestra y colocarla la cápsula con la muestra en la estufa a 103°C por un lapso de 2 a 3 horas, retirar de la estufa, enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y por último pesar. La determinación debe realizarse por duplicado.	

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

- **Fórmula para obtener el porcentaje de humedad**

El resultado que obtenemos es en porcentaje y se deduce según la siguiente fórmula

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

$$\% \text{ humedad} = 100 - \% SS$$

Donde:

SS= Sustancia seca en porcentaje en masa

m = masa de la cápsula en g.

m₁= masa de la cápsula con la muestra en g.

m₂ = masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.

3.6.1.2. *Determinación de porcentaje de cenizas*

Tabla 5-3: Método para determinar las cenizas de los residuos agroindustriales

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> • Reverbero • Crisol • Mufla • Desecador • Balanza 	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo de caña de azúcar • Cáscara de piña
Procedimiento	
<p>Tarar el crisol de 2 a 3 horas, posterior a esto se debe triturar la muestra, luego pesar 2g de muestra y colocar el crisol con la muestra en un reverbero y en Sorbona, hasta que no salga humo, después transferir el crisol a la mufla e incinerar a 500°C – 550°C, hasta obtener cenizas libres de residuo carbonoso (esto se obtiene de 2 a 3 horas) y peso constante, retirar el crisol y colocar en un desecador, enfriar y pesar. La determinación debe hacerse por duplicado.</p>	

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

- **Fórmula para obtener el porcentaje de cenizas**

El resultado que obtenemos será en porcentaje y se deduce según las siguientes fórmulas:

$$\% C = \left\{ \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \right\} \times 100$$

Donde:

% C = contenido de cenizas en porcentaje de masa

m = masa del crisol vacío en g.

m₁ = masa del crisol con la muestra después de la incineración en g.

m₂ = masa del crisol con la muestra antes de la incineración en g.

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P_2 - P_1)}{m} \times 100$$

Donde:

m = peso de la muestra en g.

P₁ = peso del crisol vacío en g.

P₂ = peso del crisol con las cenizas en g.

3.6.2. Análisis Elemental

Tabla 6-3: Método para la determinación de C y N de los residuos agroindustriales

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none">• Analizador elemental	<ul style="list-style-type: none">• Bagazo de caña de azúcar• Cáscara de piña
Procedimiento	
Primero, secar la muestra obteniendo un porcentaje de humedad menos del 5%, triturar y pulverizar 2g de muestra en envases de papel de aluminio y colocar en la estufa a 105°C.	

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

3.6.3. Caracterización de las Nanopartículas de aluminio

- **Microscopía electrónica de barrido**

- 1) Fijar la muestra en la porta muestras con ayuda de una cinta de carbono.
- 2) Metalizar la muestra.
- 3) Colocar en el equipo.
- 4) Realizar el análisis para obtener una imagen mediante un barrido.

- **Espectrofotometría infrarroja de nanopartículas de aluminio**

- 1) Conectar el equipo a una computadora.
- 2) Colocar la muestra en la portamuestras.
- 3) Esperar la imagen.

3.6.4. Determinación del poder calorífico

3.6.4.1. Calibración de la bomba calorimétrica

Tabla 7-3: Calibración del equipo

Materiales y Equipos	Sustancias o Reactivos
• Bomba calorimétrica	• Pastilla de Ácido Benzoico
Procedimiento	
<p>Primero, colocar dos pastillas de ácido benzoico en el crisol (1g), cortar de 6 a 7 cm de alambre de ignición y colocar de tal manera que exista un roce entre ambos, colocar la cabeza en el cuerpo de la bomba sin realizar movimientos fuertes para evitar que el cable de ignición se mueva hasta que se encuentren en el mismo nivel con el borde de la tapa para evitar que se escape el oxígeno, luego conectar la bomba al tanque de oxígeno con la válvula de salida de gas abierta, girar la válvula del dispositivo de descompresión del tanque de oxígeno para mantener la presión estable a 3 MPa durante 30s. Se debe, aflojar la válvula y desconectar la tubería de oxígeno después de llenar la bomba de oxígeno, llenar con agua el tanque externo del equipo, colocar la bomba de oxígeno en el balde interior, llenar con agua destilada en el balde interior usando una bomba de succión manual para transferencia de líquidos hasta tapar todo el cuerpo de la bomba de oxígeno, no tapar la cabeza de la bomba de oxígeno, conectar el cable del electrodo de encendido con la bomba de oxígeno, cerrar la tapa de la cámara del equipo, ajustar la posición del cable, colocar el sensor de temperatura, presionar el botón de reinicio y el botón de agitación.</p> <p>El instrumento comenzará a agitar, el equipo registrará de 6 a 10 tiempos con su respectiva temperatura del período inicial, cuando la temperatura sea estable durante el período inicial presionar el botón de Ignición, y se pondrá en cero la pantalla el tiempo, comenzará a registrar la temperatura, si no existe un cambio evidente en la temperatura 1 minuto después de presionar ignición, la combustión falló o no se dio. Entonces se debe sacar la bomba de oxígeno, descargar el oxígeno con ayuda de la válvula de descarga, comprobar el estado del cable, de la muestra, el aislamiento de la cabeza de la bomba del oxígeno, resolver el problema y repetir la prueba. Si la muestra enciende, el equipo registrará un aumento de temperatura en secuencia, cuando el equipo registre de 25 a 31 tiempos, la temperatura puede disminuir o no habrá un cambio evidente, presionar el botón “End”, y el tiempo se pondrá en cero, presionar el botón “Data” y anotar los valores de temperatura con su respectivo tiempo, presionar el botón “Stir” para dejar de agitar, sacar el sensor de temperatura y desconectar los cables de electrodo, sacar la bomba y descargar el oxígeno de la bomba de oxígeno con ayuda de la válvula de descarga y limpiar el equipo completo.</p>	

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

3.6.4.2. Procedimiento del poder calorífico

Tabla 8-3: Método para la determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales

Materiales y Equipos	Materia prima
<ul style="list-style-type: none"> • Bomba calorimétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Bagazo de caña de azúcar • Cáscara de piña
Procedimiento	
<p>Primero, pesar de 0,5 a 1g de muestra usando una balanza analítica en el crisol, colocar la cabeza de la bomba de oxígeno en el soporte, colocar el crisol con la muestra en el soporte de crisol que se encuentra en la cabeza de la bomba de oxígeno, cortar el cable de ignición de 6 a 7 cm y colocar en los polos conductores, ajustar la forma del cable de ignición y la distancia entre el cable y la muestra de tal manera que solo lo toque y no permita que ninguna parte del cable se sumerja en la muestra.</p> <p>Atornillar la cabeza de la bomba de oxígeno que contiene el crisol con la muestra al cuerpo de la bomba de oxígeno, mantener la cabeza de la bomba de oxígeno de manera vertical y no moverla cuando lo atornille, girar solamente el cuerpo de la bomba hasta que quede bien sellada, conectar la tubería del tanque de oxígeno industrial a la entrada de la bomba de oxígeno, girar la válvula del dispositivo de descompresión del tanque de oxígeno para mantener la presión estable a 3 MPa durante 30 s, aflojar la válvula y desconectar la tubería de oxígeno después de llenar la bomba de oxígeno.</p> <p>Llenar con agua el tanque externo del equipo, colocar la bomba de oxígeno en el balde interior, llenar con agua destilada en el balde interior usando una bomba de succión manual para transferencia de líquidos hasta tapar todo el cuerpo de la bomba de oxígeno, no tapar la cabeza de la bomba de oxígeno, conectar el cable del electrodo de encendido con la bomba de oxígeno, cerrar la tapa de la cámara del equipo y ajustar la posición del cable y colocar el sensor de temperatura.</p> <p>Presionar el botón de reinicio y el botón de agitación, el instrumento comenzará a agitar, el equipo registrará de 6 a 10 tiempos con su respectiva temperatura del período inicial, cuando la temperatura sea estable durante el período inicial, presionar el botón de Ignición, y se pondrá en cero la pantalla el tiempo, comenzará a registrar la temperatura, si no existe un cambio evidente en la temperatura 1 minuto después de presionar ignición, la combustión falló o no se dio, entonces se debe sacar la bomba de oxígeno, descargar el oxígeno con ayuda de la válvula de descarga, comprobar el estado del cable, de la muestra, el aislamiento de la cabeza de la bomba del oxígeno, resolver el problema y repetir la prueba, si la muestra enciende, el equipo registrará un aumento de temperatura en secuencia, cuando el equipo registre de 25 a 31 tiempos, la temperatura puede disminuir o no habrá un cambio evidente, presionar el botón</p>	

“End”, y el tiempo se pondrá en cero, presionar el botón “Data” y anotar los valores de temperatura con su respectivo tiempo, presionar el botón “Stir” para dejar de agitar, sacar el sensor de temperatura y desconectar los cables de electrodo, sacar la bomba y descargar el oxígeno de la bomba de oxígeno con ayuda de la válvula de descarga y limpiar el equipo completo.

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

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

Donde:

E: Capacidad calorífica del instrumento, J/°C.

Q1: Valor calorífico del ácido benzoico estándar, J/°C.

M1: Peso de ácido benzoico, g.

40: Calor adicional (el calor del cable de encendido), J.

ΔT: Incremento de temperatura en el sistema calorimétrico, °C.

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

Donde:

Q: Poder calorífico.

E: Capacidad calorífica del instrumento, J/°C.

ΔT: Incremento de temperatura en el sistema, °C.

40: Calor adicional (el calor del cable de encendido), J.

3.6.5. Briquetas

3.6.5.1. Obtención del bagazo de caña de azúcar

La ciudad de Riobamba no se caracteriza por presentar cultivos de bagazo de caña de azúcar y por ello esta biomasa se pudo conseguir en la parroquia Shell en donde los locales que tienen trapiche utilizan la caña de azúcar para vender el jugo. Una vez realizado el proceso de extracción del jugo, la parte seca es desechada a contenedores de basura o en este caso a terrenos vacíos, generando grandes cantidades de residuos.

3.6.5.2. Obtención de la cáscara de piña

La cáscara de piña fue la biomasa con más dificultad para conseguir, debido a que estos residuos son desechados a la basura después de haber sido pelada la fruta.

3.6.5.3. Elaboración de briquetas

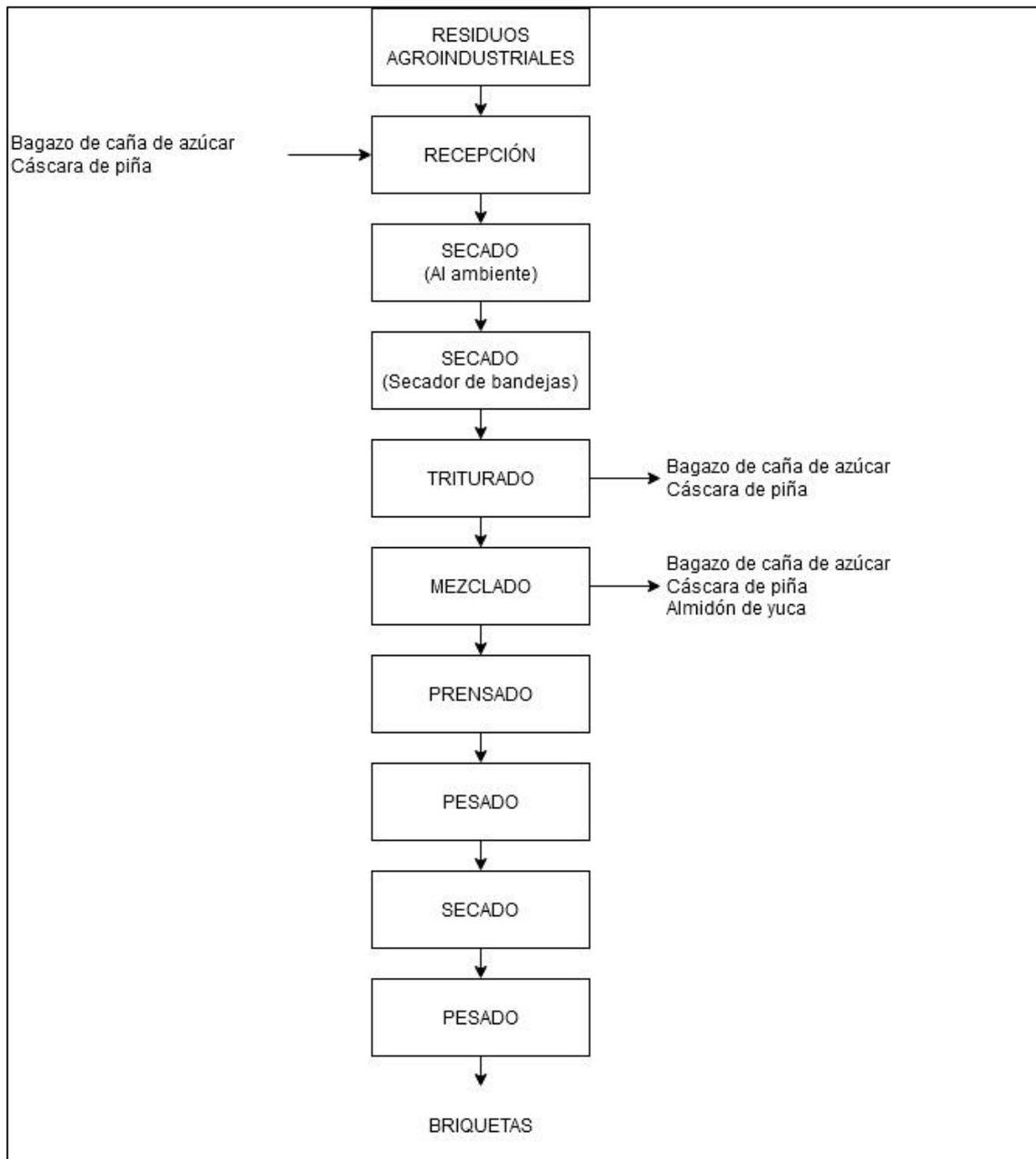


Ilustración 4-3: Flujograma del proceso de elaboración de briquetas

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

La elaboración de las briquetas comienza con el secado de los residuos agroindustriales al ambiente, el bagazo de caña de azúcar tuvo un tiempo de secado de 5 meses y la cáscara de piña un día, luego se colocaron en una estufa a 80°C por 24 horas para obtener un mejor secado, posteriormente triturar y mezclar 3Kg de cada uno en un solo recipiente, añadir el aglutinante, colocar la masa en los moldes del equipo, realizar el prensado, dejar secar en una estufa a 80°C por 12 horas, pesar.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cálculo del análisis proximal

4.1.1. Cálculo del porcentaje de humedad

4.1.1.1. Porcentaje de humedad de la cáscara de piña

Tabla 1-4: Pesos iniciales y finales de la cáscara de piña para obtener el porcentaje de humedad

Cp	Pesos iniciales (g)			Pesos finales (g)
	Muestra	m	m ₁	m ₂
Cp ₁	5,391	100,133	105,524	101,572
Cp ₂	4,747	89,994	94,741	91,060

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Muestra Cp₁

$$\% \text{ SS} = \left\{ \frac{(101,572 - 100,133)g}{(105,524 - 100,133)g} \right\} \times 100$$

$$\% \text{ SS} = 26,69263587$$

$$\% \text{ Humedad} = 100 - 26,69263587$$

$$\% \text{ Humedad} = 73,307$$

Muestra Cp₂

$$\% \text{ SS} = \left\{ \frac{(91,060 - 89,994)g}{(94,741 - 89,994)g} \right\} \times 100$$

$$\% \text{ SS} = 22,4562$$

$$\% \text{ Humedad} = 100 - 22,4562$$

$$\% \text{ Humedad} = 77,54$$

4.1.1.2. Porcentaje de humedad del bagazo de caña de azúcar

Tabla 2-4: Pesos iniciales y finales del bagazo de caña de azúcar para obtener el porcentaje de humedad

Bc	Pesos iniciales (g)			Pesos finales (g)
	Muestra	m	m₁	m₂
Bc ₁	3,417	46,630	50,047	48,542
Bc ₂	108,841	3,842	112,683	110,836

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Muestra Bc₁

$$\% (SS) = \left\{ \frac{(48,542 - 46,630)g}{(50,047 - 46,630)g} \right\} \times 100$$

$$\% (SS) = 55,9555$$

$$\% \text{ Humedad} = 100 - 55,9555$$

$$\% \text{ Humedad} = 44,04$$

Muestra Bc₂

$$\% (SS) = \left\{ \frac{(110,836 - 108,841)g}{(112,683 - 108,841)g} \right\} \times 100$$

$$\% (SS) = 51,9260$$

$$\% \text{ Humedad} = 100 - 51,9260$$

$$\% \text{ Humedad} = 48,0739$$

4.1.1.3. Porcentajes finales de humedad

Tabla 3-4: Porcentaje final de humedad

Muestra	Porcentaje de humedad
Cp	75,42
Bc	46,05

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

El porcentaje de humedad de ambos residuos agroindustriales, resultante de los análisis realizados en el laboratorio (ANEXO B) reportó para la cáscara de piña una media de 157,847% y del bagazo de caña de azúcar 92,1139, en donde la muestra Cp contiene mayor porcentaje de humedad comparación a la muestra Bc.

4.1.2. Cálculo del porcentaje de cenizas

4.1.2.1. Porcentaje de cenizas de la cáscara de piña

Tabla 4-4: Pesos iniciales y finales de la cáscara de piña para obtener el porcentaje de cenizas

Cp	Pesos iniciales (g)			Pesos finales (g)
	Muestra	m	m₁	m₂
Cp ₁	2,024	24,936	26,96	24,955
Cp ₂	2,182	32,579	34,761	32,598

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Muestra Cp₁

$$\% Cp_1 = \left\{ \frac{(24,955 - 24,936)g}{(26,96 - 24,936)g} \right\} \times 100$$

$$\% Cp_1 = 0,9387 \%$$

Muestra Cp₂

$$\% Cp_2 = \left\{ \frac{(32,598 - 32,579)g}{(34,761 - 32,579)g} \right\} \times 100$$

$$\% Cp_2 = 0,8707$$

4.1.2.2. Porcentaje de cenizas del bagazo de caña de azúcar

Tabla 5-4: Pesos iniciales y finales del bagazo de caña de azúcar para obtener el porcentaje de ceniza

Bc	Pesos iniciales (g)			Pesos finales (g)
	Muestra	m	m₂	m₁
Bc ₁	2,042	42,451	44,493	42,463
Bc ₂	2,184	26,003	28,187	26,022

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Muestra Bc₁

$$\% Bc_1 = \left\{ \frac{(42,463 - 42,451)g}{(44,493 - 42,451)g} \right\} \times 100$$
$$\% Bc_1 = 0,5876$$

Muestra Bc₂

$$\% Bc_2 = \left\{ \frac{(26,022 - 26,003)g}{(28,187 - 26,003)g} \right\} \times 100$$
$$\% Bc_2 = 0,8699$$

4.1.2.3. Porcentajes finales de cenizas

Tabla 6-4: Porcentaje final de cenizas

Muestra	Cenizas
Cp	1,8094
Bc	1,4575

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

El porcentaje de cenizas de las muestras Cp y Bc resultante de los análisis realizados en el laboratorio (ANEXO C) reportó para la muestra Cp una media de 1,8094% y del Bc una media de 1,4575 %, se observa que la muestra de cáscara de piña contiene mayor porcentaje de cenizas.

4.2. Cálculo del análisis elemental

Tabla 7-4: Resultados obtenidos del análisis elemental de los residuos agroindustriales

Muestra	Método	Resultados		Unidad
		Carbono	Nitrógeno	
Bagazo de caña	Oxidación completa por combustión	43,278	0,611	%
Cáscara de piña		39,339	0,907	%

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

4.3. Caracterización de Nanopartículas de Aluminio

De los análisis, microscopía electrónica de barrido y espectrofotometría infrarroja, realizados en el laboratorio se obtuvo imágenes (ANEXO D), que demostraron que el producto utilizado cumplen los parámetros requeridos para determinar que son nanopartículas de aluminio, que cuentan con un tamaño de 10-15 nm, además, contamos con la información de la empresa Jiangsu Xfnano Materials Tech Co., Ltd. que cuenta con un excelente equipo técnicos formado por 10 médicos y algunos maestros, tienen una estrecha relación con el Laboratorio Nacional Universitario en América, Singapur y otros laboratorios famosos en China, cuentan con la certificación ISO9001, teniendo así una gran reputación en los campos de nanomateriales.

4.4. Determinación del poder calorífico

Para evaluar la factibilidad de aumentar el poder calorífico de los residuos agroindustriales enriquecida con Al Nps se utilizó una bomba calorimétrica en donde se realizaron los estudios de varias muestras, en primer lugar, se realizó solo con los residuos agroindustriales, se realizó una combinación de ambos, obteniendo así la muestra con mayor poder calorífico, a partir de ello, se realizaron combinaciones con dos diferentes concentraciones y cada una con 3 repeticiones (ANEXO E), obteniendo los siguientes resultados:

4.4.1. Determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales

4.4.1.1. Resultados de la bomba calorimétrica de las muestras por separado

Tabla 8-4: Poder calorífico de la muestra 100 % Cp

Tiempo	Temperatura °C	Tiempo	Temperatura °C
0	21,455	16	22,446
1	21,575	17	22,452
2	21,889	18	22,458
3	22,072	19	22,463
4	22,173	20	22,467
5	22,242	21	22,472
6	22,284	22	22,475
7	22,316	23	22,478
8	22,341	24	22,481
9	22,364	25	22,483
10	22,381	26	22,485

11	22,396	27	22,487
12	22,409	28	22,488
13	22,421	29	22,489
14	22,430	30	22,491
15	22,438	31	22,492

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 9-4: Poder calorífico de la muestra 100% Bc

Tiempo	Temperatura °C	Tiempo	Temperatura °C
0	21,498	16	21,988
1	21,593	17	21,991
2	21,738	18	21,995
3	21,815	19	21,998
4	21,857	20	22,000
5	21,885	21	22,003
6	21,905	22	22,006
7	21,920	23	22,008
8	21,933	24	22,009
9	21,944	25	22,011
10	21,953	26	22,012
11	21,961	27	22,013
12	21,967	28	22,015
13	21,974	29	22,015
14	21,979	30	22,017
15	21,984	31	22,017

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

4.4.1.2. Cálculo del poder calorífico de muestras separadas

Cáscara de piña

$$Q = \frac{(32975,8396) \times (22,492 - 21,455) - 40}{0,8460}$$

$$Q = 40373,46 \text{ J/g}$$

Bagazo de caña de azúcar

$$Q = \frac{(32975,8396) \times (22,017 - 21,498) - 40}{0,7086}$$
$$Q = 24096,05$$

4.4.1.3. Resultados de las muestras por separado

Tabla 10-4: Poder calorífico de las muestras de residuos agroindustriales

Muestra	Poder calorífico (J/g)
100 % Cp	40373,46
100 % Bc	24096,05

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

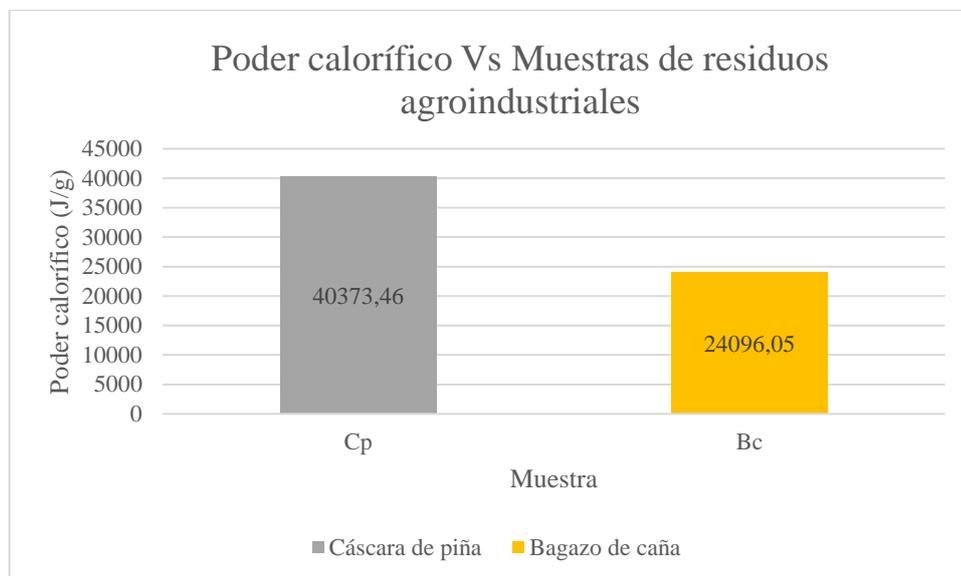


Ilustración 1-4: Poder calorífico vs. Residuos agroindustriales

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Como se observa tanto en la Tabla 10-4 y en la Ilustración 1-4, el poder calorífico de la cáscara de piña es de 40,37 MJ/kg mientras que el bagazo de caña de azúcar es de 24,09 MJ/kg conociendo así que la cáscara de piña contiene mayor poder calorífico en comparación con el bagazo de caña de azúcar.

4.4.2. Determinación del poder calorífico de la combinación de los residuos agroindustriales (biomasas)

4.4.2.1. Resultados obtenidos de la bomba calorimétrica de las biomasas

Tabla 11-4: Poder calorífico de la muestra M₁

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	21,882	16	22,579
1	22,047	17	22,584
2	22,251	18	22,589
3	22,343	19	22,593
4	22,347	20	22,598
5	22,432	21	22,601
6	22,459	22	22,605
7	22,481	23	22,607
8	22,498	24	22,610
9	22,514	25	22,612
10	22,528	26	22,614
11	22,539	27	22,616
12	22,549	28	22,617
13	22,557	29	22,619
14	22,565	30	22,620
15	22,573	31	22,621

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 12-4: Poder calorífico de la muestra M₂

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	21,436	16	22,121
1	21,572	17	22,127
2	21,785	18	22,131
3	21,890	19	22,135
4	21,946	20	22,139
5	21,982	21	22,142
6	22,008	22	22,145
7	22,029	23	22,148
8	22,047	24	22,150
9	22,061	25	22,152
10	22,074	26	22,155

11	22,084	27	22,156
12	22,093	28	22,158
13	22,102	29	22,159
14	22,109	30	22,161
15	22,115	31	22,162

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 13-4: Poder calorífico de la muestra M₃

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	20,890	16	21,668
1	21,030	17	21,675
2	21,261	18	21,680
3	21,379	19	21,685
4	21,449	20	21,689
5	21,495	21	21,693
6	21,528	22	21,696
7	21,555	23	21,699
8	21,576	24	21,702
9	21,595	25	21,704
10	21,611	26	21,707
11	21,624	27	21,709
12	21,635	28	21,711
13	21,646	29	21,712
14	21,654	30	21,715
15	21,662	31	21,716

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

4.4.2.2. Cálculo del poder calorífico de las biomásas

Muestra M₁

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (22,621 - 21,882)^\circ\text{C} - 40}{0,5311}$$

$$Q = 45808,97282 \text{ J/g}$$

Muestra M₂

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (22,162 - 21,436)^\circ\text{C} - 40}{0,5321 \text{ g}}$$
$$Q = 44917,23276 \text{ J/g}$$

Muestra M₃

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (21,716 - 20,890)^\circ\text{C} - 40}{0,6196 \text{ g}}$$
$$Q = 43896,1322 \text{ J/g}$$

4.4.2.3. Resultados del poder calorífico de las muestras madres

Tabla 14-4: Poder calorífico de las biomazas

Muestra	Poder calorífico (J/g)
M ₁	45808,97282
M ₂	44917,23276
M ₃	43896,1322

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

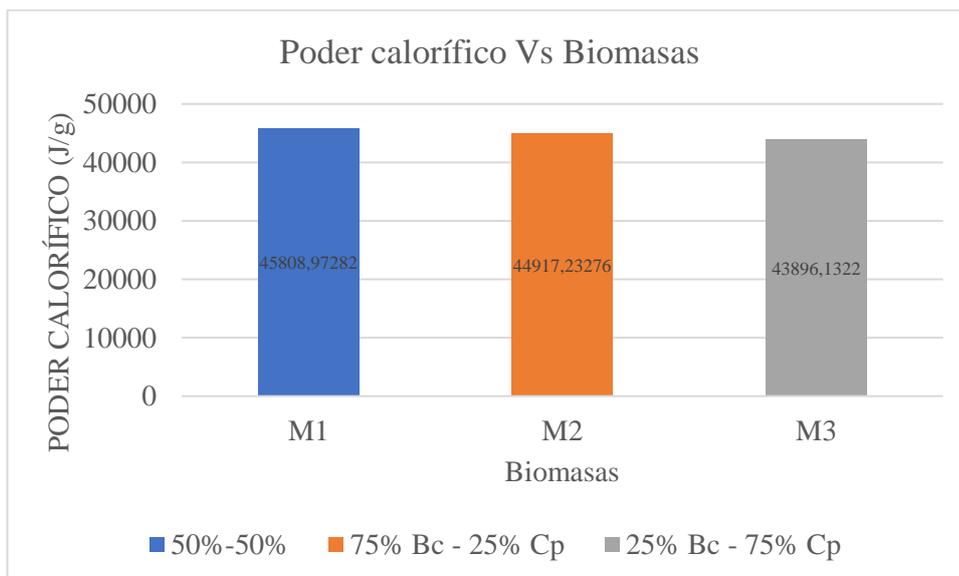


Ilustración 2-4: Poder calorífico vs. Biomazas

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Analizamos tanto en la Tabla 14-4 como en la Ilustración 2-4, el poder calorífico que se obtuvo para la muestra M₁ es de 45,8089 J/kg, de la muestra M₂ es de 44,9172 J/kg y por último la muestra M₃ es de 43,8961 J/kg. Se observa que la combinación del 50-50% de ambos residuos agroindustriales logró cumplir con el objetivo siendo esta muestra seleccionada. Se enriqueció esta combinación con Al NPs a diferentes concentraciones para realizar las siguientes pruebas y determinar si esta última combinación es una buena opción para obtener biomásas con mayor poder calorífico.

4.4.3. Determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales enriquecidos con Al Nps

4.4.3.1. Resultados de la bomba calorimétrica de las combinaciones de biomasa con adición del 25% de Al Nps

Tabla 15-4: Peso iniciales de la biomasa combinada con Al Nps

Muestra	Peso (g)
Mo ₁	0,7537
Mo ₂	0,7191
Mo ₃	0,7523
Mo ₄	0,8206
Mo ₅	0,7731
Mo ₆	0,7977

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 16-4: Resultados de la muestra Mo₁

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,341	16	23,058
1	22,470	17	23,063
2	22,706	18	23,066
3	22,821	19	23,070
4	22,883	20	23,074
5	22,922	21	23,077
6	22,951	22	23,079
7	22,971	23	23,081
8	22,988	24	23,083
9	23,002	25	23,085
10	23,014	26	23,086

11	23,023	27	23,088
12	23,032	28	23,090
13	23,040	29	23,091
14	23,047	30	23,091
15	23,053	31	23,092

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 17-4: Resultados de la muestra Mo₂

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,363	16	23,114
1	22,490	17	23,120
2	22,715	18	23,125
3	22,828	19	23,130
4	22,894	20	23,134
5	22,938	21	23,138
6	22,971	22	23,142
7	22,997	23	23,145
8	23,019	24	23,148
9	23,037	25	23,150
10	23,053	26	23,152
11	23,067	27	23,154
12	23,078	28	23,156
13	23,089	29	23,157
14	23,098	30	23,159
15	23,106	31	23,160

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 18-4: Resultados de la muestra Mo₃

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,514	16	23,224
1	22,619	17	23,229
2	22,847	18	23,233
3	22,964	19	23,236
4	23,030	20	23,240
5	23,074	21	23,242
6	23,105	22	23,245
7	23,129	23	23,247
8	23,147	24	23,249

9	23,162	25	23,251
10	23,176	26	23,252
11	23,187	27	23,253
12	23,197	28	23,254
13	23,205	29	23,255
14	23,212	30	23,256
15	23,218	31	23,257

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

4.4.3.2. Cálculo del poder calorífico de biomasa con adición del 25% de Al Nps

Muestra Mo₁

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^{\circ}\text{C}) \times (23,092 - 22,341)^{\circ}\text{C} - 40}{0,7537 \text{ g}}$$

$$Q = 32804,6378 \text{ J/g}$$

Muestra Mo₂

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^{\circ}\text{C}) \times (23,160 - 22,363)^{\circ}\text{C} - 40}{0,7191 \text{ g}}$$

$$Q = 36492,4824 \text{ J/g}$$

Muestra Mo₃

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^{\circ}\text{C}) \times (23,257 - 22,514)^{\circ}\text{C} - 40}{0,7523 \text{ g}}$$

$$Q = 32515,01904 \text{ J/g}$$

4.4.3.3. Resultados de la bomba calorimétrica de biomasa con adición del 50% de Al Nps

Tabla 19-4: Resultados de la muestra Mo₄

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,607	16	23,121
1	22,668	17	23,125
2	22,831	18	23,128
3	22,917	19	23,131
4	22,971	20	23,134
5	23,005	21	23,136
6	23,029	22	23,138
7	23,048	23	23,141
8	23,062	24	23,141
9	23,074	25	23,143
10	23,084	26	23,144
11	23,093	27	23,145
12	23,100	28	23,147
13	23,107	29	23,147
14	23,112	30	23,148
15	23,117	31	23,148

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 20-4: Resultados de la muestra Mo₅

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,576	16	23,055
1	22,623	17	23,059
2	22,754	18	23,062
3	22,840	19	23,065
4	22,898	20	23,067
5	22,937	21	23,069
6	22,963	22	23,070
7	22,982	23	23,072
8	22,998	24	23,073
9	23,011	25	23,074
10	23,020	26	23,075
11	23,028	27	23,076
12	23,036	28	23,076
13	23,042	29	23,077

14	23,047	30	23,077
15	23,052	31	23,077

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 21-4: Resultados de la muestra Mo₆

Tiempo	Temperatura (°C)	Tiempo	Temperatura (°C)
0	22,245	16	22,724
1	22,283	17	22,728
2	22,400	18	22,732
3	22,492	19	22,734
4	22,551	20	22,737
5	22,592	21	22,738
6	22,623	22	22,740
7	22,645	23	22,742
8	22,662	24	22,743
9	22,675	25	22,744
10	22,686	26	22,746
11	22,696	27	22,747
12	22,704	28	22,747
13	22,710	29	22,748
14	22,716	30	22,748
15	22,721	31	22,748

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

4.4.3.4. Cálculo del poder calorífico de biomasa con adición del 50% de Al Nps

Muestra Mo₄

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^{\circ}\text{C}) \times (23,148 - 22,607)^{\circ}\text{C} - 40}{0,8206 \text{ g}}$$

$$Q = 21691,35903 \text{ J/g}$$

Muestra Mo₅

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (23,077 - 22,576)^\circ\text{C} - 40}{0,7731 \text{ g}}$$
$$Q = 21317,93512 \text{ J/g}$$

Muestra Mo₆

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) \times (22,748 - 22,245)^\circ\text{C} - 40}{0,7977 \text{ g}}$$
$$Q = 20743,19584 \text{ J/g}$$

4.4.3.5. *Resultados del poder calorífico de biomas combinadas con Al Nps*

Tabla 22-4: Poder calorífico de la combinación de Al Nps con los residuos agroindustriales

Muestra	Poder calorífico (J/g)
Mo ₁	32804,6378
Mo ₂	36492,48249
Mo ₃	32515,01904
Mo ₄	21691,35903
Mo ₅	21317,93512
Mo ₆	20743,19584

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

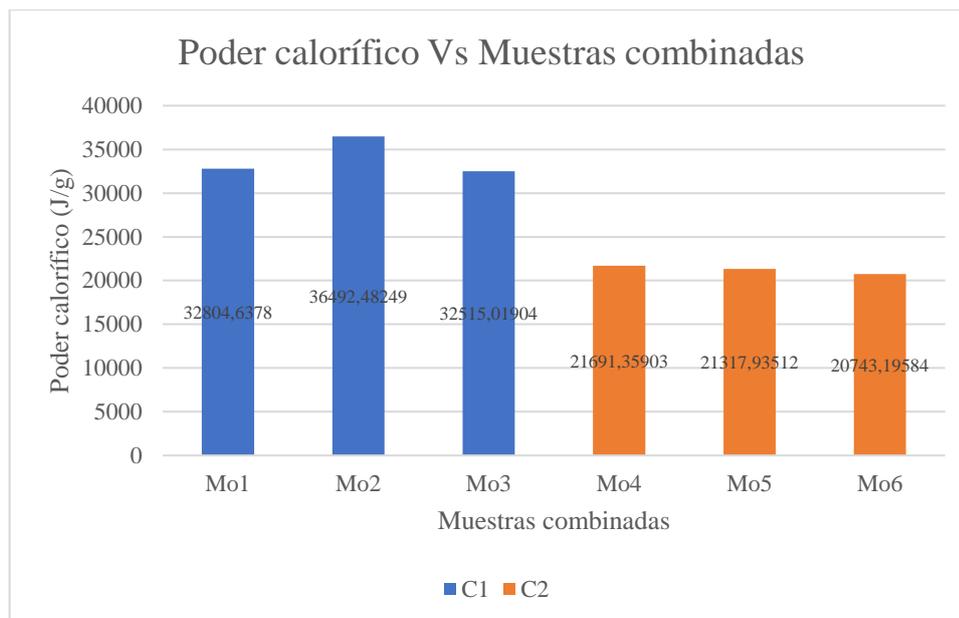


Ilustración 3-4: Poder calorífico vs. Muestras combinadas con Al Nps

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Al realizar el análisis de la Tabla 22-4 y la Ilustración 3-4 podemos observar claramente que al enriquecer la biomasa con Al Nps no ayuda a cumplir con el objetivo, es decir, no logra aumentar el poder calorífico de manera satisfactoria, al contrario, debido al aumento de concentración de nanopartículas en las muestras Mo₄, Mo₅ y Mo₆ se genera una disminución de su poder calorífico, por lo que en la gráfica se observa que a mayor porcentaje de Al Nps tenga la biomasa, su poder calorífico disminuirá considerablemente.

4.5. Elaboración de briquetas

Para la elaboración de briquetas es necesario tener en cuenta ciertas condiciones, el contenido de humedad es el más importante, según Almache (2020, p. 11), menciona que si el proceso es artesanal el porcentaje de humedad debe ser mayor al 20%, para procesos semi industriales es de 15-20% y para procesos industriales el porcentaje de humedad debe estar en el rango de 5-15%. Otro de los aspectos que se debe tomar en cuenta es que el producto no debe adherirse al molde que lo contiene porque puede tener problemas al momento de expulsar la briqueta de la máquina, como es en el caso del bagazo de la caña de azúcar, ya que debido a las fibras que contiene, estas se quedaron adheridas a molde y en los pistones de tal manera que se ejerció demasiada fuerza para lograr sacar el producto de los moldes, al contrario de la cáscara de piña, que se obtuvo sin ningún problema.

También fue importante el tamaño de las partículas, para esto se realizó previamente la molienda de ambos residuos agroindustriales, para mejorar el proceso de compactación y acabado de la briqueta, logrando así que las partículas de ambas biomásas se coloquen de forma adecuada para obtener un buen producto (ANEXO F).

Según Almache (2020, p. 11), si no se obtiene un rango mínimo de tamaño de las partículas, la mezcla para la elaboración de las briquetas no permitirá el flujo de oxígeno, dificultando así el proceso de combustión y si superamos el rango máximo del tamaño de las partículas, existirá mayor cantidad de oxígeno, provocando contaminación y la emanación de gases aumentará.

En cuanto a la presión, según Almache (2020, p. 12), definirá las características finales de la briqueta, ya que este parámetro se encarga de compactar la biomasa para la aglomeración de las partículas presente en el molde de la briquetadora que se diseñó y de esta manera aumentar la densidad de la biomasa, en el caso de la mezcla de ambos residuos agroindustriales se colocó más cantidad de masa en gramos en cada molde en comparación con otras mezclas realizadas en la misma briquetadora, observándose al final, luego de retirar los pistones de compactación, el producto se expandió, produciendo un efecto de relajación.

Dentro del parámetro de la temperatura de secado para disminuir la humedad presente en el producto después del proceso de compactación, según Almache (2020, p. 13), es posible realizar el secado de manera natural, secado forzado o mediante un horno, las briquetas húmedas que se obtuvieron luego de la compactación (ANEXO F) se colocaron en una estufa a 80°C por 12 horas, obteniendo un secado óptimo de las briquetas.

Se realizó una prueba del secado al aire libre con 3 briquetas, al aprovechar las condiciones naturales y con los rayos solares permitió que las briquetas empiecen a secar al pasar dos horas, el proceso es más lento que en la estufa, pero funciona y se obtiene un buen producto.

4.6. Comprobación de hipótesis

Tabla 23-4: Análisis estadístico de varianza con un factor (ANOVA)

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
BIOMASAS	3	134622,338	44874,1126	916134,321
COMBINADAS	6	165564,629	27594,1049	50342768,7

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Tabla 24-4: Resumen del ANOVA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	597197333	1	597197333	16,487657	0,004806559	5,591447851
Dentro de los grupos	253546112	7	36220873,2			
Total	850743445	8				

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Y por último mediante el análisis de varianza de un factor utilizando los valores obtenidos del poder calorífico de las biomasas y combinadas con Al NPs, al obtener un valor de probabilidad de menor nivel de significación y debido a que el nivel de significación es de 0,05 se rechaza la hipótesis, no es posible aumentar el poder calorífico de las cáscaras de piña y del bagazo de caña de azúcar al ser combinadas con nanopartículas de aluminio.

4.7. Discusión de resultados

4.7.1. Humedad y cenizas

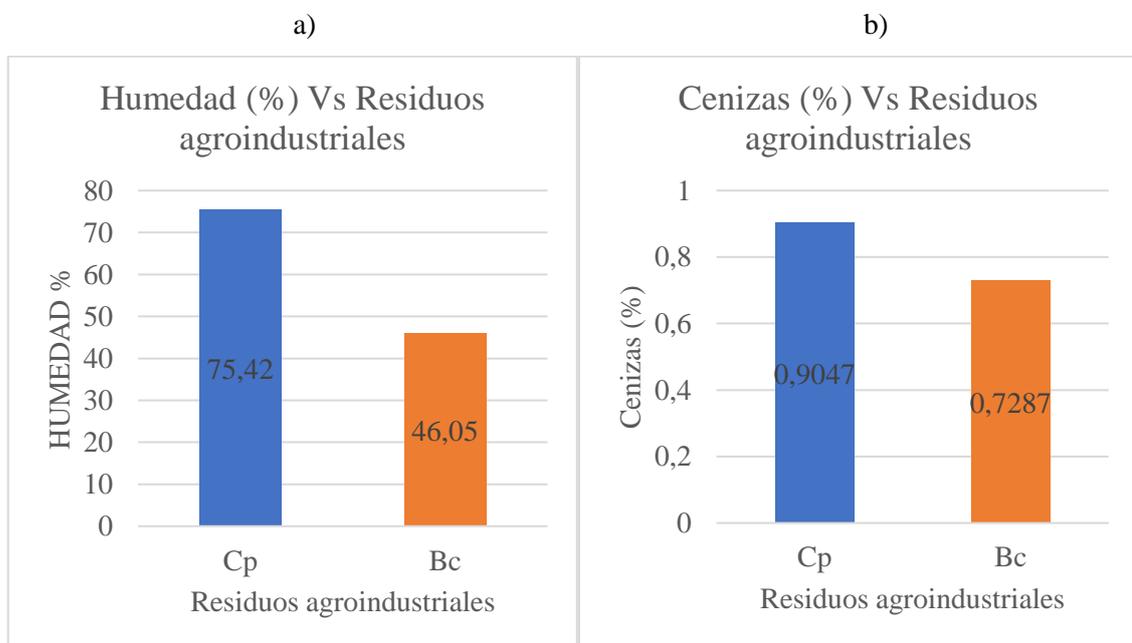


Ilustración 4-4: a) Resultado del contenido de humedad (%); b) Resultado del contenido de cenizas (%)

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

En relación al porcentaje de humedad, según Chuguli (2021, pp. 25-26), en Ecuador el bagazo de caña de azúcar tiene un promedio de humedad que oscila entre el 23,2% hasta 43,3%, valores que varían según la velocidad y eficiencia de la molienda, datos que concuerdan con el valor obtenido en el gráfico 7-4, en donde se obtuvo 46,05% y según informes en donde se recomienda el secado del bagazo de caña en trapiches panaleros, informa que el bagazo de la caña de azúcar demora alrededor de 15 días en secar del 30% al 62% de humedad, permitiendo aprovechar en mayor cantidad este residuo. Según los dueños del local el bagazo de caña de azúcar tuvo un almacenamiento entre 2 a 7 días, es por esta razón que los resultados alcanzaron al 46% de humedad. En cuanto a la cáscara de piña, estos residuos son utilizados a medida que se pela la fruta y se desecha por esta razón contienen mayor humedad.

En relación con el contenido de cenizas que se observan en el gráfico 8-4 la cáscara de piña contiene mayor ceniza en comparación al bagazo de caña de azúcar. Según Maradiaga et al. (2017, p. 531), en caso de que se utilice la cáscara de piña de forma individual en equipos de combustión, este puede ocasionar problemas de obstrucción en dichos equipos, el riesgo es mucho más alto en comparación al bagazo de caña de azúcar que contiene menos contenido de ceniza.

Según Garcés y Martínez (2007, p. 10), el bagazo de caña de azúcar es un combustible cuyo componente en mayor cantidad es el agua, este es un factor importante que afecta su energía disponible, ya que a medida que aumenta el porcentaje de humedad su poder calorífico disminuirá, esto se debe a que el calor desprendido durante la combustión del bagazo de caña de azúcar, se utilizará para evaporar el agua proveniente de la humedad de este residuo agroindustrial.

4.7.2. Poder Calorífico

Al obtener los datos de la determinación del poder calorífico de cada una de las muestras mediante el uso de la bomba calorimétrica que se empezó el análisis por separado de cada uno de los residuos agroindustriales, las dos primeras muestras que son 100% Cp y 100% Bc observamos que la cáscara de piña contiene más poder calorífico en comparación al bagazo de la caña de azúcar, luego al realizar la combinación de ambos residuos agroindustriales, con una mezcla del 50% - 50%, 75 % -25% y 25 % - 75% siendo M₁, M₂ y M₃ respectivamente, de tal manera, que se pudo obtener la combinación de residuos agroindustriales que favorecía al aumento del poder calorífico, una vez obtenida la muestra con mayor resultado, se procedió a establecer el porcentaje de concentración que llevaría dicha muestra, estableciendo dos concentraciones de Al Nps y con tres repeticiones de cada una, estableciendo así en total 6 tipos de muestras para analizar, al finalizar la determinación del poder calorífico de cada una de estas muestras, con sus respectivos

cálculos, se observó de manera inmediata que la adición de las Al Nps no favorece, al contrario, lo que provoca es que disminuya su poder calorífico.

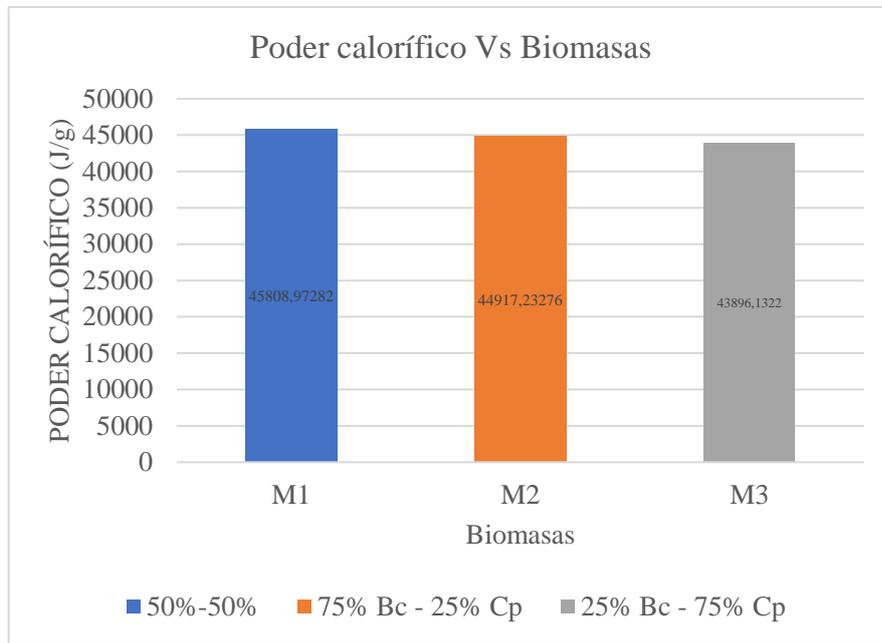


Ilustración 5-4: Poder calorífico de las biomosas

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

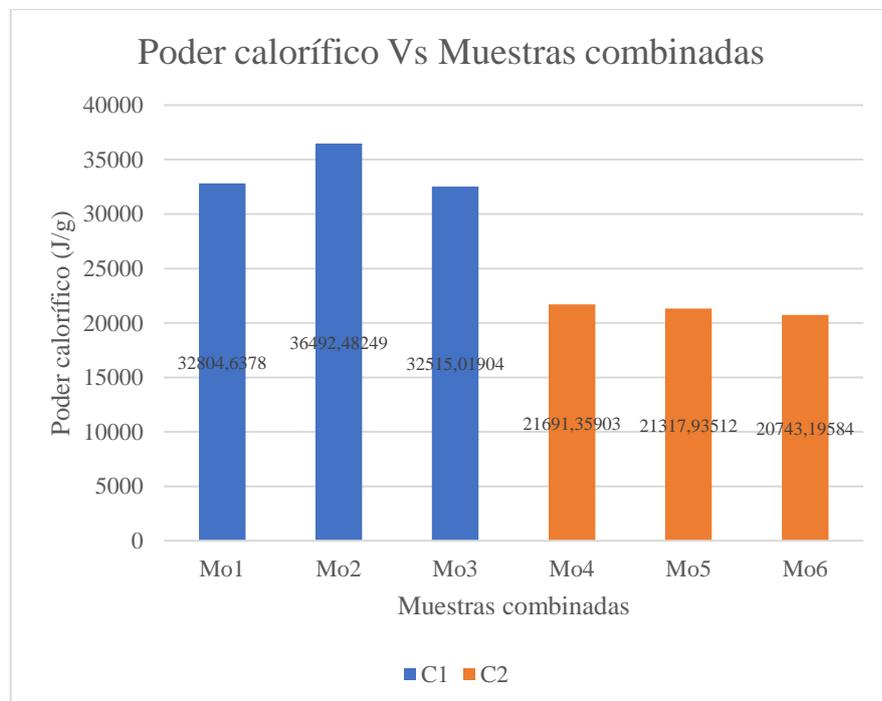


Ilustración 6-4: Poder calorífico de las muestras combinadas

Realizado por: Frías Jhoseline, 2022

Según Guano y Morales (2020, p. 65), sus estudios con nanopartículas de alofán en un biodiesel, logra el aumento de 1,02 MJ/kg al añadir 50 ppm de alofán, demostrando que si es factible el uso de nanopartículas en combustibles líquidos. Asimismo, estudios realizados muestran que la adición de Al Nps en concentraciones de 0,01% y 0,5% en volumen en combustible diésel se logra mejorar la capacidad de ignición en comparación al combustible solo, además de aumentar su velocidad de combustión al usar partículas más pequeñas de Al Nps, lo que muestra que las nanopartículas son muy útiles en combustible líquidos favorecen en gran medida en el aumento del poder calorífico y a reducir las emisiones gaseosas que son producto de la combustión y por ende a reducir el consumo de estos combustibles, mientras que en este estudio se concluyó que existe diferencia en los combustibles sólidos, en donde, mientras más concentración de Al NPs tenga se reduce considerablemente su poder calorífico.

CONCLUSIONES

- Partiendo del uso de residuos agroindustriales que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o plantas de producción y para controlar el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir el consumo de combustibles derivados del petróleo, el uso de biomásas son una buena alternativa y la mezcla de cáscara de piña con el bagazo de caña de azúcar son una excelente opción para ser usados como fuente de energía en la elaboración de briquetas gracias a que la mezcla de ambos residuos agroindustriales por separado aumenta su poder calorífico de 40373,46 J/g y 24096,05 J/g, Cp y Bc respectivamente a la biomasa M1 de 45808,97 J/g.
- Se analizaron las muestras de los residuos agroindustriales para encontrar el porcentaje de humedad teniendo como resultado que la muestra de cáscara de piña presenta mayor cantidad de humedad y en obtención del porcentaje de cenizas se observó que la muestra de cáscara de piña tiene mayor porcentaje de cenizas, esto ayudó a determinar que a mayor porcentaje de humedad menor poder calorífico se obtiene de las biomásas.
- La determinación del poder calorífico de la combinación de los dos residuos agroindustriales se realizó mediante el uso de una bomba calorimétrica, obteniendo mayor poder calorífico de 40373,46 J/g de la cáscara de piña en comparación con el bagazo de caña de azúcar, pero la mezcla de las dos biomásas, la muestra M₁ con un porcentaje del (50% - 50%) es la combinación que más favorece para aumentar el poder calorífico de estos residuos agroindustriales.
- Con la combinación de biomásas con mayor poder calorífico y las Al Nps se observó que ninguna de las seis muestras presenta un aumento de su poder calorífico, al contrario, las Al Nps lo disminuye en gran cantidad.

RECOMENDACIONES

- En el análisis proximal y elemental se recomienda que las muestras de los residuos agroindustriales sean homogéneas y tengan un porcentaje menor al 5%, 2g de muestra.
- Para el análisis proximal, en la obtención del porcentaje de humedad luego de que la muestra haya estado de 2 a 3 horas en la estufa se debe colocar en el desecador, de tal manera que la muestra se enfríe y no absorba humedad durante el proceso.
- Para determinar el poder calorífico de residuos agroindustriales, el porcentaje de humedad que se debe considerar es menos del 5%, mientras más seco esté la muestra mejor y mediante el uso de un tamiz se debe obtener una muestra fina.
- En la determinación del poder calorífico, en el uso del equipo de la bomba calorimétrica es importante tener mucho cuidado al llenar la bomba de oxígeno y en el uso del tanque de oxígeno industrial, debido a que la manguera que se utiliza puede explotar, se recomienda utilizar una manguera a presión.
- Al terminar de realizar el análisis de la muestra para la determinación del poder calorífico, se recomienda realizar la descarga de los gases de la bomba de oxígeno utilizando la válvula de descarga y esta no debe apuntar a nadie, manipular cuidadosamente la bomba de oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, D. Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2019, p. 11. [Consulta: 07 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3vmpmOl>.

ALMACHE, C. Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica. Riobamba-Ecuador. 2020, pp. 11-13. [Consulta: 13 noviembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/15561/1/15T00790.pdf>.

AYALA, E. et al. “Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres”. Revista ION [en línea], 2016, (Colombia) 29(2), pp. 87-99. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISSN: 0120-100X. Disponible en: <https://bit.ly/3qIWQUJ>.

CABRERA, J. Cuantificación del poder calórico superior e inferior de los residuos sólidos urbanos: papel, cartón, madera y materia orgánica de la parroquia Limoncocha. Año 2015 – 2016 (Trabajo de fin de carrera) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito-Ecuador. 2016, p. 27. [Consulta: 13 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3LmhdyS>.

CHUGÑAY, A. Comparación de los métodos calorimétrico y de estimación matemática para la determinación de energía bruta en ocho subproductos agrícolas (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2016, pp. 16-17. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3Qa6ES4>.

CHUGULI, B. Elaboración de briquetas a partir de bagazo de caña de azúcar como combustible sólido en la industria panelera del sector la Delicia-Pacto (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias, Carrera de Ingeniería Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales. Quito-Ecuador. 2021, pp. 25-26. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/21713/1/73069_1.pdf.

CÓRDOVA, D. Diseño de un caldero pirotubular vertical aprovechando como fuente de energía los desechos orgánicos urbanos de Riobamba (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2008, p. 58.

DEBERNARDI, H.; et al. “Energía disponible a partir de Biomasa de residuos de caña de azúcar (*Saccharum spp.*)”. Agroproductividad [en línea], 2016, (México) 9(7), pp. 68-73. [Consulta: 15 marzo 2022]. ISSN: 2594-0252. Disponible en: <https://bit.ly/3JuiVfW>.

FERNÁNDEZ, J. *Poder Calorífico* [en línea]. Mendoza-Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, 2013, p. 2. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: https://www.academia.edu/3891711/01_poder_calorifico.

GARCÉS, R.; & MARTINEZ, S. Estudio del poder calorífico del bagazo de caña de azúcar en la industria azucarera de la zona de Risaralda (Trabajo de grado) (Tecnología) [en línea]. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Tecnología Química. Pereira-Colombia. 2007, pp. 10-21. [Consulta: 15 marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.utp.edu.co/items/e9706358-97c0-449e-94bf-81aab1c08f4>.

GUANO, C.; & MORALES, C. Determinación de la factibilidad del aumento del poder calorífico de un biocombustible mediante la adición de nanopartículas de alofán (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera Mecánica. 2020, pp. 42-65. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3bDbrwk>.

GUSMAN, A. Síntesis de nanopartículas de óxido de aluminio mediante la técnica de microondas (Tesis) (Ingeniería) [en línea]. Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. México D.F.-México. 2014, pp. 1-59. [Consulta: 07 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/315xNrq>.

LÓPEZ, I. Evaluación de la biomasa residual agrícola de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*), maíz (*Zea mays*) y tomate de árbol (*Solanum betaceum*) como recurso energético renovable en la provincia de Tungurahua (Trabajo de titulación) (Maestría) [en línea]. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, Centro de Posgrados, Programa de Maestría en Química. Ambato-Ecuador. 2021, p. 5. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3iETFZP>.

MANALS, E.; & PENEDO, M. “Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal”. Tecnología Química [en línea], 2015, (Cuba) 35(2), pp. 179-192. [Consulta: 13 marzo 2022]. ISSN: 0041-8420. Disponible en: <https://bit.ly/3LqlB09>.

MARADIAGA, W.; et al. “Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar”. Bosque [en línea], 2017, (Chile) 38(3), pp. 527-533. [Consulta: 05 marzo 2022]. ISSN: 0304-8799. Disponible en: <https://bit.ly/3DIRZO0>.

MUÑOZ, D.; et al. “Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del Cauca, a partir del poder calorífico inferior”. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [en línea], 2013, (Colombia) 11(2), pp. 156-163. [Consulta: 07 marzo 2022]. ISSN: 1909-9959. Disponible en: <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/294/492>.

NTE INEN 2841 2014-03. *Gestión ambiental. Estandarización de colores para recipientes de depósito y almacenamiento temporal de residuos sólidos. Requisitos.*

PONCE, W.; et al. “Aprovechamiento de cáscara de piñón (*Jatropha curcas* L.) y paja de arroz (*Oriza sativa* L.) para la elaboración de pellets como biocombustible”. La técnica [en línea], 2020, (Ecuador) 24, pp. 87-98. [Consulta: 05 marzo 2022]. ISSN: 2477-8982. Disponible en: <https://bit.ly/3MpLb1O>.

QUINTERO, L.; & CHIMÁ, K. “Determinación del poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de palma de aceite, como alternativa de energías renovables en el departamento del Cesar”. Revista Agunkuyâa [en línea], 2014, (Colombia) 4(1), pp. 30-37. [Consulta: 05 marzo 2022]. ISSN: 2711-4260. Disponible en: <https://bit.ly/36QSfc9>.

ROJAS, A.; & FLÓREZ, C. “Valorización de residuos de frutas para combustión y pirólisis”. Revista Politécnica [en línea], 2019, (Colombia) 15(28), pp. 42-53. [Consulta: 05 marzo 2022]. ISSN: 2477-8990. Disponible en: <https://bit.ly/3v1vx5z>.

VARGUEZ, J.; et al. Efecto de la incorporación de alúmina nanométrica en una matriz de policloropreno (Tesis) (Maestría) [en línea]. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S. C., Departamento de Estudios de Posgrado. Chihuahua-México. 2016, pp. 27-29. [Consulta: 05 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/39ICcy7>.

VELEZ, J.; & VERGARA, A. Estudio del aprovechamiento de la biomasa generada a partir de la producción de piña “*Ananas comosus*” para la obtención de bio-etanol (Trabajo de titulación) (Ingeniería) [en línea]. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Guayaquil-Ecuador. 2020, pp. 15-25. [Consulta: 13 marzo 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/3vQmwjH>.



ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

a)



b)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA	Preparación de muestras		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
a. Bagazo de caña de azúcar secado al ambiente.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	1	1:1	2022/08/08
b. Cáscara de piña en el secador de bandejas.		ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón			

c)



d)



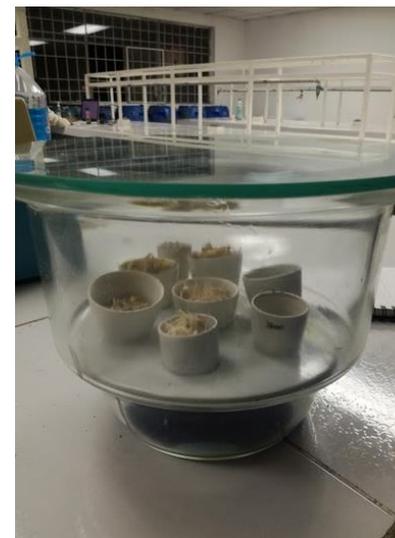
NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón	Preparación de muestras		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			2	1:1	2022/08/08
c. Cáscara de piña seca. d. Bagazo de caña de azúcar seca					

ANEXO B: OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD

e)



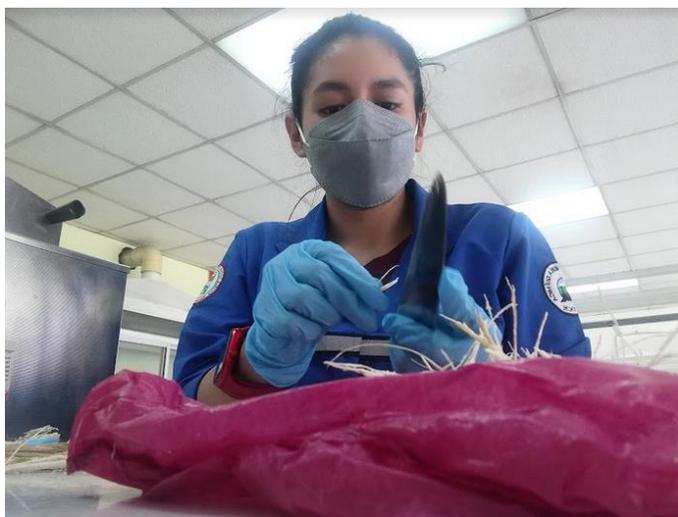
f)



NOTAS:	CATEGORIA DEL DIAGRAMA:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	Porcentaje de humedad de las muestras		
e. Muestras de los residuos agroindustriales en la estufa. f. Muestras en el desecador.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón			
			3	1:1	2022/08/08

ANEXO C: OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE CENIZAS

g)



h)



NOTAS:

- g. Muestra triturada
- h. Crisol con las muestras en el reverbero.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

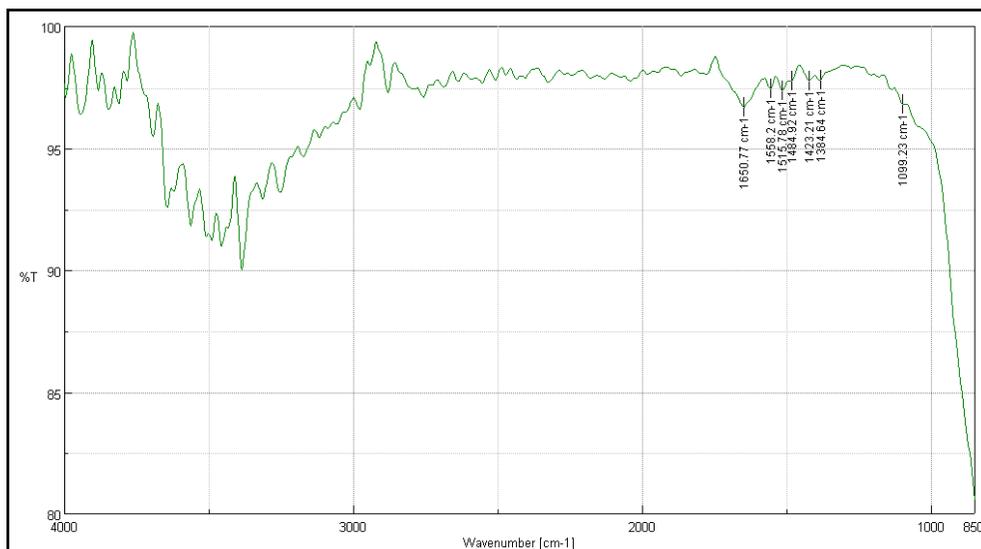
ELABORADO POR:
Jhoseline Gabriela Frías Moyón

Porcentaje de cenizas de las muestras

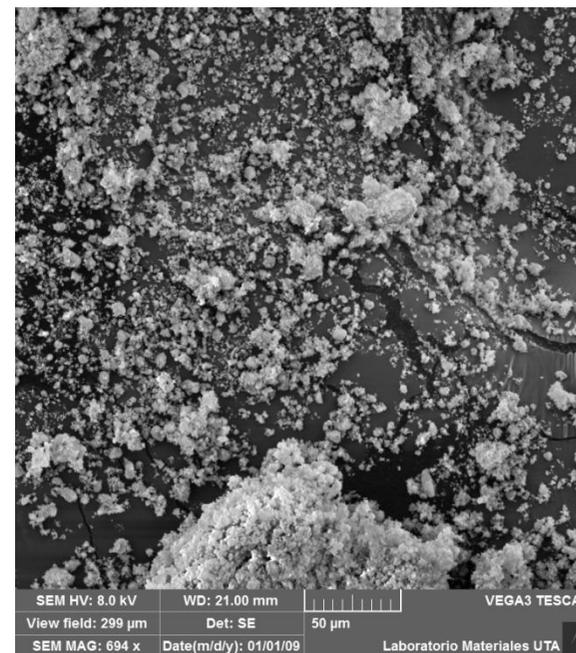
LÁMINA	ESCALA	FECHA
4	1:1	2022/08/08

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS DE ALUMINIO

i)



j)



NOTAS:

- i. Espectrofotometría de las nanopartículas de aluminio.
 j. Microscopía electrónica de barrido (SEM).

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

- Aprobado
 Certificado
 Información
- Preliminar
 Por aprobar
 Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

ELABORADO POR:
 Jhoseline Gabriela Frías Moyón

Porcentaje de cenizas de las muestras

LÁMINA	ESCALA	FECHA
5	1:1	2022/08/08

ANEXO E: DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO

k)



l)



NOTAS: k. Cáscara de piña en el molino. l. Tamizado del bagazo de caña de azúcar	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón	Determinación del poder calorífico		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			6	1:1	2022/08/08

m)



n)



NOTAS: m. Bomba calorimétrica. n. Mezcla de las muestras: 25-75%, 75-25% y 50-50%	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón	Determinación del poder calorífico		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			7	1:1	2022/08/08

o)



p)



NOTAS:

- o. Muestras de biomasa enriquecidas con nanopartículas de aluminio.
- p. Muestra M5 después de la determinación del poder calorífico.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

ELABORADO POR:
Jhoseline Gabriela Frías Moyón

Determinación del poder calorífico

LÁMINA	ESCALA	FECHA
8	1:1	2022/08/08

ANEXO F: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

q)



r)



NOTAS:

- q. Briquetadora.
- r. Mezclade biomosas.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA:

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

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

ELABORADO POR:
Jhoseline Gabriela Frías Moyón

Elaboración de briquetas

LÁMINA	ESCALA	FECHA
9	1:1	2022/08/08

s)



t)



NOTAS: s. Almidón de yuca t. Aglutinante.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Certificado <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón	Elaboración de briquetas		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			10	1:1	2022/08/08

u)



v)



<p>NOTAS:</p> <p>u. Mezcla de biomasa con aglutinante. v. Prensado de la mezcla.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA:</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA</p> <p>ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón</p>	<p>Elaboración de briquetas</p>		
			<p>LÁMINA</p> <p>11</p>	<p>ESCALA</p> <p>1:1</p>	<p>FECHA</p> <p>2022/08/08</p>

w)



x)



NOTAS: w. Secado de briquetas húmedas. x. Briquetas secas.	CATEGORIA DEL DIAGRAMA: <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA ELABORADO POR: Jhoseline Gabriela Frías Moyón	Elaboración de briquetas		
			LÁMINA	ESCALA	FECHA
			12	1:1	2022/08/08



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: 27 / 01 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jhoseline Gabriela Frías Moyón
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

2471-DBRA-UTP-2022