



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CASCARILLA
DE ARROZ Y CÁSCARA DE COCO CON NANOCRISTALES DE
CELULOSA COMO UNA NUEVA ALTERNATIVA DE ENERGÍA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: VALERIA SULAY JAMA GUAÑUNA

DIRECTORA: Ing. MABEL MARIELA PARADA RIVERA MSc.

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Valeria Sulay Jama Guañuna

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, VALERIA SULAY JAMA GUAÑUNA 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



Valeria Sulay Jama Guañuna

080538303-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE COCO CON NANOCRISTALES DE CELULOSA COMO UNA NUEVA ALTERNATIVA DE ENERGÍA**, realizado por la señorita: **VALERIA SULAY JAMA GUAÑUNA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

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

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado de manera primordial a mi familia que han sido el pilar fundamental durante mi trayectoria universitaria durante todos estos años. A mi madre que con su ejemplo me ha enseñado que todo esfuerzo a pesar de ser difícil tiene siempre su recompensa y que con sus consejos a cada momento supo llevarme por el camino del bien. A mis tíos por parte de madre que han estado siempre apoyándome tanto en lo económico como en lo moral en cada decisión que he tomado, que, con sus consejos, valores me han convertido en la mujer que soy en la actualidad. A mi hermana que siempre ha sido mi ejemplo a seguir quien, con sus buenas acciones durante su vida, me ha llevado siempre por buenos caminos y a realizar las cosas con amor, voluntad y vocación.

Valeria

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por la sabiduría y fortaleza brindada durante todos los años transcurrido de mi carrera universitaria y permitirme cumplir este sueño, gracias a su bendición se ha podido concretar con éxito. A mi madre de manera especial quién ha sido esa mujer con garra y echada para delante, que ha sido mi mayor orgullo, que a pesar de los obstáculos que se nos han presentado en el camino ha trabajado demasiado duro para poderme solventar los gastos en Riobamba. Agradezco a mi familia en general, quienes son mi inspiración y que es la que estado en los momentos más difíciles de mi carrera universitaria y a pesar de todo siempre han confiado en mí y me han apoyado en cada momento, dándome los mejores consejos para ser una buena persona y excelente profesional. A mi directora de tesis la Ing. Mabel Mariela Parada Rivera y a mi asesor Robert Alcides Cazar Ramírez en conjunto al Grupo de Investigación de Materiales Avanzados “GIMA” por su tiempo empleado en cada una de las tutorías para el presente trabajo de investigación, por sus consejos y apoyo incondicional en cada momento. Finalmente, un fraterno agradecimiento a mi universidad la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo y de forma primordial a la Facultad de Ciencias y la Escuela de Ingeniería Química por la excelente educación universitaria que me ha brindado durante estos años, formándome como una buena profesional.

Valeria

ÍNDICE DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

1. 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
1.4. Problemas específicos de investigación.....	4
1.5. Objetivos de la investigación.....	4
1.5.1. <i>General</i>	4
1.5.2. <i>Específicos</i>	4
1.6. Justificación.....	5
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	5
1.6.2. <i>Justificación metodológica</i>	6
1.6.3. <i>Justificación práctica</i>	6
1.7. Hipótesis	7

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de investigación	8
2.2. Referencias teóricas.....	9
2.2.1. <i>Residuos agroindustriales</i>	9
2.2.2. <i>Biomasa</i>	10

2.2.2.1.	<i>Generación de energía a partir de biomasa seca</i>	11
2.2.2.2.	<i>Procesos de aprovechamiento energético</i>	11
2.2.3.	<i>Nanocelulosa</i>	12
2.2.4.	<i>Análisis químico o proximal</i>	13
2.2.4.1.	<i>Humedad</i>	13
2.2.4.2.	<i>Cenizas</i>	13
2.2.5.	<i>Nanocristales de celulosa</i>	13
2.2.6.	<i>Métodos químicos</i>	14
2.2.7.	<i>Bomba calorimétrica</i>	14
2.2.8.	<i>Briquetas</i>	15

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1.	Enfoque de investigación	17
3.2.	Nivel de investigación	17
3.3.	Diseño de investigación	18
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>	20
3.4.	Tipo de estudio	20
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	20
3.5.1.	<i>Población y planificación</i>	20
3.5.2.	<i>Selección y cálculo</i>	20
3.5.2.1.	<i>Selección de la muestra</i>	20
3.5.2.2.	<i>Cálculo de tamaño de la muestra</i>	21
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	21
3.6.1.	<i>Determinación de análisis proximales de la materia prima de residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz</i>	21
3.6.1.1.	<i>Contenido de humedad de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz: Método de desecación en estufa de aire caliente</i>	21
3.6.1.2.	<i>Determinación de cenizas de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz: Métodos e incineración en mufla</i>	22
3.6.1.3.	<i>Obtención de la biomasa a partir de los residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz</i>	23
3.6.1.4.	<i>Análisis elemental de carbono y nitrógeno a la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz</i>	24

3.6.2.	<i>Síntesis de nanocristales de celulosa</i>	24
3.6.3.	<i>Caracterización de la celulosa y nanocristales de celulosa</i>	25
3.6.4.	<i>Determinación del poder calorífico de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz</i>	26

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	28
4.1.	Cálculos	28
4.1.1.	<i>Determinación de humedad de los residuos agroindustriales</i>	28
4.1.1.1.	<i>Cáscara de coco</i>	28
4.1.1.2.	<i>Cascarilla de arroz</i>	29
4.1.2.	<i>Determinación de cenizas de los residuos agroindustriales</i>	30
4.1.2.1.	<i>Cáscara de coco</i>	30
4.1.2.2.	<i>Cascarilla de arroz</i>	31
4.1.3.	<i>Análisis de carbono y nitrógeno de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz</i>	31
4.1.4.	<i>Calibración de la bomba calorimétrica</i>	32
4.1.5.	<i>Determinación del poder calorífico de las biomásas de los residuos agroindustriales</i>	34
4.1.5.1.	<i>Poder calorífico inicial de la cascarilla de arroz</i>	34
4.1.5.2.	<i>Poder calorífico de la cáscara de coco</i>	35
4.1.6.	<i>Determinación del poder calorífico de la mezcla de biomásas</i>	36
4.1.6.1.	<i>Combinación de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz</i>	36
4.1.6.2.	<i>Combinación de 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz</i>	38
4.1.6.3.	<i>Combinación de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz</i>	39
4.1.7.	<i>Determinación del poder calorífico de biomasa combinados con nanocristales de celulosa</i>	40
4.1.7.1.	<i>Combinación (50%-50%): Mezcla de 95% de biomasa y 5% de nanocristales de celulosa</i>	40
4.1.7.2.	<i>Combinación (50%-50%): Mezcla de 85% de biomasa y 15% de nanocristales de celulosa</i>	42
4.1.7.3.	<i>Combinación (25%-75%): Mezcla de 90% de biomasa y 10% de nanocristales de celulosa</i>	43
4.1.7.4.	<i>Combinación (25% - 75%): Mezcla de 94% de biomasa y 6 % de nanocristales de celulosa</i>	44

4.1.7.5.	<i>Combinación (25%-75%): Mezcla de 85% de biomasa y 15% de nanocristales de celulosa</i>	45
4.2.	Resultados e interpretación de resultados	47
4.2.1.	<i>Análisis proximal de los residuos agroindustriales</i>	47
4.2.2.	<i>Análisis de elemental de carbono y nitrógeno de la biomasa</i>	48
4.2.2.1.	<i>Poder calorífico en relación al % de carbono</i>	49
4.2.3.	Caracterización de los nanocristales de celulosa	50
4.2.3.1.	<i>Espectroscopia Infrarrojo de nanocristales de celulosa</i>	50
4.2.3.2.	<i>Caracterización de la celulosa en el microscopio electrónico de barrido (SEM)</i>	51
4.2.3.3.	<i>Caracterización de los nanocristales de celulosa en el SEM</i>	52
4.2.4.	Poder calorífico	54
4.2.4.1.	<i>Poder calorífico inicial de la biomasa de los residuos agroindustriales</i>	54
4.2.4.2.	<i>Combinación de biomasa de residuos agroindustriales</i>	54
4.2.4.3.	<i>Combinación de nanocristales de celulosa con la biomasa</i>	58
4.2.5.	Elaboración de briquetas de biomasa del 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz	62
4.2.5.1.	<i>Parámetros para la elaboración del engrudo óptimo</i>	62
4.2.5.2.	<i>Formulaciones para la obtención de briquetas óptimas</i>	64
4.3.	Discusión de resultados	65
4.4.	Comprobación de la hipótesis	68
4.4.1.	Prueba de hipótesis general	68
4.4.1.1.	<i>Combinación residuos agroindustriales con nanocristales (50% CC y 50% CA)</i>	68
4.4.1.2.	<i>Combinación de biomasa con nanocristales de celulosa (25% CC Y 75% CA)</i>	69
	CONCLUSIONES	71
	RECOMENDACIONES	73
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Antecedentes de la investigación.....	9
Tabla 2-2:	Comparación de características calorimétricas entre distintos tipos de biomasa	10
Tabla 1-3:	Combinación de biomasas de residuos agroindustriales	18
Tabla 2-3:	Muestras de briquetas modificadas con nanocristales de celulosa	18
Tabla 3-3:	Determinación del contenido de humedad de la cáscara de coco y cascarilla de arroz.....	21
Tabla 4-3:	Determinación de contenido de las cenizas de los residuos agroindustriales.....	22
Tabla 5-3:	Obtención de la biomasa a partir de los residuos agroindustriales.....	23
Tabla 6-3:	Análisis elemental de carbono y nitrógeno a la biomasa de los residuos agroindustriales	24
Tabla 7-3:	Obtención de los nanocristales de celulosa	25
Tabla 8-3:	Caracterización de la celulosa y nanocristales de celulosa.....	25
Tabla 9-3:	Determinación del poder calorífico de la biomasa de residuos agroindustriales.	26
Tabla 10-3:	Elaboración de briquetas de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz	27
Tabla 1-4:	Análisis elemental de las biomasas	31
Tabla 2-4:	Variación de temperatura para la calibración del equipo	32
Tabla 3-4:	Poder calorífico inicial de la cascarilla de arroz.....	34
Tabla 4-4:	Poder calorífico inicial de la cáscara de coco.....	35
Tabla 5-4:	Combinación de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz.....	36
Tabla 6-4:	Variación de temperatura de la combinación de 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz.....	36
Tabla 7-4:	Combinación de 25% de cáscara de coco y 75% de cascarilla de arroz.....	38
Tabla 8-4:	Variación de temperatura de 25% cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz	38
Tabla 9-4:	Combinación de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz.....	39
Tabla 10-4:	Combinación de 75% cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz	39
Tabla 11-4:	Combinación de 95% de biomasa y 5% de nanocristales de nanocelulosa.....	41
Tabla 12-4:	Combinación de 85% de biomasa y 15% de nanocristales.....	42
Tabla 13-4:	Combinación de 90% de biomasa y 10% de nanocristales.....	43
Tabla 14-4:	Combinación de 94% de biomasa y 6% de nanocristales de celulosa.....	44
Tabla 15-4:	Combinación de 85% de biomasa y 15% de nanocristales.....	45
Tabla 16-4:	Porcentaje de humedad y cenizas a los residuos agroindustriales	47
Tabla 17-4:	Análisis elemental de las biomasas	48
Tabla 18-4:	Poder calorífico en relación al % de carbono	49

Tabla 19-4:	Determinación de los poderes caloríficos de las biomosas.....	54
Tabla 20-4:	Combinación de las biomosas con nanocristales de celulosa	58
Tabla 21-4:	Parámetros para obtención de engrudo óptimo	63
Tabla 22-4:	Biomosas para la obtención de briquetas óptimas	64
Tabla 23-4:	Análisis estadístico de la varianza con un factor (ANOVA).....	69
Tabla 24-4:	Resumen del análisis estadístico de la varianza de un factor (ANOVA)	69
Tabla 25-4:	Análisis estadístico de varianza con un factor (ANOVA).....	70
Tabla 26-4:	Resumen de los análisis estadísticos de la varianza de un factor (ANOVA)	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Residuos agroindustriales	10
Ilustración 2-2:	Nanocelulosa de la madera	12
Ilustración 3-2:	Bomba calorimétrica.....	14
Ilustración 4-2:	Briquetas	15
Ilustración 1-3:	Proceso de determinación del poder calorífico	19
Ilustración 1-4:	Relación del % de carbono en función del poder calorífico	49
Ilustración 2-4:	Espectroscopía infrarroja de nanocristales de celulosa.....	50
Ilustración 3-4:	Espectro de infrarrojo para nanocristales de celulosa.....	50
Ilustración 4-4:	Caracterización en SEM de la celulosa.....	52
Ilustración 5-4:	a) SEM de nanocristales de celulosa. b) Imagen del tamaño de nanocristales	53
Ilustración 6-4:	Poder calorífico de cáscara de coco y cascarilla de arroz	54
Ilustración 7-4:	Variación de temperatura de la combinación de biomasa de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz	55
Ilustración 8-4:	Variación de temperatura de 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz	56
Ilustración 9-4:	Variación de temperatura de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla arroz	56
Ilustración 10-4:	Poder calorífico de la combinación de las biomosas.....	57
Ilustración 11-4:	Comportamiento de biomasa con combinación de nanocristales de celulosa	59
Ilustración 12-4:	Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocristales de celulosa.....	60
Ilustración 13-4:	Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocristales de celulosa.....	61
Ilustración 14-4:	Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocristales de celulosa.....	62
Ilustración 15-4:	Briquetas óptimas 6 Bar y 80 °C.....	65
Ilustración 16-4:	Gráfica de distribución normal	68

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	Porcentaje sustancia seca en masa	22
Ecuación 2-3:	Porcentaje de humedad	22
Ecuación 3-3:	Porcentaje de cenizas	23
Ecuación 4-3:	Determinación de la capacidad calorífica de la bomba.	26
Ecuación 5-3:	Poder calorífico de la muestra.....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CARACTERIZACIÓN DE LAS BIOMASAS DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES
- ANEXO B:** PREPARACIÓN DE LAS BIOMASAS PARA LAS RESPECTIVAS COMBINACIONES
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN DE LA CELULOSA Y LOS NANOCRISTALES DE CELULOSA
- ANEXO D:** DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS BIOMASAS
- ANEXO E:** PROCESO DE ELABORACIÓN DE BRIQUETAS DE CÁSCARA DE COCO Y CASCARILLA DE ARROZ
- ANEXO F:** PROCESO DE ELABORACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE COCO

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo, determinar el poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cascarilla de arroz y cáscara de coco con nanocristales de celulosa como alternativa de energías renovables (briquetas) en procesos de combustión. Para la determinación del poder calorífico se realizó su caracterización mediante análisis de humedad, cenizas y análisis elemental de la biomasa de carbono y nitrógeno, a continuación se realizó diferentes formulaciones de las muestras de biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz las mismas de (50-50) %, (25-75) % y (75-25) % respectivamente y se llevaron a analizar a la bomba calorimétrica para determinar cuál de estos ensayos contenían mayor poder calorífico, posteriormente para aseverar un aumento de este parámetro se mezcló la combinación con mayor poder calorífico que fue la de (50% cáscara de coco y 50% cascarilla de coco) con nanocristales de celulosa en corridas del 5% y 15% de los nanomateriales, finalmente con la combinación de mayor poder calorífico sin mezclar con nanocristales se procedió a la elaboración de briquetas. Los resultados obtenidos permitieron determinar en cuanto a las formulaciones que la combinación (50%- 50%) de los residuos obtuvo el poder calorífico mayor la misma de 34914,38998 J/g, respecto a su mezcla con nanocristales fue desfavorable su estudio ya que disminuyó este parámetro, por tal razón para la elaboración de las briquetas se tomó la formulación antes mencionada, en donde se las obtuvieron en base a una presión de 6 Bar y 80 °C con una textura sólida y uniforme. Se concluyó que su combinación con nanocristales de celulosa no es factible para su aumento en el poder calorífico y su uso de manera industrial. Se recomendó que se experimente con otros residuos que promuevan una mejor calidad, además de esta forma un debido aprovechamiento de los mismos.

Palabras clave: <PODER CALORÍFICO>, <BIOMASA>, <ALMIDÓN>, <ANÁLISIS PROXIMAL>, <NANOCRISTALES> <BRIQUETAS>, <BIODEGRADABILIDAD>.



0177-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The objective of this research consisted of determining the calorific value of agro-industrial solid residues of rice husks and coconut shells with cellulose nanocrystals as an alternative for renewable energy (briquettes) in combustion processes. For the determination of the calorific value, its characterization was carried out by means of moisture, ash and elemental analysis of the biomass carbon and nitrogen, then different formulations of the coconut shell and rice husk biomass samples were made with (50-50) %, (25-75) % and (75-25) % respectively, and they were analyzed in the calorimetric pump to determine which of these tests contained the highest calorific value. Subsequently, the combination with the highest calorific value (50% coconut shell and 50% coconut husk) was mixed with cellulose nanocrystals in percentages of 5% and 15% of the nanomaterials, and finally, the combination with the highest calorific value without mixing it with nanocrystals was used to make briquettes. The results obtained allowed determining that the combination (50%-50%) of the residues obtained the highest calorific value of 34914.38998 J/g, with respect to its mixture with nanocrystals, its study was unfavorable since it decreased this parameter. For this reason, for the elaboration of the briquettes, the formulation was used, where they were obtained based on a pressure of 6 Bar and 80 C with a solid and uniform texture. It was concluded that its combination with cellulose nanocrystals is not feasible to increase its calorific value and its industrial use. It was recommended to experiment with other wastes that result in a better quality, in addition to a proper utilization of them.

Key words: <CALORIFIC POWER>, <BIOMASS>, <STARCH>, <PROXIMAL ANALYSIS>, <NANOCRYSTALS>, <BRIQUETTES>, <BIODEGRADABILITY>.



Abg. Ana Gabriela Reinoso.

Mgs Ced. 1103696132

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial los combustibles fósiles se emplean para satisfacer la mayoría de las necesidades de energía de la población mundial. Como menciona Oswald (2017, p.36). La utilización de los combustibles fósiles va desde la producción de electricidad hasta la generación de diferentes tipos de combustibles que son utilizados para el transporte. Sin embargo, cabe recalcar que las generaciones masivas de estos productos provocan una desmesurada contaminación ambiental. Cabe recalcar que una de las problemáticas más grandes es la contaminación del aire y agua, de igual forma el tiempo de biodegradabilidad de ciertos productos que son obtenidos de los procesos industriales.

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables da a conocer información eficaz de que actualmente las mayores producciones de energías provienen en un 92% de centrales hidráulicas, un 7% de las centrales térmicas y el 1% es obtenido de la generación de biomasa de residuos agroindustriales. Por otro lado, para ayudar a disminuir en alguna medida esta problemática que causan actualmente el uso de los combustibles fósiles, se han propuesto nuevas alternativas sostenibles que permitan reemplazarlos mediante la reutilización y uso de la biomasa de los residuos agroindustriales que generalmente son desechados sin un destino final adecuado causando graves problemas ambientales. En el Ecuador existen una gran variedad de residuos proveniente de diferentes procesos, de los cuales cabe destacar los agroindustriales que son generados por las diferentes actividades y que no se les da una disposición adecuada, mismos que con debido tratamiento y aprovechamiento se puede caracterizar la biomasa para posteriormente ser utilizado para la elaboración de biocombustibles viables como las briquetas.

El optar por el uso de la biomasa de los residuos agroindustriales y no por otro mecanismo se debe a que es un recurso 100% renovable que es apropiado para reemplazar al petróleo, esto debido a que tal biomasa es amigable con el ambiente, reduciendo de esta forma la huella de carbono, que es producida por el uso desmesurado de los combustibles tradicionales. Las materias primas utilizadas que es la cáscara de coco proveniente de las zonas costeras, pero por lo general es desechada a los vertederos, por el contrario, la cascarilla de arroz es usada como alimentación para los cerdos de tal manera que es una materia prima que la podemos tener a nuestro alcance ayudando en el incremento del cultivo del mismo. Por lo expuesto anteriormente el Trabajo de Integración Curricular pretende determinar el poder calorífico de cascarilla de arroz y cáscara de coco con nanocristales de celulosa para su aplicación como nuevas alternativas de energías capaces de sustituir el uso de combustibles derivados del petróleo y de esta forma reducir la contaminación que generan los mismos.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la producción de los combustibles fósiles ha aumentado de manera considerable, ya que son los principales encargados de satisfacer las necesidades de la humanidad, lo cual ha producido un aumento considerable de la contaminación ambiental, es por lo mencionado anteriormente que se pretende encontrar nuevas fuentes de energías limpias, sostenibles y renovables (Ferrari et al., 2013, p.3). Los residuos agroindustriales que por lo general provienen de los diferentes procesos industriales, cuando son desechados a los vertederos se convierten en una gran problemática mundial, debido a que en la mayoría de las ocasiones no se les realiza un tratamiento o aprovechamiento adecuado para su disposición final generando de esta forma la emanación de gases tóxicos en el medio ambiente. Por tal razón se pretende ejecutar un potencial aprovechamiento de cada una de las materias primas (cáscara de coco y cascarilla de arroz) mediante la caracterización fisicoquímica y posteriormente el estudio del poder calorífico, que permitan determinar si los biocombustibles sólidos obtenidos se encuentran aptos para uso como fuentes de energías sostenibles (Vargas et al., 2013, pp.5-7).

En el Ecuador de acuerdo con el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables mencionan que en la actualidad en el país la producción de energías es proveniente principalmente el 92% de las centrales hidráulicas, el 7% de centrales térmicas y el 1% es producida a partir de las biomásas. Como se mencionó anteriormente el aprovechamiento de la biomasa no es muy aplicada en el país obteniendo un porcentaje demasiado bajo, por otro lado, no se cuenta con suficientes investigaciones que nos den a conocer a las soluciones sostenibles de los problemas causado por la demanda energética y el reemplazo del uso de los combustibles fósiles.

Por tal razón se plantea una solución mediante su reutilización y aplicación para ser empleados como nuevas fuentes de energías sostenibles en la elaboración de briquetas, las mismas que están compuestas de materia orgánica e inorgánica. Este proyecto de titulación perteneciente al grupo de investigación GIMA propone caracterizar la biomasa agrícola residual obtenida de la cascarilla de arroz y cáscara de coco a la que se añadirá nanocristales de celulosa, mediante un análisis exhaustivo en laboratorio y deducir si es posible emplearla como fuente de energía en función de su poder calorífico.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

- Para el análisis del poder calorífico no se cuenta en la facultad de ciencias con una bomba calorimétrica para realizar las respectivas corridas.
- La cáscara de coco no se produce aquí en Riobamba por tal razón se debe tener lo suficiente de la materia prima para los respectivos análisis.
- No se cuenta con una máquina briquetadora en la facultad para la elaboración de las briquetas.
- No es de fácil adquisición la celulosa para la obtención de los nanocristales y la síntesis por el método químico inicial aplicado no funcionó.

1.2.2. Delimitaciones

Para el estudio de los residuos agroindustriales se realizó el aprovechamiento de dos muestras, los cuales son: cascarilla de arroz y cáscara de coco, su aprovechamiento está centrado específicamente para la elaboración de briquetas y los beneficios largo plazo que producirán como energías viables para el medio ambiente.

1.3. Problema general de investigación

En el año 2018 el Ecuador la producción de cascarilla de arroz y cáscara de coco fue demasiado significativa generando una producción de aproximadamente 23.000 millones de kilogramo. En el país unos de los mayores ingresos económicos son obtenidos a raíz del sector agrícola, pero de igual forma generan una gran contaminación ambiental debido a los residuos agroindustriales que son producidos de las distintas actividades obtenidos de la misma producción y del manejo erróneo que se les realiza para su disposición final.

Por tal razón se pretende mitigar en cierta cantidad esta problemática con el aprovechamiento de estos residuos, mediante el estudio de la biomasa de cada contenida en cada una de ellas. De esta forma se desea estudiar la potencialidad de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz para la producción de nuevas fuentes de energías ecológicas y con la mezcla de nanocristales de celulosa evidenciar si existe un aumento en su poder calorífico para la elaboración de briquetas (Ramón et al., 2013, pp.2-4).

En el Ecuador en la actualidad a los residuos agroindustriales por lo general no se les da el debido aprovechamiento para la producción de bienes con un valor agregado; razón por la cual, se pretende formular el siguiente problema de estudio:

¿La combinación de nanocristales de celulosa con la biomasa obtenida a nivel de laboratorio de los residuos agroindustriales de cascarilla de arroz y cáscara de coco permitirá el aumento de su poder calorífico?

1.4. Problemas específicos de investigación

- ¿Con la determinación del análisis proximal en la biomasa generada por los residuos agroindustriales será posible evidenciar si son fuentes de energía mediante los parámetros que se van a estudiar y si pueden ser utilizados como nuevas alternativas de energía sostenible?
- ¿Con la extracción de la biomasa y la mezcla con los nanocristales de celulosa se podrá demostrar si se manifiesta un aumento en el poder calorífico?
- ¿Con la evaluación y análisis del poder calorífico de la biomasa de los residuos agroindustriales mediante bibliografía con los datos obtenidos en la experimentación, las materias primas estudiadas, se evidenciará si son aptas para su aplicación en la elaboración de nuevos combustibles sólidos?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. General

Determinar el poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cascarilla de arroz y cáscara de coco con nanocristales de celulosa como alternativa de energías renovables en procesos de combustión.

1.5.2. Específicos

- Caracterizar la biomasa de cascarilla de arroz y cáscara de coco mediante análisis físico-químicos.
- Sintetizar nanocristales de celulosa mediante un método químico, para su combinación con biomasa de residuos agroindustriales.
- Calcular el poder calorífico de las briquetas de cascarilla de arroz y de cáscara de coco a la que se ha incorporado nanocristales de celulosa.

- Elaborar briquetas a partir de la mezcla de la biomasa de residuos agroindustriales con mayor poder calorífico.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La principal fuente de energía en el país es proveniente del consumo de los combustibles fósiles. El uso desmesurado de estas fuentes de energías no renovables, provocan un gran impacto ambiental, lo cual impulsa en ir en la búsqueda de nuevas alternativas de energías sostenibles y viables (Oswald, 2017, p.36).

El empleo que se le desea realizar a las biomásas obtenidas de los residuos agroindustriales tiene como finalidad generar beneficios en el ambiente mediante, mediante su aplicación en la elaboración de briquetas y pellets, los mismos que son considerados como bioenergías sólidas, siendo productos 100% ecológico y renovable.

El presente trabajo de investigación intenta exponer la extracción de la biomasa de los residuos y con la recuperación de la celulosa contenida en cada una de ellas obtener nanocristales de celulosa lo cual nos permitirá evidenciar si existe un aumento en el poder calorífico.

El promover el uso de bioenergías limpias es viable ya que una de sus mayores ventajas es el tratamiento de desechos que son generados después de su utilización, desarrollándose productos en menor tiempo a partir de ellos y ayudando a la preservación y cuidado del ambiente debido a su biodegradabilidad, ya que son compuestos de materia orgánica que al degradarse podrán tener otro uso consecutivamente, el cual es de abono para el suelo.

Existen escasas investigaciones referentes a las combinaciones de biomásas con nanocristales de celulosa mediante el aprovechamiento de residuos agrícolas, por tal razón se pretende realizar una gran cantidad número de estudios experimentales y teóricos que nos permitan validar y establecer si los residuos agroindustriales sirven para la producción de nuevas fuentes de energías sostenibles de fuentes naturales (Sánchez et al., 2015, p.245).

Cabe mencionar que las empresas que apuestan por productos biodegradables fabricados a partir de estos residuos, no solo benefician a la naturaleza, sino que además producirán un impacto ecológico positivo debido a que ayudarán a motivar a aquellas personas que se encuentran

involucradas en estas áreas a que cambien de mentalidad y opten por reemplazar aquellos productos que lo único que han causado durante muchos años ha sido daños irreversibles en la madre tierra y así deseen sumarse a formar parte de proyectos de este tipo.

1.6.2. Justificación metodológica

Este proyecto busca efectuar el aprovechamiento de los residuos agroindustriales. Una vez realizado todo el procedimiento de la caracterización y extracción de la biomasa hay que tener en cuenta un aspecto fundamental, que es la determinación del poder calorífico, en donde se pueden utilizar dos métodos para su deducción el método matemático y el práctico. El procedimiento será basado en el práctico mediante el uso de la bomba calorimétrica (Ayala et al., 2016, pp. 33).

Como punto de partida se realizará la caracterización de las muestras de biomas sólidas que consisten en el porcentaje de humedad y cenizas, posteriormente mediante un análisis elemental de carbono y nitrógeno se viabilizará si se encuentran aptas para una combustión completa.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente se procede a realizar combinaciones de las biomásas de los residuos agroindustriales para la determinación del poder calorífico de las mismas, una vez ya obtenido la muestra con mayor poder calorífico se procede a tomar esas mezclas como referencia y a mezclarlas con nanocristales de celulosa previamente obtenidos mediante un método mecánico para un nuevo análisis del mismo y de esta forma deducir, si el agregar los nanocristales aumenta su poder calorífico que es la temática de estudio.

En el proyecto de investigación se utilizará el equipo antes mencionado debido a que nos permite obtener resultados más viables y de alta exactitud. La obtención del poder del calorífico de la cascarilla de arroz y la cáscara de coco nos permitirá evaluar y evidenciar si estos residuos agroindustriales son aptos para su aplicación como fuentes de energías sostenibles satisfaciendo las necesidades de la población, pero además de eso ayuda a salvaguardar la integridad del planeta que es una de las grandes problemáticas que existen en la actualidad.

1.6.3. Justificación práctica

El realizar este tipo de investigaciones nos permitirán determinar la factibilidad, en base del análisis del poder calorífico de la cascarilla de arroz y cáscara de coco, de la elaboración de fuentes de energía sostenibles como briquetas y pellets. El aprovechamiento de estas materias primas

facilitará la reducción masiva de la contaminación ambiental producida por los residuos y combustibles fósiles (Muñoz et al., 2013, pp.472-475).

La aplicación y lo productos obtenidos aprovechamiento de los residuos agroindustriales, además ayudarán a contribuir al aumento de la economía ya que muchas personas desempleadas se podrían dedicar a la elaboración de biocombustibles, donde su proceso es sencillo y los gastos para su proceso de elaboración son reducidos. Por otro lado, se podrá evidenciar mediante la adición de nanocristales de celulosa que tan viable es su utilización y si existe aumento o no del poder calorífico, lo cual será de beneficio para el aumento en la elaboración de nuevas fuentes de energías.

Además, la implementación de este tipo de alternativas sostenibles para el medio ambiente nos permitirá erradicar en cierta medida el uso de los combustibles fósiles tradicionales y conjuntamente la contaminación masiva que provocan.

1.7. Hipótesis

Con el aprovechamiento de la biomasa residual, materia orgánica o residuos agroindustriales de cascarilla de arroz y cáscara de coco combinado con nanocristales de celulosa se podrá aumentar el poder calorífico de este material y emplearlo como nuevas fuentes de energía para la elaboración de briquetas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Según datos proporcionados por la Agencia Internacional de Energía da a conocer que la principal fuente de energía en los años de 1973 es producida por los combustibles fósiles. Cabe recalcar que los productos más utilizados son el petróleo con un aproximado del 46,2% y el gas natural con un 40,5% respectivamente, representando una gran cantidad del total en las fuentes de energías primarias utilizadas. En el 2016, cuatro décadas después aproximadamente, el consumo de estos combustibles no ha variado más bien, ha existido un aumento de los mismos, siendo los más consumidos en la actualidad (Ferrari et al., 2013, p.5). Debido a la gran cantidad de contaminación provocada por los combustibles fósiles tradicionales se han dado a conocer un sinnúmero de propuestas que permitan la obtención de nuevas fuentes de energías renovables en base a la biomasa de los residuos agroindustriales que por lo general son desechados (Maradiaga et al., 2017, pp.72-75).

Con respecto a la biomasa, ésta ha surgido desde siglos pasados ya que en ese entonces era muy utilizada para la elaboración de metales, cerámica, etc., pero con el auge de la revolución industrial, la población se vio en la necesidad de satisfacer el consumo de energía, por tal razón se da el apogeo del carbón, el mismo que contiene un poder calorífico alto. La utilización de la biomasa con el transcurso del tiempo ha disminuido considerablemente, pero por otro lado en la actualidad está tomando fuerza, esto a causa de los beneficios que brinda a el medio ambiente por los niveles bajos de CO₂ que emana en los procesos de combustión (Hernández et al., 2017, p.10).

En el país actualmente la biomasa constituye aquella materia prima aprovechable para la elaboración de biocombustibles sostenibles. Sin embargo, no se los ha utilizado en gran proporción en el mercado debido a que no existe información suficiente que permita una caracterización adecuada para su transformación. Respecto a las investigaciones existentes referente a la obtención de nanocristales de celulosa, han tomado auge en los últimos años, esto a causa de las excelentes propiedades que contiene la nanocelulosa, las cuales abarcan: la degradabilidad, alta resistencia, etc (Castro et al., 2016, p.40).

Hoy en día se puede evidenciar una gran demanda de productos con un rendimiento alto con buenas propiedades físicas y mecánicas, en donde dichas características han provocado que las obtenciones de estos nanocristales sean atractivos ya que al ser colocados en la biomasa de los

residuos le dan un valor agregado lo cual, cual permitirá evidencias si existe un aumento del poder calorífico y si puede ser utilizado como fuentes de energía biodegradables.

Tabla 1-2: Antecedentes de la investigación

AÑO	TEMA	FUENTE
2013	Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas	https://www.redalyc.org/pdf/570/57030971005.pdf
2017	Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar Antonio Sánchez.	http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000400009
2011	Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: obtención y caracterización.	https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62020825012
2017	Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñón manso (<i>Jatropha curcas</i>) y bagazo de caña de azúcar.	https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002017000300010
2016	Nanocristales para degradación de un colorante contaminante	http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042016000100005

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Residuos agroindustriales

Los residuos agroindustriales es aquella materia orgánica proveniente de su transformación a productos elaborados en los procesos industriales. Se los considera como materia orgánica de tipo lignocelulósicos esto a causa de que en su composición están contenidos por hemicelulosa, celulosa entre un 75% y 80% respectivamente. Las características tanto como químicas y biológicas de estos residuos van a depender de los procesos de transformación que son utilizados con cada una de las materias primas.

El aprovechamiento que se les da comúnmente es que son reutilizadas para la elaboración de comida de animales, elaboración de abono orgánico y la producción de fuentes de energía viables, aunque cabe recalcar que la gran mayoría son desechados en algunos casos incinerados al aire libre, provocando severos problemas ambientales tanto en la flora como fano y en los seres bióticos y abióticos (Yepes et al., 2017, p.4425).



Ilustración 1-2: Residuos agroindustriales

Fuente: Salgado, 2019.

2.2.2. Biomasa

La biomasa es definida como aquella materia orgánica con propiedades de biodegradabilidad que es proveniente por lo general de industrias agrícolas que son obtenidas a partir de residuos y desechos. Esta materia prima limpia, permite poder reemplazar el uso desatinado de combustibles fósiles. La característica principal es ser un recurso renovable ya que es utilizado como combustibles para la generación de energía calorífica y eléctrica. La diferencia que posee los combustibles fósiles respecto a la biomasa es que esta se la considera como combustibles neutros de carbono, esto se considera debido a que no hay la existencia de emanación en la atmósfera de CO₂ al llevar a cabo el proceso de combustión.

El reemplazo de esta materia orgánica permitirá erradicar en una gran dimensión la contaminación ambiental en gran cantidad debido a que se les dará un destino final adecuado a los residuos agroindustriales que normalmente son desechados a los vertederos (Quintero y González, 2017, p.184). A continuación, en la tabla 2-2 se presentan diferentes tipos de biomasa producidas por los residuos agroindustriales para la generación de energía.

Tabla 2-2: Comparación de características calorimétricas entre distintos tipos de biomasa

Tipo de biomasa	Principales Fuentes	Poder calorífico (Kcal/kg)	Tasa de generación
Biomasa forestal	Madera sin tratar	5000	0.440 ton/m ³
	Residuos de aserradero	3587.8	0.595 ton/m ³
Biomasa agrícola	Bagazo de caña	4388.6	105.22 ton/km ²
	Tallo de soya	4069	26.9 ton/km ²
	Cascarilla de arroz	3616	11.8 ton/km ²

Residuos municipales	Residuos orgánicos	3844
	Residuos inorgánicos	6510
Desechos de ganado	Estiércol porcino	7372	649 m ³ /ton (seca)
	Estiércol bovino	4302.1	281 m ³ /ton (seca)
	Estiércol de gallina	3486.4	359 m ³ /ton (seca)

Fuente: Yepes et al., 2017, p.4425.

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

2.2.2.1. *Generación de energía a partir de biomasa seca*

La biomasa es una materia orgánica que puede ser transformada a estado gaseoso, líquido y sólidos, mediante el uso de novedosas tecnologías modernas, para su transformación en fuentes de energías sostenibles y combustibles fósiles.

La identificación de la cantidad de cenizas es un recurso fundamental para evaluar la capacidad que posea la biomasa seca, así mismo es de suma importancia la determinación del contenido de humedad, debido a que nos permite identificar el tiempo en la que el combustible se puede mantener sin presentar cambios perjudiciales.

Debido a su elevada cantidad de humedad posee una baja densidad energética en comparación a los combustibles fósiles, por tal razón es un requisito que la biomasa se encuentre seca para que pueda ser utilizada para la producción de energía. Cabe recalcar que la temperatura es una magnitud de estudio importante ya al tener una temperatura elevada nos permitirá obtener una combustión más completa, lo cual ayudaría a la reducción de la producción de CO₂ (Bustamante, 2016, p.75).

2.2.2.2. *Procesos de aprovechamiento energético*

La biomasa proveniente de los residuos agroindustriales se encuentra compuesta de carbono, hidrogeno y oxígeno por tal razón, se considera la reacción de forma exotérmica, de esta forma aprovechándose la energía que se encuentra contenida en su estructura. Cabe recalcar que dentro de los nuevos avances tecnológicos que son usados para el aprovechamiento de la energía, se puede mencionar a continuación los más importantes:

Pirólisis: Este método está basado principalmente en la aplicación de calor en una notoria ausencia de oxígeno con el objetivo de que se dé la descomposición en fracciones más pequeñas e sus estructuras tanto físicas como químias y así desprender energía en el ambiente, produciendo una reacción exotérmica.

Gasificación: Este proceso consiste principalmente en la transformación del estado sólido a gaseoso mediante distintas reacciones en la termodinámica con una presencia oxígeno la cual está limitada. Los gases que son obtenidos a través de este procedimiento son usados para la generación de energía eléctrica mediante su uso en motores, turbinas, etc.

Combustión: La biomasa en este proceso es sometida a temperaturas demasiadas elevadas, produciendo de esta forma descomposición termoquímica. La diferencia que guarda con la pirólisis es que su procedimiento es realizado en presencia de oxígeno. Por lo general en este proceso se genera un proceso de combustión completo de los componentes de la biomasa, dando como resultaos cenizas, agua y dióxido de carbono (Taranco, 2020, pp.20-25).

2.2.3. Nanocelulosa

La nanocelulosa es definida como celulosa que posee alta energía e n donde las trasformaciones que se dan ella ya sean físicas, químicas y enzimáticas, dan como resultado celulosas microcristalinas con diferentes propiedades que pueden ser mecánicas.

Existe una variedad de nanocelulosa que poseen distintas propiedades. A diferencias de las nonofibrillas de celulosa y las celulosas bacterianas, los nanocristales de celulosas actualmente son de gran interés debido a las atractivas propiedades mecánicas y ópticas que poseen.



Ilustración 2-2: Nanocelulosa de la madera

Fuente: Lozano, 2021.

2.2.4. Análisis químico o proximal

2.2.4.1. Humedad

Es la cantidad de agua que se encuentra de manera principal en los alimentos de dos formas: como disponible o libre y como enlazada. El control de la humedad es de suma importancia ya que nos permite contribuir para determinar una adecuada composición de la misma forma permite una conservación larga de los alimentos. El determinar este parámetro es de gran validez ya que es vital para realizar y viabilizar razones técnicas, económicas y científicas. Para la determinación de la humedad existen varias metodologías de las cuales se pueden mencionar: la destilación, secado y los procedimientos químicos y de instrumentación (Kirk et al., 1996, p.11).

2.2.4.2. Cenizas

La ceniza en un alimento hace referencia a la cantidad de materia inorgánica que es obtenida después de la incineración de la materia orgánica, cabe recalcar que existen condicionamientos para realizar este análisis dependiendo el material de estudio. El determinar el valor de las cenizas es una medida general de la calidad, que nos permite identificar de manera viable la autenticidad de la materia prima, es decir, que, si el valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos, no indica una alta presencia de compuestos inorgánicos. La metodología más por conocida para la determinación de las cenizas está basada en la calcinación de la muestra a una temperatura aproximada de 500-550°C en el secador o mufla (Kirk et al., 1996, p.11).

2.2.5. Nanocristales de celulosa

Los nanocristales obtenidos de la celulosa son considerados como partículas con unas similitudes a barras o con forma de whiskers, son consideradas así mismo como una alternativa de nanomateriales debido a su sinnúmero de propiedades. Estos nanocristales poseen diámetros de aproximadamente entre 3-20 y longitudes de 100-00 nm estas características van a dependen de las fuentes provenientes de la celulosa. Los nanocristales son obtenidos por tratamientos químicos o mecánicos, pero por lo general por medios ácidos como el ácido sulfúrico y el ácido clorhídrico (Bolio, 2021, p.295). Existen diferentes metodologías para la extracción de los nanocristales de las cuales se pueden mencionar a continuación:

2.2.6. Métodos químicos

Tratamiento de blanqueo: Esta metodología es usado de manera principal para la eliminación de una gran cantidad de lignina combinada con agua destilada, una vez realizada las respectivas agitaciones de clorito de sodio y ácido acético.

Tratamiento Alcalino: El procedimiento se basa en la eliminación de polímero en la hemicelulosa. La sustancia utilizada en el hidróxido de sodio con una agitación de un lapso de 24 horas. Los nanocristales obtenidos son limpiados por proceso de destilación con agua hasta que se logre finalmente conseguir un pH neutralizado.

Hidrólisis Ácida: Esta metodología permite la combinación de la celulosa en una disolución de ácido a 45 a 60°C de temperatura en una lapso de aproximadamente de 15 minutos a 24 horas, posteriormente la muestra en un agua es diluida totalmente y se le lleva al equipo de centrifugación para realizar una purificación, a continuación se lleva a cabo una sonificación, finalmente se somete a un proceso de diálisis con la finalidad de poder eliminar aquellas impurezas que poseen pesos moleculares bajos. Los reactivos que son más utilizados son el ácido clorhídrico y el sulfúrico esto debido a que nos permite una prestación fácil en las distintas regiones amorfas que poseen un pequeño nivel de orden e hidrolizadas (Romero, 2017, pp.471-475).

2.2.7. Bomba calorimétrica



Ilustración 3-3: Bomba calorimétrica

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

La bomba calorimétrica es un equipo que nos permite determinar el poder calorífico que pueden ser de índole sólidos o líquidos, teniendo en cuenta sus procesos de combustión completa en atmósfera de oxígeno. Para llevar a cabo este proceso es de suma importancia conocer la cantidad

de masa en la muestra y el aumento de la temperatura que es originada por la combustión dentro de la celda de medición. La bomba es la encargada del gas (oxígeno) mediante una válvula que es la encargada de su llenado, la cual es introducida en la bomba en un recipiente calorimétrico, el mismo que se encuentra completamente llenado con agua y consecutivamente es introducido en una camisa de agua la misma que es de doble pared (Bolio, 2017, p. 75).

2.2.8. *Briquetas*



Ilustración 4-2: Briquetas

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Son denominadas briquetas aquellas bioenergías o biocombustibles provenientes generalmente de residuos lignocelulósicos conocidos comúnmente como materia seca, estos pueden ser de residuos de madera, forestales, aserrín, cascaras de arroz, etc., que se encuentran formadas por biomasa compactadas por lo general.

Las elaboraciones de briquetas son realizadas con la finalidad de revalorizar la materia orgánica, que producen calor mediante los procesos de combustión, como sustitución de los distintos combustibles fósiles que son los utilizados de forma masiva y darles un aprovechamiento adecuado a los residuos agroindustriales que por son desechados a los vertederos, sin un destino final adecuado.

Existen una gran variedad de briquetas de diferentes tipos, ya que pueden ser hechas de diversos materiales que sean compactados, pueden ser elaboradas de biomasa residual, natural, carbón vegetal, etc. Son 100% biodegradables ecológicas y naturales, producen una combustión completa, pero sin gran cantidad de contaminantes debido a que son realizadas de materia orgánica, así mismo son consideradas con un mayor poder calorífico que la leña. Cabe mencionar

que el CO₂ que se desprende es neutro, produciendo una gran reducción del efecto invernadero y por tanto el calentamiento global (Arcos, 2017, p.20).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo debido a que se va a analizar variables dependientes como el poder calorífico e independientes como la cantidad de biomasa y la cantidad de nanopartículas, en donde a partir de los resultados que nos proporcionen cada uno de los análisis realizados se deducirá si este tipo de residuos escogidos son ideales para la elaboración de briquetas y su posterior determinación del poder calorífica para su viabilidad como nuevas fuentes de energías.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación aplicada en esta temática es la siguiente:

Investigación Exploratoria: Ya que se tiene como requisito principal de recalcar la problemática de estudio, en este caso el desecho desmesurado de los residuos y la contaminación generada por los mismos y encontrar mediante una investigación exhaustiva las diferentes metodologías para la determinación de los poderes caloríficos y de esta forma dar apertura a temas de investigaciones futuras mediante la elaboración de combustibles sólidos como las briquetas o los pellets.

Investigación Descriptiva: Es de este tipo debido a que las variables de estudio son trabajadas en condiciones controladas, con la finalidad de poder realizar comparaciones y describir los métodos que son utilizados, de tal forma que se pueda determinar cuál es la metodología adecuada para la extracción de la biomasa, cálculo del poder calorífico, y procedimientos para la caracterización de la biomasa para de esta forma identificar de los residuos agroindustriales utilizados, cual nos beneficia para su posterior elaboración para combustibles fósiles. En este tipo de investigación es utilizado el método de análisis, ya que el objetivo es enfocarse en el objetivo de estudio y deducir sus respectivas propiedades y características. Cabe recalcar la investigación es una secuencia para posteriores indagaciones referente la temática que es la elaboración de combustibles sólidos.

3.3. Diseño de investigación

El diseño de investigación del proyecto a realizar es por conveniencia, en este punto se encuentran las muestras de estudio de acuerdo a la conveniencia del investigador encargado en la que se desee realizar la temática. Debido a que al existir a la gran cantidad de variables dependiente e independientes, se selecciona este método de manera que se facilite la obtención de los resultados ya que es más rápida, sencillo y económica. El diseño que también que llevara a cabo es de tipo experimental, ya que se realizaran diferentes ensayos a nivel laboratorio como se muestran a continuación:

Tabla 1-3: Combinación de biomasa de residuos agroindustriales

Briquetas de Biomasa	Biomasa	
	CC	CA
B1	50% peso	50% peso
B2	75% peso	25% peso
B3	25% peso	75% peso

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Donde:

B1: Briqueta de los residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz en las proporciones de 50: 50.

Tabla 2-3: Muestras de briquetas modificadas con nanocristales de celulosa

Briquetas de Biomasa	Combinaciones	
	Briquetas	Nanocr. Celulosa
BM1	B1	5% peso
BM2	B1	15% peso
BM3	B2	10% peso
BM4	B2	6% peso
BM5	B3	15% peso

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Donde:

BM: Muestras de briquetas de biomasa modificadas con nanocristales de celulosa.

En la ilustración 1-3 se describe el proceso o diseño experimental de la determinación del poder calorífico de las briquetas a partir de la biomasa de los residuos agroindustriales.

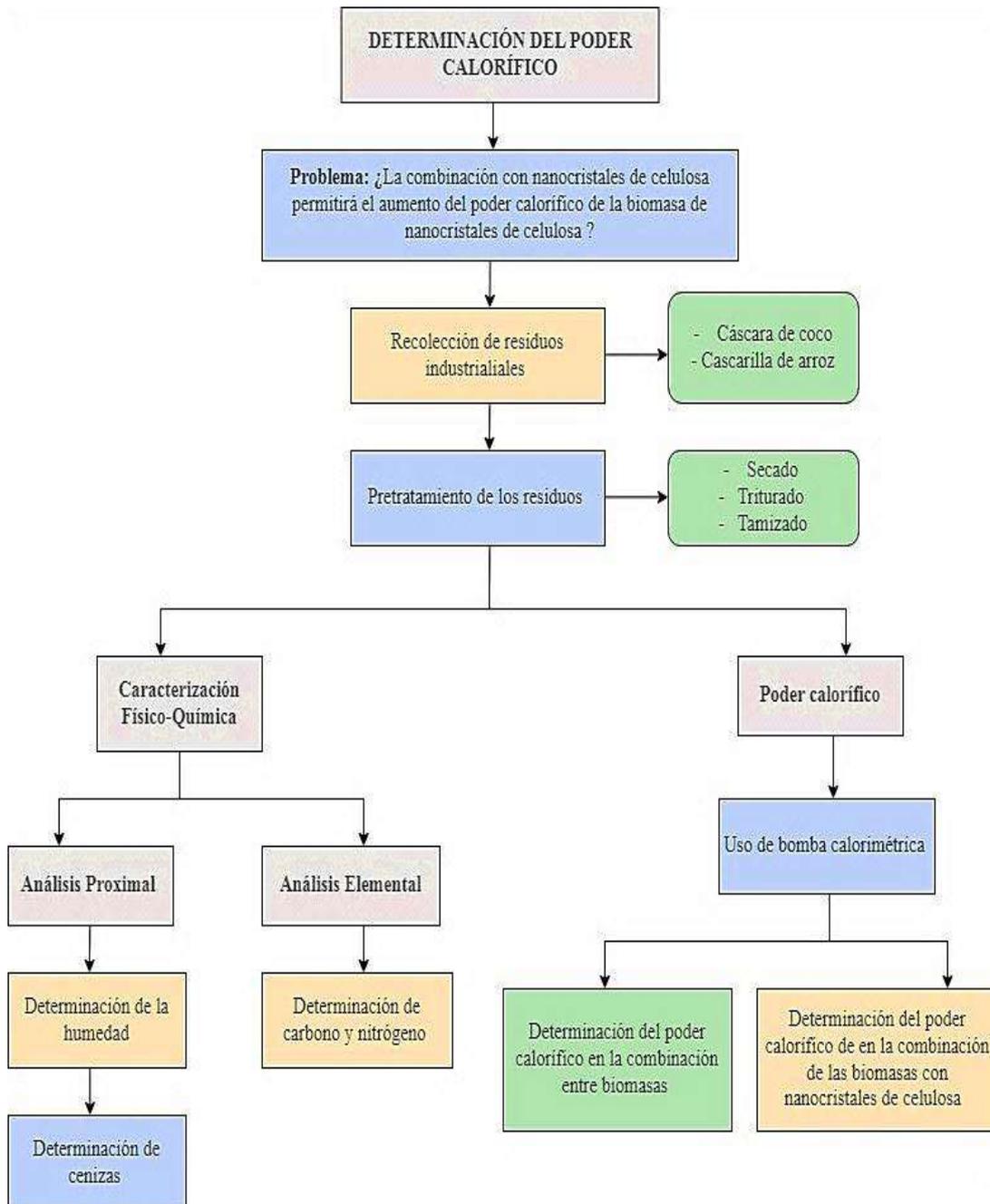


Ilustración 1-3: Proceso de determinación del poder calorífico

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

Respecto a la manipulación o no de la variable independiente el presente trabajo de investigación es perteneciente a una investigación de campo experimental, debido a que se manipulan dos variables independientes como la cantidad de biomasa, por lo que se debe tener en cuenta esta variable, ya que nos permite tener resultados exactos en las proporciones que se desea para

obtener datos fiables, así mismo se estudiará la cantidad de nanopartículas, cabe recalcar que el tener en cuenta las cantidades de cada una de ellas nos ayudará a obtener resultados óptimo.

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

En base al análisis en diferentes fuentes bibliográficas se determinó que el presente trabajo de investigación de campo a ejecutar es de tipo longitudinal debido a que se analizaran diferentes variables independientes como la cantidad de biomasa, cantidad de nanocristales y variables dependientes como poder calorífico etc., durante toda la realización de la parte experimental y de la misma forma se recopilaran datos obtenidos de cada uno de los estudios que se han realizado a las muestras.

3.4. Tipo de estudio

El tipo de estudio que se realizará en el presente proyecto de investigación es experimental ya que nos permite obtener variedad de datos de la realidad, que serán analizados, estudiados para la determinación del poder calorífico y dar una solución a la problemática que provoca el desaprovechamiento de esta materia prima orgánica de distintos residuos que será realizado todo a nivel de laboratorio.

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

3.5.1. *Población y planificación*

La población que se va a estudiar en presente proyecto de investigación hace referencia a las dos muestras de residuos agroindustrial que son: la cascarilla arroz y cáscara de coco con cierta cantidad de cada una de las materias primas para la realización de los respectivos análisis.

3.5.2. *Selección y cálculo*

3.5.2.1. *Selección de la muestra*

Para la respectiva selección de las muestras de cascarilla de arroz y cáscara de coco se lleva a cabo un muestreo aleatorio de cada uno de los residuos, en donde primero se identificó si la muestra estaba en óptimas condiciones en cuanto a sus propiedades organolépticas y cumplía con

las propiedades para obtener un poder calorífico elevado que es uno de los parámetros importantes para la obtención de biocombustibles aptos para el consumo humano y escala industrial.

3.5.2.2. Cálculo de tamaño de la muestra

El cálculo del tamaño de la muestra permite evidenciar cuales son las cantidades de materias primas necesarias que se van a utilizar para realizar los respectivos análisis para determinar el poder calorífico de cada una de ellas y dar una solución a la problemática mediante la elaboración posterior de combustibles sólidos biodegradables y sostenibles.

Para los análisis proximales para el proceso de la humedad en las cápsulas se utilizaron muestras con un peso de (2-10) g y referente a las cenizas en el crisol se colocaron muestras de (2-2,5) g las mismas realizadas a nivel de laboratorio, por el contrario, con respecto a los análisis elementales de carbono y nitrógeno se usarán 2 gr para cada una de las metodologías antes mencionadas.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Para la determinación del poder calorífico de los residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz, se debe de seguir una serie de metodologías desde la preparación de la muestra que consisten en análisis elementales y fisicoquímicos hasta el cálculo final de los poderes caloríficos, las cuales se detallan a continuación:

3.6.1. Determinación de análisis proximales de la materia prima de residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz

3.6.1.1. Contenido de humedad de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz: Método de desecación en estufa de aire caliente

Tabla 3-3: Determinación del contenido de humedad de la cáscara de coco y cascarilla de arroz

Determinación del contenido de humedad	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Cápsulas. • Estufa. • Balanza Digital. • Desecador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de coco. • Cascarilla de arroz.

Procedimiento	Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> • Se taran en la estufa las cápsulas durante 3 horas a una temperatura de 110 °C durante 3 horas. • Se las retira y coloca en desecadores por un tiempo de 20 min y pesarlos. • Encerar la balanza y pesar de 5-10 gramos de la muestra en 4 cápsulas. • Colocar las muestras en la estufa a una temperatura de 110 °C durante 24 horas. • Dejar enfriar en el desecador hasta que se encuentren a temperatura ambiente durante 20 min. • Proceder a realizar el pesado final de las muestras con las cápsulas. • Finalmente aplicar la fórmula de sustancia seca en masa y calcular la humedad (Ver anexo A). 	<p>Para realizar el cálculo de la cantidad de humedad se utiliza las siguientes ecuaciones:</p> $SS\% = \left\{ \frac{(m_2 - m)}{(m_1 - m)} \right\} * 100$ <p>Ecuación 1-3: Porcentaje sustancia seca en masa</p> <p>Siendo:</p> <p>m = masa de la cápsula tarado 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</p> $\% \text{Humedad} = 100 - SS\%$ <p>Ecuación 2-3: Porcentaje de humedad</p> <p>SS% = sustancia seca en porcentaje en masa</p>

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.1.2. Determinación de cenizas de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz: Métodos e incineración en mufla

Tabla 4-3: Determinación de contenido de las cenizas de los residuos agroindustriales

Determinación del contenido de cenizas de los residuos agroindustriales	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Crisoles. • Estufa. • Balanza Digital. • Desecador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de coco. • Cascarilla de arroz.
Procedimiento	Cálculos

<ul style="list-style-type: none"> • Tarar los crisoles durante tres horas a 110 °C, retíralas y colocarlas en desecadores por 20 min y pesarlas. • Pesar de (2-2,5) gr y acto seguido se procede a colocarlos en el reverbero en la Sorbona para realizar su calcinación. • Trascurrido el tiempo evidenciar que ya no salga humo de las muestras y retíralas hasta la temperatura ambiente. • Transferir las muestras a la mufla realizar la incineración a una temperatura aproximada de 500°C-550°C en un lapso de 24 horas. • Retirar de la mufla, dejar enfriar y realizar el peso final. • Calcular el porcentaje de cenizas (Ver anexo A). 	<p>Para determinar las cenizas en una muestra de residuo se hace uso de la siguiente fórmula:</p> $\% C = \left\{ \frac{(m_1 - m)}{(m_2 - m)} \right\} * 100$ <p>Ecuación 3-3: Porcentaje de cenizas</p> <p>Siendo:</p> <p>% C = contenido de cenizas en porcentaje de masa.</p> <p>m = masa del crisol tarado en g.</p> <p>m₁ = masa del crisol con la muestra después de la incineración en g.</p> <p>m₂ = masa del crisol con la muestra antes de la incineración en g.</p>
--	--

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.1.3. Obtención de la biomasa a partir de los residuos agroindustriales de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Tabla 5-3: Obtención de la biomasa a partir de los residuos agroindustriales

Obtención de la biomasa a partir de los residuos agroindustriales	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Secador de bandejas. • Triturador de sólidos. • Tamices. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de coco. • Cascarilla de arroz.
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reducir totalmente la humedad de los residuos de cáscara de coco y cascarilla de arroz en el secador de bandejas a 70°C. • Triturar la materia prima previamente seca en el equipo lo más pulverizada que se puede. • Finalmente tamizar los residuos triturados, de tal forma que la biomasa se encuentre totalmente molida para ser utilizada para posteriores procesos. 	

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.1.4. Análisis elemental de carbono y nitrógeno a la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Tabla 6-3: Análisis elemental de carbono y nitrógeno a la biomasa de los residuos agroindustriales

Determinación del contenido de carbono y nitrógeno	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> Analizador DUMAS. Crisoles. 	<ul style="list-style-type: none"> Cáscara de coco. Cascarilla de arroz.
Procedimiento	Cálculos
La determinación de nitrógeno en cada una de las muestras se las va a realizar mediante el método DUMAS el cual consiste en el método de combustión seca. Consiste en que cada una de las muestras de cascarilla de arroz y cáscara de coco, durante el proceso se da la generación de gases de nitrógeno, los mismos que son analizados y cuantificados a través de una celda de detección IR y también de una de celda de conductividad térmica.	No se obtuvieron cálculos de estos análisis ya que los mismos fueron proporcionados directamente por el equipo que permite determinar el análisis elemental de forma automática.

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.2. Síntesis de nanocristales de celulosa

Para la sintetización de los nanocristales de celulosa se evitó el uso del método químico ya que el rendimiento iba a resultar demasiado bajo y costoso para lo que necesitábamos, por tal razón se procedió a la aplicación método mecánico mediante el uso del equipo GrindControl MM 500 nano.

Este procedimiento mecánico permite producir y obtener a la nanocelulosa con mediadas variadas de aproximadamente de 10-100 nm de espesor y 1000 nm teniendo de esta manera forma de cristales.

Tabla 7-3: Obtención de los nanocristales de celulosa

Sinterización de los nanocristales	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> GrindControl MM 400 nano. 	<ul style="list-style-type: none"> Celulosa.
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> La síntesis de la nanocelulosa es realizada mediante método mecánico, que nos permite ya que el químico no resulto debido a que se desperdició gran cantidad de reactivos y no se consiguió los cristales deseados. Posteriormente la celulosa es triturada respectivamente en el molino, en mismo que trabaja con 30 HZ de frecuencia. El molino se encarga de remover todas las partes amorfas de la nanocelulosa. El resultado final obtenido son cristales con un tamaño más pequeñas con mediadas variadas de aproximadamente de 10-100 nm de espesor y 1000 nm. El método mecánico nos permite solo dejar las partes cristalinas de la celulosa. Finalmente, al culminar los procesos de molienda se filtran todos los cristales para poder eliminar todas las partículas de mayor tamaño que se encuentran a su alrededor. 	

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

3.6.3. Caracterización de la celulosa y nanocristales de celulosa

Tabla 8-3: Caracterización de la celulosa y nanocristales de celulosa

Caracterización de la celulosa y nanocristales de celulosa	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> Microscopio electrónico de barrido (SEM). 	<ul style="list-style-type: none"> Celulosa. Nanocristales de celulosa.
<p>Procedimiento</p> <p>Para la caracterización de la composición física y química de las superficies sólidas en una escala de tipo submicrométrica es indispensable en uso del microscopio electrónico de barrido. Se utilizó esta metodología con la finalidad de asegurar y verificar que se tratan de nanocristales de celulosa.</p> <p>Para la obtención de las imágenes mediante el SEM, la muestra sólida es barrida mediante un modelo raster específicamente con un haz de electrones fino. El raster es un dispositivo con semejanzas al utilizado en tubos catódicos en donde los haces de electrones hacen un barrido, pero en línea recta, volviendo a su disposición inicial, para posteriormente ser desplazado en dirección hacia abajo a cierta distancia.</p> <p>El proceso mencionado anteriormente es realizado varias veces hasta que la superficie de estudio que se desea analizar haya sido barrida. Al ser barrida esa superficie se producen una serie de señales de diferentes tipos, la misma que incluye una serie de electrones retrodispersados, así mismo fluorescencia de rayos x.</p> <p>El SEM se encarga de formar las imágenes con los distintos electrones secundarios que son generados a través de la radiación electrónica en el proceso de raster, y los electrones finales reflejados son atraídos como un imán mediante un detector que nos permite evidenciar las imágenes que arroja el equipo (Ver anexo C).</p>	

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.4. Determinación del poder calorífico de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Tabla 9-3: Determinación del poder calorífico de la biomasa de residuos agroindustriales

Determinación del poder calorífico de la biomasa	
Materiales y Equipos	Sustancias y Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> Bomba calorimétrica XRY-1 A. Toallas absorbentes. 	<ul style="list-style-type: none"> Agua de botellón, tiñer. Biomasa (0,8-1) gr de cascarilla de arroz y cáscara de coco.
Procedimiento	Cálculos
<ul style="list-style-type: none"> Se pesa de 0,7 a 1 gr de muestra usando una balanza analítica previamente. Colocar la cabeza de la bomba de oxígeno y proceder a cortar cable de ignición entre (6-9) cm y colocarlo en los polos conductores. Ajustar la distancia entre el cable de ignición y la muestra de modo que tope la superficie de la misma., sin que se sumerja. Se procede a colocar en la bomba girando el cuerpo de la misma hasta que esté totalmente sellada. Conectar la tubería del tanque de oxígeno a la cabeza de la bomba de oxígeno y girar la válvula del dispositivo de descompresión de oxígeno para mantener la presión estable a 3 MPA durante unos 30 s. Se afloja la válvula del tanque de oxígeno y desconecta la tubería del mismo, después de a verse llenado la bomba de oxígeno lo indicado. Dirigirse al recipiente interior del equipo sacarlo y colocar la bomba y agua conjuntamente de tal forma que la cubra completamente. Colocar el cable de electrodo en la bomba de oxígeno, seguido se procede a cerrar la tapa de la cámara, ajustar los electrodos y agregar el sensor de temperatura en el instrumento. Presionar el botón reset y shir consecutivamente, cuando la temperatura sea estable en (10-12) pulsar ignite para que se encere y el equipo empiece a registrar su temperatura real. Cuando el equipo registre 31 datos de temperatura aplastar data para colocarla en 0 y anotar los datos que se obtuvieron de la temperatura en secuencia (Ver anexo D). 	<p>Para determinar la capacidad calorífica del equipo se utiliza la siguiente ecuación.</p> $E = \frac{Q_1 * M_1 + 40}{\Delta T}$ <p>Ecuación 4-3: Determinación de la capacidad calorífica de la bomba. Siendo: E = capacidad calorífica del instrumento, J/°C Q₁ = valor calorífico del ácido benzoico estándar, J/g. M₁ = peso del ácido benzoico, g. 40 = calor adicional (calor del cable de encendido) ΔT = aumento de la temperatura desde su etapa de inicio hasta después de la combustión en el sistema calorimétrico, °C.</p> <p>Para determinar el poder calorífico de una muestra sólida en el equipo, se utiliza la siguiente ecuación:</p> $Q = \frac{E * \Delta T - 40}{G}$ <p>Ecuación 5-3: Poder calorífico de la muestra Siendo: Q = poder calorífico de la muestra E = capacidad calorífica del instrumento, J/°C ΔT = aumento de la temperatura desde su etapa de inicio hasta después de la combustión en el sistema calorimétrico, °C. 40 = calor adicional (calor del cable de encendido). G = peso de la muestra, g.</p>

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

3.6.5. *Elaboración de briquetas de cascarilla de arroz y cáscara de coco*

En cuanto al procedimiento de la elaboración de las briquetas para los residuos de cascarilla de arroz, como punto de partida tenemos la obtención estos residuos que por lo general son proporcionados por las industrias arroceras y cocoteras que por lo general son utilizados en sus ganados y cultivos. Los pasos a seguir se detallan a continuación en la Tabla 10-3.

Tabla 10-3: Elaboración de briquetas de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Elaboración de briquetas de la biomasa de residuos agroindustriales	
Materiales y Equipos	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Máquina briquetadora. • Molino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cáscara de coco y cascarilla de arroz.
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> • Para llevar a cabo la compactación de las briquetas, los residuos deben pasar por proceso de molienda y estar en partículas completamente pequeñas. • Al llevar a cabo la preparación de la mezcla, se usará almidón de yuca (en una cantidad aproximada de un 4 a 8% para que no exista una variación significativa). • Con una pequeña cantidad de agua se procede a mezclar con el almidón mencionado anteriormente. • En otro recipiente se procede a calentar agua hasta que alcance el punto de ebullición y posteriormente se procede a incorporar la mezcla anterior previamente preparada hasta el punto de ebullición. • Luego cuando la anterior mezcla se encuentre totalmente fría se procede a mezclarla con la combinación de residuos que obtuvieron mayor poder calorífico. • Seguido con el mezclador hélice del equipo se procede a mezclar todo uniformemente por 10 minutos. • Al tener la mezcla se forma una bola pequeña para incorporarla a la briquetadora definiendo su tamaño y forma. • Consecutivamente el equipo debe ser alimentado con la preparación antes mencionada • La máquina briquetadora trabajara a una presión de aproximadamente de 0,8 a 1.7 KPa. • Las briquetas obtenidas son secadas mediante el secador de bandejas hasta que se obtenga un peso constante de la misma. • Finalmente, la briqueta obtenida debe tener un porcentaje de humedad inferior al 15% para que sea apta para su uso (Ver anexo E y F). 	

Fuente: Almache, 2018, p.75.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cálculos

4.1.1. Determinación de humedad de los residuos agroindustriales

Para el análisis de la humedad de las muestras estudiadas se tomaron dos pesos distintos de las materias primas obteniéndose los siguientes resultados que se denotan a continuación:

Donde:

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

- **SS (%)**: Sustancia seca en porcentaje en masa.
- **m**: masa de la cápsula en gr.
- **m₁**: masa de la cápsula con la muestra en gr.
- **m₂**: masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en g.

4.1.1.1. Cáscara de coco

- **Cápsula 1**

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

$$SS\% = \left\{ \frac{(98,413 - 95,882)}{(98,956 - 95,882)} \right\} * 100$$

$$SS\% = 82,34\%$$

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

$$\%Humedad = 100 - 82,34$$

$$\%Humedad = 17,66$$

- **Cápsula 2**

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

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(105,126 - 102,361)}{(105,971 - 102,361)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = 76,59\%$$

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

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - 76,59$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 23,41$$

4.1.1.2. Cascarilla de arroz

- **Cápsula 1**

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

$$\mathbf{SS\%} = \left\{ \frac{(96,176 - 91,214)}{(97,03 - 91,214)} \right\} * 100$$

$$\mathbf{SS\%} = 85,32\%$$

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

$$\mathbf{\%Humedad} = 100 - 85,32$$

$$\mathbf{\%Humedad} = 14,68$$

- **Cápsula 2**

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

$$SS\% = \left\{ \frac{(83,8544 - 77,9809)}{(84,6450 - 77,909)} \right\} * 100$$

$$SS\% = 87,20\%$$

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

$$\% \text{Humedad} = 100 - 87,20$$

$$\% \text{Humedad} = 12,80$$

4.1.2. Determinación de cenizas de los residuos agroindustriales

Para el análisis de las cenizas de las muestras estudiadas se tomaron dos pesos distintos de las materias primas obteniéndose los siguientes resultados que se denotan a continuación:

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

Donde:

- % C: contenido de cenizas en porcentaje de masa.
- m: masa del crisol tarado en gramos.
- m₁: masa de crisol después de la incineración en gramos.
- m₂: masa del crisol con la muestra antes de la incineración.

4.1.2.1. Cáscara de coco

- **Crisol 1**

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

$$\% C = \left\{ \frac{(39,4880 - 39,3897)}{(41,5562 - 39,3897)} \right\} * 100$$

$$\% C = 4,537\%$$

- **Crisol 2**

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

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(36,1234 - 36,0213)}{(38,3411 - 36,0213)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 4,4012$$

4.1.2.2. Cascarilla de arroz

- **Crisol 1**

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

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(38,001 - 37,946)}{(40,007 - 37,946)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 2,668$$

- **Crisol 2**

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

$$\% \mathbf{C} = \left\{ \frac{(44,055 - 43,999)}{(46,005 - 43,999)} \right\} * 100$$

$$\% \mathbf{C} = 2,791$$

4.1.3. Análisis de carbono y nitrógeno de la biomasa de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Tabla 1-4: Análisis elemental de las biomásas

Muestra	Composición Elemental (%)		Método Usado
	Carbono	Nitrógeno	
Cascarilla de arroz	30,574	1,391	Oxidación completa por combustión
Cáscara de coco	41,873	0,899	

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

4.1.4. Calibración de la bomba calorimétrica

Calibración del equipo GDY-1 AO Oxigen Bomb Calorimeter

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

Cálculo para la determinación del poder calorífico

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

Donde:

E: capacidad calorífica del instrumento (J/°C).

Q₁: valor calorífico del ácido benzoico estándar (J/g).

M₁ : peso del ácido benzoico (g).

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

ΔT : aumento de la temperatura desde su etapa de inicio hasta después de la combustión en el sistema calorimétrico, (°C).

Q: poder calorífico de la muestra (J/g).

Tabla 2-4: Variación de temperatura para la calibración del equipo

CALIBRACIÓN DE LA MÁQUINA	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	20,941
0,5	20,960
1	21,031
1,5	21,056
2	21,158
2,5	21,209
3	21,257
3,5	21,312
4	21,349
4,5	21,383
5	21,413
5,5	21,439
6	21,461
6,5	21,481
7	21,499
7,5	21,516

8	21,533
8,5	21,549
9	21,563
9,5	21,578
10	21,593
10,5	21,607
11	21,621
11,5	21,634
12	21,648
12,5	21,662
13	21,675
13,5	21,688
14	21,791
14,5	21,714
15	21,728

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Q₁ = 26457 J/g	M₁ = 0,9724 g
T inicial = 20,941	T final = 21,728

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

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

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

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

4.1.5. Determinación del poder calorífico de las biomasas de los residuos agroindustriales

4.1.5.1. Poder calorífico inicial de la cascarilla de arroz

Tabla 3-4: Poder calorífico inicial de la cascarilla de arroz

Poder calorífico inicial de la cascarilla de arroz	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	22,789
0,5	22,895
1	23,025
1,5	23,109
2	23,227
2,5	23,395
3	23,485
3,5	23,509
4	23,519
4,5	23,607
5	23,617
5,5	23,623
6,5	23,625
7	23,628
7,5	23,630
8	23,635
8,5	23,638
9	23,639
9,5	23,640
10	23,644
10,5	23,646
11	23,648
11,5	23,649
12	23,650
12,5	23,511
13	23,525
13,5	23,530
14	23,535
14,5	23,540
15	23,546

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 18,950	T final: 19,790
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23,546 - 22,789)^\circ\text{C} - 40}{(0,753 \text{ g})}$$

$$Q = 33097,88921 \text{ J/g}$$

4.1.5.2. Poder calorífico de la cáscara de coco

Tabla 4-4: Poder calorífico inicial de la cáscara de coco

Poder calorífico inicial de la cáscara de coco	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	18,950
0,5	18,951
1	18,953
1,5	18,955
2	18,965
2,5	18,970
3	18,975
3,5	18,980
4	18,985
4,5	18,990
5	19,001
5,5	19,008
6,5	19,010
7	19,018
7,5	19,105
8	19,108
8,5	19,110
9	19,225
9,5	19,119
10	19,303
10,5	19,405
11	19,501
11,5	19,550
12	19,602
12,5	19,630

13	19,655
13,5	19,660
14	19,665
14,5	19,670
15	19,690

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 22,789	T final: 23,546
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (19,90 - 18,950)^\circ\text{C} - 40}{(0,75 \text{ g})}$$

$$Q = 32482,82841 \text{ J/g}$$

4.1.6. Determinación del poder calorífico de la mezcla de biomásas

4.1.6.1. Combinación de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz

Para la determinación del poder calorífico primero se tomaron diferentes proporciones de cascarilla de arroz y cascara de coco que fueron combinadas obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 5-4: Combinación de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz

Materia Prima	Peso (gr)
Cáscara de coco	0,4
Cascarilla de arroz	0,4

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Tabla 6-4: Variación de temperatura de la combinación de 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	19,789
0,5	20,302
1	20,431
1,5	20,502
2	20,549

2,5	20,583
3	20,610
3,5	20,632
4	20,652
4,5	20,669
5	20,685
5,5	20,699
6	20,712
6,5	20,724
7	20,735
7,5	20,747
8	20,756
8,5	20,765
9	20,774
9,5	20,782
10	20,790
10,5	20,797
11	20,804
11,5	20,811
12	20,817
12,5	20,823
13	20,829
13,5	20,834
14	20,839
14,5	20,840
15	20,845
15,5	20,849

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 19,789	T final: 20,849
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (20,849 - 19,789)^\circ\text{C} - 40}{(0,8 \text{ g})}$$

$$Q = 34914,38998 \text{ J/g}$$

4.1.6.2. Combinación de 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz

Tabla 7-4: Combinación de 25% de cáscara de coco y 75% de cascarilla de arroz

Materia Prima	Peso (gr)
Cáscara de coco	0,4
Cascarilla de arroz	0,4

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Tabla 8-4: Variación de temperatura de 25% cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	18,949
0,5	18,960
1	18,978
1,5	19,007
2	19,044
2,5	19,087
3	19,142
3,5	19,196
4	19,247
4,5	19,288
5	19,326
5,5	19,362
6	19,393
6,5	19,418
7	19,443
7,5	19,446
8	19,486
8,5	10,504
9	19,520
9,5	19,537
10	19,552
10,5	19,567
11	19,581
11,5	19,595
12	19,608
12,5	19,620
13	19,632
13,5	19,644
14	19,656
14,5	19,668
15	19,670

15,5	19,680
------	--------

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 18,949	T final: 19,680
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (19,680 - 18,949)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 24065,33875 \text{ J/g}$$

4.1.6.3. Combinación de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz

Tabla 9-4: Combinación de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz

Materia Prima	Peso (gr)
Cáscara de coco	0,4
Cascarilla de arroz	0,4

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Tabla 10-4: Combinación de 75% cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	21,237
0,5	21,246
1	21,267
1,5	21,293
2	21,334
2,5	21,377
3	21,414
3,5	21,454
4	21,488
4,5	21,516
5	21,543
5,5	21,566
6	21,587
6,5	21,605
7	21, 621
7,5	21, 636
8	21,651

8,5	21,665
9	21,678
9,5	21,690
10	21,702
10,5	21,713
11	21,725
11,5	21,736
12	21,747
12,5	21,757
13	21,768
13,5	21,778
14	21,780
14,5	21,786
15	21,799
15,5	21,808

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 21,232	T final: 21,808
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (21,808 - 21,232)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 18952,08361 \text{ J/g}$$

4.1.7. Determinación del poder calorífico de biomasa combinados con nanocristales de celulosa

4.1.7.1. Combinación (50%-50%): Mezcla de 95% de biomasa y 5% de nanocristales de celulosa

De las mezclas de biomasa que fueron denotadas anteriormente las que mayor poder calorífico se obtuvieron fue las que estaban las biomásas en iguales proporciones y la que contenida mayor cantidad de cascarilla de arroz, de las cuales se tomaron diferentes proporcione, las mismas que posteriormente fueron mezcladas con nanocristales de celulosa.

Tabla 11-4: Combinación de 95% de biomasa y 5% de nanocristales de nanocelulosa

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	23,270
0,5	23,294
1	23,348
1,5	23,378
2	23,446
2,5	23,509
3	23,560
3,5	23,597
4	23,636
4,5	23,665
5	23,689
5,5	23,710
6	23,730
6,5	23,747
7	23,763
7,5	23,778
8	23,792
8,5	23,806
9	23,819
9,5	23,832
10	23,845
10,5	23,857
11	23,869
11,5	23,881
12	23,893
12,5	23,905
13	23,916
13,5	23,928
14	23,939
14,5	23,950
15	23,955
15,5	23,961

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 23,270	T final: 23,961
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23,961 - 23,270)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 22746,30516 \text{ J/g}$$

4.1.7.2. *Combinación (50%-50%): Mezcla de 85% de biomasa y 15% de nanocristales de celulosa*

Tabla 12-4: Combinación de 85% de biomasa y 15% de nanocristales

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	23,138
0,5	23,147
1	23,165
1,5	23,185
2	23,215
2,5	23,244
3	23,271
3,5	23,299
4	23,322
4,5	23,342
5	23,359
5,5	23,373
6	23,386
6,5	23,398
7	23,409
7,5	23,420
8	23,429
8,5	23,438
9	23,447
9,5	23,456
10	23,464
10,5	23,473
11	23,481
11,5	23,489
12	23,496
12,5	23,504
13	23,512
13,5	23,520
14	23,523
14,5	23,535
15	23,539

15,5	23,542
------	--------

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 23,138	T final: 23,542
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23,542 - 23,138)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 13282,2392 \text{ J/g}$$

4.1.7.3. *Combinación (25%-75%): Mezcla de 90% de biomasa y 10% de nanocristales de celulosa*

Tabla 13-4: Combinación de 90% de biomasa y 10% de nanocristales

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	23,169
0,5	23,182
1	23,207
1,5	23,234
2	23,280
2,5	23,316
3	23,349
3,5	23,381
4	23,406
4,5	23,427
5	23,444
5,5	23,46
6	23,473
6,5	23,485
7	23,497
7,5	23,507
8	23,517
8,5	23,526
9	23,535
9,5	23,544
10	23,552
10,5	23,561

11	23,569
11,5	23,577
12	23,585
12,5	23,593
13	23,600
13,5	23,608
14	23,615
14,5	23,623
15	23,629
15,5	23,630

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 23,169	T final: 23,630
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23,630 - 23,169)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 15161,86206 \text{ J/g}$$

4.1.7.4. *Combinación (25% - 75%): Mezcla de 94% de biomasa y 6 % de nanocristales de celulosa*

Tabla 14-4: Combinación de 94% de biomasa y 6% de nanocristales de celulosa

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	23,170
0,5	23,188
1	23,225
1,5	23,258
2	23,298
2,5	23,253
3	23,393
3,5	23,431
4	23,462
4,5	23,491
5	23,515
5,5	23,537
6	23,557

6,5	23,575
7	23,592
7,5	23,608
8	23,624
8,5	23,639
9	23,654
9,5	23,669
10	23,683
10,5	23,698
11	23,712
11,5	23,726
12	23,739
12,5	23,753
13	23,766
13,5	23,788
14	23,793
14,5	23,806
15	23,810
15,5	23,819

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 23,170	T final: 23,819
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (23,819 - 23,170)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 21196,4407 \text{ J/g}$$

4.1.7.5. *Combinación (25%-75%): Mezcla de 85% de biomasa y 15% de nanocristales de celulosa*

Tabla 15-4: Combinación de 85% de biomasa y 15% de nanocristales

Tiempo (min)	Temperatura °C
0	23,588
0,5	23,596
1	23,620
1,5	23,645

2	23,680
2,5	23,716
3	23,748
3,5	23,778
4	23,804
4,5	23,827
5	23,848
5,5	23,865
6	23,882
6,5	23,898
7	23,912
7,5	23,927
8	23,940
8,5	23,953
9	23,966
9,5	23,979
10	23,991
10,5	24,004
11	24,016
11,5	24,028
12	24,040
12,5	24,052
13	24,064
13,5	24,076
14	24,099
14,5	24,100
15	24,109
15,5	24,111

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

T inicial: 23,588	T final: 24,111
--------------------------	------------------------

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

$$Q = \frac{(32975,8396 \text{ J/}^\circ\text{C}) * (24,111 - 23,588)^\circ\text{C} - 40}{(1 \text{ g})}$$

$$Q = 17206,36411 \text{ J/g}$$

4.2. Resultados e interpretación de resultados

4.2.1. Análisis proximal de los residuos agroindustriales

En la siguiente tabla 16-4 se detalla de manera minuciosa cada uno de los análisis proximales realizadas a las diferentes muestras.

Tabla 16-4: Porcentaje de humedad y cenizas a los residuos agroindustriales

	% Cenizas	%Humedad
Cáscara de coco	4,537	17,66
	4,0412	23,41
Cascarilla de arroz	2,668	14,68
	2,791	12,80

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la tabla 16-4 podemos observar los análisis proximales de cenizas y humedad realizados, donde se llevaron a cabo dos ensayos cada una de las muestras, las mismas que fueron calculadas a nivel de laboratorio. Obteniéndose un bajo nivel de humedad y cenizas en la cascarilla de arroz de tal forma que beneficiara en el análisis del poder calorífico incrementando el mismo debido al bajo contenido de componentes inorgánicos que no afectaran de cierta forma la calidad de los biocombustibles a elaborarse.

Según Quintero (2015, p.5) en su trabajo titulado “Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano” enuncian que el porcentaje de humedad en los residuos es una característica crucial sobre el poder calorífico ya que puede afectar en la eficiencia para combustionar, por tal razón los rangos permisibles de la mismas para su respectivo aprovechamiento en procesos de combustión directa deben ser de 5 y 15% de humedad.

De Los resultados obtenidos a nivel laboratorio se determinó que la muestra de cascarilla de arroz en el análisis de ambas muestras nos proporcionó un porcentaje de humedad se encuentran dentro de los rangos permisibles antes mencionados a diferencia de las muestras de cáscara de coco que superan los índices de humedad permitidos. Como menciona Huang et al., (2019, pp. 34-35), la humedad es un factor fundamental que afecta directamente a la paletización, esto hace referencia a las desventajas que va a causar en la compresión de la biomasa para la elaboración de briquetas, a diferencia de la cascarilla de arroz que demuestra un porcentaje considerable para llevar a cabo la paletización.

Los resultados obtenidos de los porcentajes de cenizas fueron variados. Como menciona Beltrón et al. (2014), en su artículo científico titulado: “Evaluación energética de biocombustibles sólidos a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica” los valores de las cenizas se deben encontrar en un rango de (6-8)% tomando como residuos a la cáscara de maní y tallo de maíz similares a los valores que fueron obtenidos a nivel laboratorio y que se demuestran en la tabla 28-4, además da a conocer que el poder calorífico guarda una relación directamente proporcional al contenido de cenizas, es decir, entre mayor cantidad de esta característica contenga, el poder calorífico será menor y viceversa. Esto es causado por la variedad y cantidad de componentes inorgánicos que están presentes en las muestras. Determinándose de esta forma que la obtención de un bajo de cenizas va a beneficiar un aumento considerable del poder calorífico, así mismo es adecuado para ser tratado para la producción de bioenergías. Por tal razón, el poder calorífico de la cascarilla de arroz es superior respecto a la cáscara de coco.

4.2.2. *Análisis de elemental de carbono y nitrógeno de la biomasa*

Los análisis elementales de la cascarilla de arroz y cáscara de coco en el laboratorio de investigación, con apoyo del Grupo Asociados de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química (GIBAC).

Los primeros análisis realizados a la biomasa de cascarilla de arroz y cáscara de coco fueron únicamente de carbono y nitrógeno debido a que era necesario realizarle de todos. El método utilizado fue el de oxidación completa por combustión obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 17-4: Análisis elemental de las biomosas

Muestra	Resultados		Unidad
	Carbono	Nitrógeno	
Cascarilla de arroz	41,873	1,391	%
Cáscara de coco	30,574	0,899	%

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Los resultados obtenidos en la tabla 17-4 permite evidenciar a las muestras de residuos agroindustriales en un rango de (41,873-30,574) en carbono y de nitrógeno entre (1,391-0899) respectivamente, datos que son parecidos a los obtenidos por Medina (2017, p.5) en su trabajo titulado: “Caracterización del bagazo de caña como biomasa vegetal” en donde los valores en cuanto al carbono fueron un poco más elevados, sin embargo son valores permisibles que al momento de combustionar permiten una rápido biodegradación sin producción de daños en el medio ambiente. Por otro lado, la cantidad de carbono es una característica sumamente

fundamental para llevar a cabo una combustión completa, es decir, si en nuestra composición encontramos altos niveles de carbono en alguna de las muestras va a permitir el aumento del poder calorífico y consecutivamente se obtendrá biocombustibles más efectivos y de buena calidad para la combustión.

4.2.2.1. Poder calorífico en relación al % de carbono

Tabla 18-4: Poder calorífico en relación al % de carbono

Muestra	Análisis Elemental (%)		Poder Calorífico (J/g)
	Carbono	Nitrógeno	
Cascarilla de arroz	41,873	1,391	33097,88921
Cáscara de coco	30,574	0,899	32482,82841

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

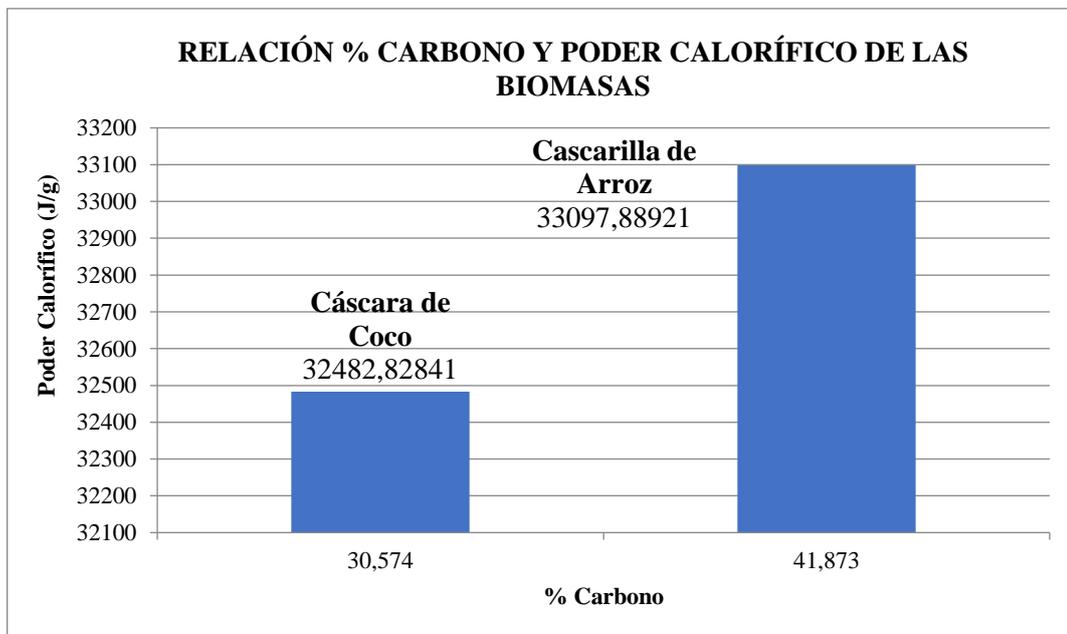


Ilustración 1-4: Relación del % de carbono en función del poder calorífico

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

El análisis elemental de carbono y nitrógeno que se realizó mediante el equipo DUMAS permitió obtener a la cascarilla de arroz con un porcentaje de carbono de 41,873 y con un % de nitrógeno de 1,391, por otro lado, la cáscara de coco con un carbono de 30,574% y de nitrógeno 0,899%. Deduciéndose en la ilustración 1-4 y la tabla 18-4 que se muestra continuación que la cascarilla de arroz es el residuo más apto para llevar a cabo su proceso de combustión completa debido al alto contenido de carbono en su composición. Al contar con un alto poder calorífico nos conlleva a una excelente combustión al ser utilizadas en la vida diaria o de forma industrial y de cierta

forma ayuda a la preservación del medio ambiente ya que los gases que emana serán de origen orgánico y erradicará en gran cantidad la contaminación ambiental.

4.2.3. Caracterización de los nanocristales de celulosa

4.2.3.1. Espectroscopia Infrarrojo de nanocristales de celulosa

Para corroborar que lo utilizado en la combinación con las biomasas fueron nanocristales de celulosa se procedió a realizar análisis de espectroscopía infrarrojo de tal forma que nos permitiera evidenciar la composición química de los mismos.

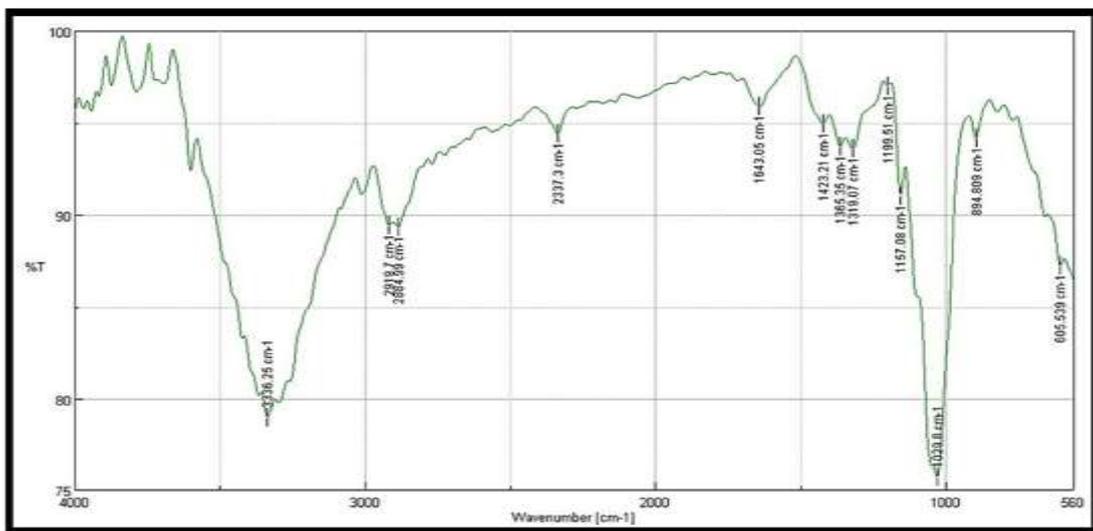


Ilustración 2-4: Espectroscopía infrarroja de nanocristales de celulosa

Fuente: Laboratorio, Materiales UTA, 2022.

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

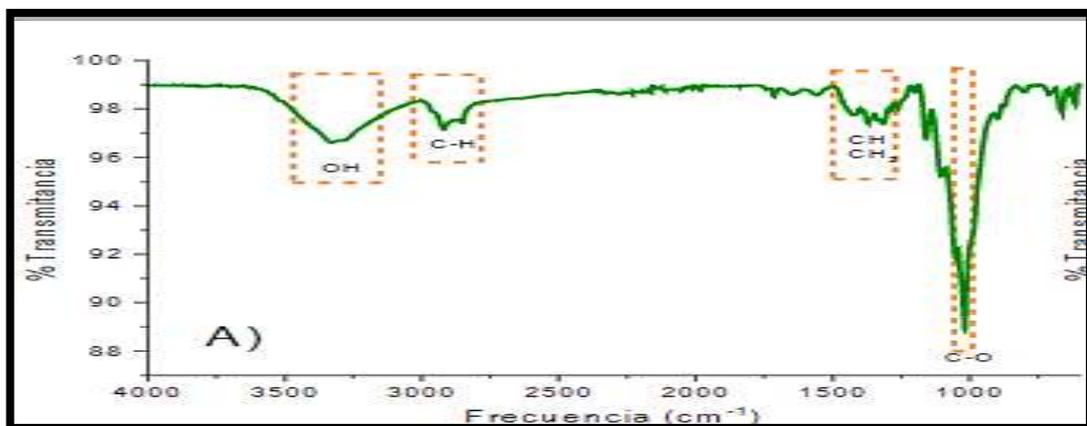


Ilustración 3-4: Espectro de infrarrojo para nanocristales de celulosa

Fuente: Hospodarova et al., 2018.

La ilustración 2-4 analizándola mediante la gráfica que nos proporciona Hospodarova et al., (2018) en la ilustración 3-4 para espectro de infrarrojo nos indica la espectroscopía de infrarrojo de nanocristales de celulosa, la cual nos permite evidenciar una cantidad de información relacionada a su conformación molecular, a su estructura cristalina y su composición química.

La gráfica antes mencionada nos ayuda a relacionar la longitud de onda en función del porcentaje de transferencia en un rango de 4000 a 560 cm^{-1} que nos permite determinar los grupos funcionales contenidos en la muestra. En la longitud de onda de 3336, 25 cm^{-1} el pico que se demuestra es debido a la presencia del grupo funcional O-H perteneciente a los alcoholes así mismo a los fenoles correspondiente a la lignina, posteriormente el pico de (2919,7; 2337,3 y 1643,05) cm^{-1} se le atribuye a que se encuentra presente vibraciones de los estiramientos de los enlaces C-H que corresponde a los grupos aromáticos ambas bandas características que pertenecen a los componentes polisacáridos. Por el contrario, las bandas pertenecientes a (1423,21; 1365,35; 1319,07; 1199,51; 1157,08) cm^{-1} pertenecen a los estiramientos y la doblez de los enlaces (-CH₂ y -CH). Finalmente, los picos correspondientes a la longitud de onda de (1029,8; 894,809 y 605,539) es correspondiente a las vibraciones del grupo carbonilo (C=O) de cetonas que se encuentra presente en la nanocristales de celulosa.

4.2.3.2. Caracterización de la celulosa en el microscopio electrónico de barrido (SEM)

En el estudio de la celulosa para identificar y corroborar que se está realizando los análisis con la misma, se procedió a realizar su caracterización mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM), en donde se nos proporcionó imágenes en alta resolución de la composición física y química de la celulosa como se demuestran a continuación:

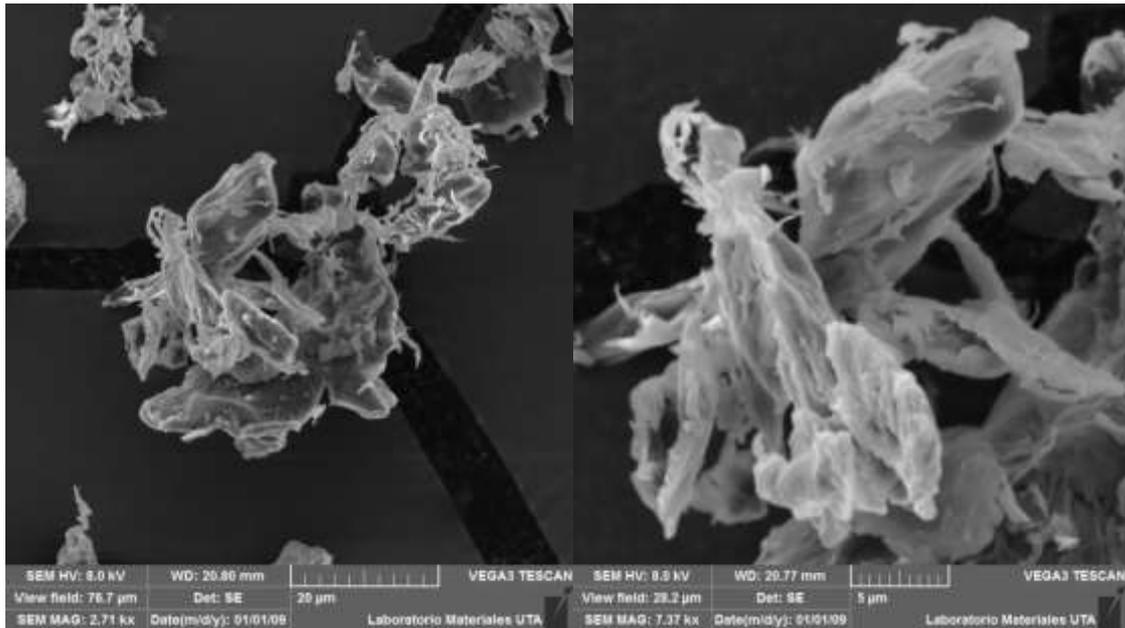


Ilustración 4-4: Caracterización en SEM de la celulosa

Fuente: Laboratorio, Materiales UTA, 2022.

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Para la síntesis de los nanocristales, se tuvo en cuenta la necesidad de verificar y corroborar que para el proyecto de investigación se utilizó lo nanocristales, por tal razón se procedió a realizar análisis de caracterización a la celulosa mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (SEM), Este equipo nos permite obtener las imágenes a partir de señales producidas a raíz de diferentes señales que son producidas a causa de la interacción de haz de los diversos electrones respecto a la superficie de las diferentes muestras.

En la ilustración 4-4, se observa a las imágenes en el microscopio electrónico de barrido de forma más visible y en alta resolución, identificándose que lo que se está utilizando es celulosa de manera confiable, pudiéndose identificar sus medidas, voltaje al cual trabajó y otras características que son indispensables para su posterior uso. El SEM nos permite observar que la materia prima que se trabajo fue con celulosa la misma que mediante un método mecánico se procedió a su transformación a nanocristales de celulosa en el diámetro requerido para los posteriores análisis que son las combinaciones con las biomásas en distintas proporciones.

4.2.3.3. Caracterización de los nanocristales de celulosa en el SEM

Para la caracterización de los nanocristales de celulosa, fue realizada con el objetivo de corroborar que se estaba utilizando este tipo de nanomateriales, para su análisis se utilizó el microscopio electrónico de barrido.

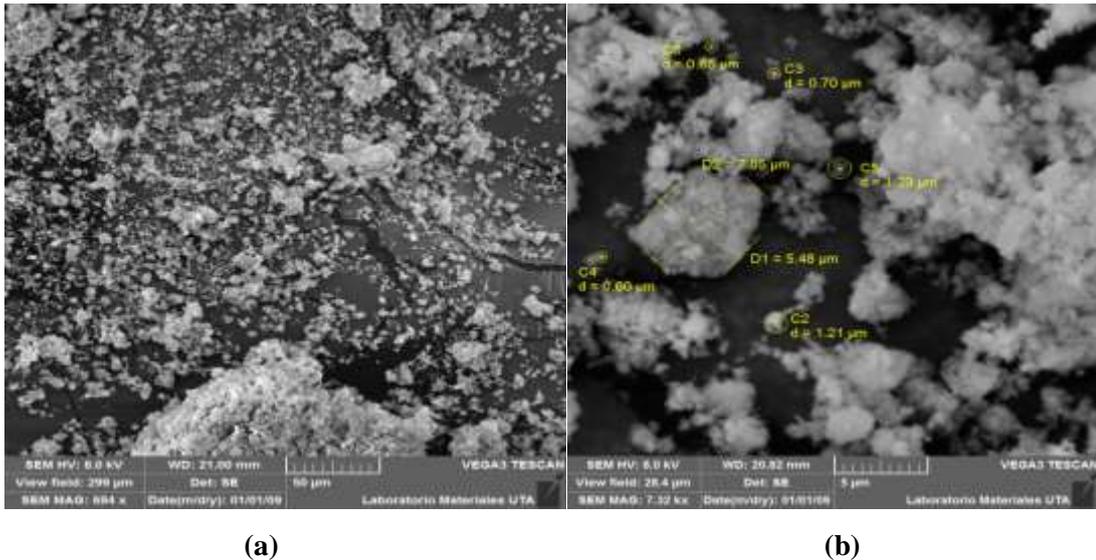


Ilustración 5-4: a) SEM de nanocristales de celulosa. b) Imagen del tamaño de nanocristales

Fuente: Laboratorio, Materiales UTA, 2022.

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Para el análisis de los nanocristales de celulosa se hizo uso de la microscopía electrónica de barrido (SEM) debido a que nos permite evidenciar la información que nos arroja de forma detallada en cuanto a la composición química y la naturaleza de la muestra sólida. Según estudios realizados por Skoog y Leary (1995) nos da a conocer que el microscopio electrónico de barrido permite formar las fotografías con los electrones secundarios que son producidos mediante la interacción de las radiaciones electrónicas a través de un proceso de rastreo y seguido los electrones son atraídos mediante un detector que permite evidenciar las imágenes arrojadas por el equipo.

De esta forma se certifico que lo que se utilizó durante la investigación fueron nanocristales de celulosa, pero que no permitió un aumento en su poder calorífico, como es en el caso de cuando son combinados con combustibles líquidos que se pudo observar ese cambio. En la ilustración 5-4 se visualiza a las muestras con un voltaje alto de iluminación de aproximadamente 8 Kv, debido a que son muestras consideradas conductoras. En la visualización de cada una de las microfotografías a una escala aproximada de 50 µm, fueron analizadas mediante un rango de espesor de 21 mm, por el contrario, para la escala de 5 µm se trabajaron con un rango de espesor de 20,82 mm. Según a los resultados obtenidos por Ackerman (2017, pp.307-352) en su análisis de nanocelulosa a partir de cáscara de soya obtuvo valores en cuanto a sus diámetros de aproximadamente 10, 5 µm, por el contrario en la imagen (b) de nuestros resultados obtenidos en el SEM se puede evidenciar el tamaño de cada uno de los nanocristales mediante sus diámetros de 0,60 µm hasta 7,05 µm con un promedio de aproximadamente 2,42 µm.

4.2.4. Poder calorífico

4.2.4.1. Poder calorífico inicial de la biomasa de los residuos agroindustriales

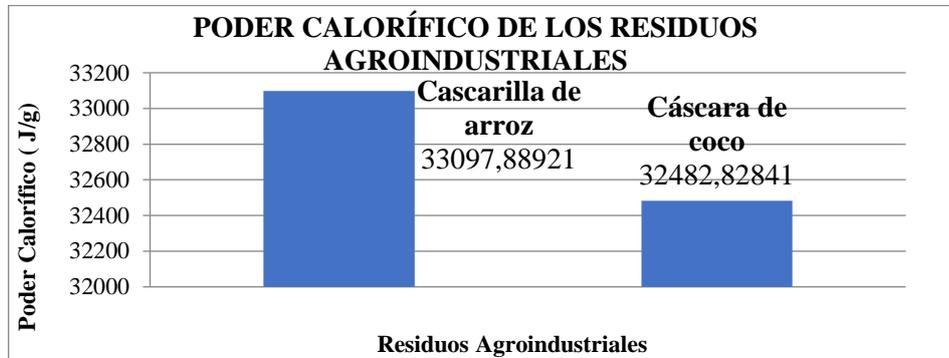


Ilustración 6-4: Poder calorífico de cáscara de coco y cascarilla de arroz

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Al realizarle el respectivo ensayo para determinar el poder calorífico de las muestras madres de los residuos agroindustriales de la cáscara de coco y cascarilla de arroz, como se puede denotar en la ilustración 6-4, se puede evidenciar un poder calorífico mayor de la cascarilla de arroz el mismo de 33097,88921 J/ g respecto a la cáscara de coco, en donde probablemente existirá una combustión completa aunque cabe recalcar que al momento de realizar las respectivas combinaciones puede surgir variaciones ya que únicamente no va a depender de la cantidad de carbono que se encuentre en la biomasa, sino que además dependerá de factores externos como el material volátil que es fundamental para la generación de la combustión. Además, el aumento y disminución del poder calorífico va a depender de sus propiedades físicas químicas como son la humedad y la cantidad de cenizas que se requiere es baja para un acenso, así mismo de su cantidad de carbono y nitrógeno son parámetros fundamentales, para qué se lleve a cabo un proceso de combustión completa sin complicaciones.

4.2.4.2. Combinación de biomasa de residuos agroindustriales

Tabla 19-4: Determinación de los poderes caloríficos de las biomasa

Muestra	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	Gramos (g)	Poder calorífico (J/g)
50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz	20,849	19,789	0,8	34914,38998

25% cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz	19,680	18,949	1	24065,33875
75% cáscara de coco y 25% cascarilla de arroz	21,232	21,808	1	18952,08361

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Según Velasco et al. (2016) el valor del poder calorífico va a depender de diferentes características fisicoquímicas, como son: % humedad, % cenizas y el análisis elemental (CHON), en este caso su poder calorífico como se observa en la tabla 31-4 es elevado en dos de las combinaciones las cuales son: 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz y 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz debido a que la generación de las características anteriormente mencionadas son mínimas favoreciendo de esta forma al aumento del mismo, a diferencia del valor de la muestra de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz en donde por los factores antes enunciados, afectaron a que exista un poder calorífico más notorio.

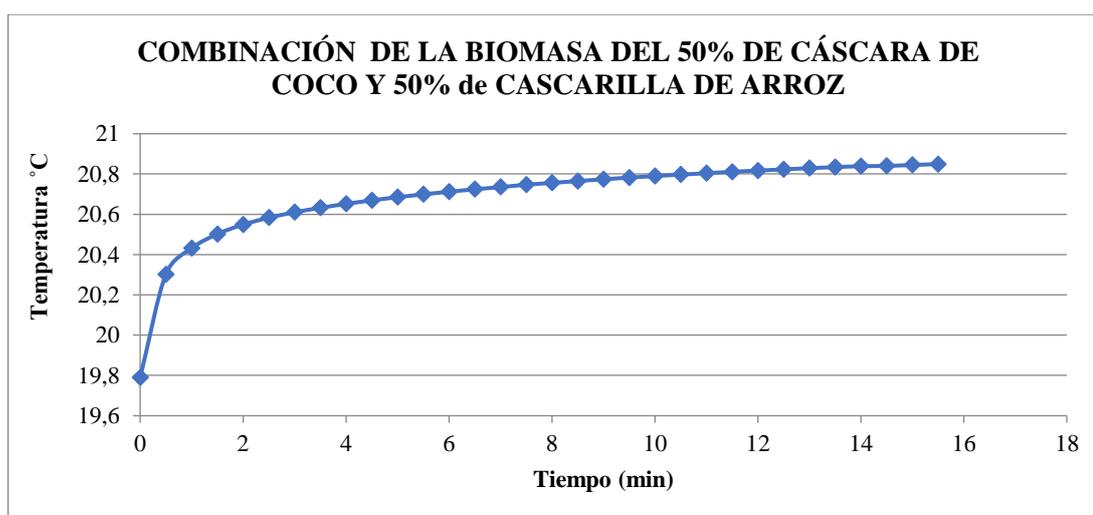


Ilustración 7-4: Variación de temperatura de la combinación de biomasa de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la ilustración 7-4 que se demuestra a continuación el poder calorífico con las diferentes mezclas de biomásas e cascara de coco (CC) y cascarilla de arroz (CA) se puede observar cómo va aumentando el poder calorífico del minuto 1,5 pero a medida que transcurre el tiempo se puede denotar que la curva existe un aumento de temperatura, por ende un aumento de su poder calorífico el mismo de 34914,38998 siendo una de las combinaciones más indicadas para su mezcla con nanocristales con celulosa.

Al contener un poder calorífico mayor respecto al demás análisis se toma como referencia para ser mezcladas con nanocristales de celulosa para posteriormente evidenciar su comportamiento al colocarlas en diferentes proporciones.

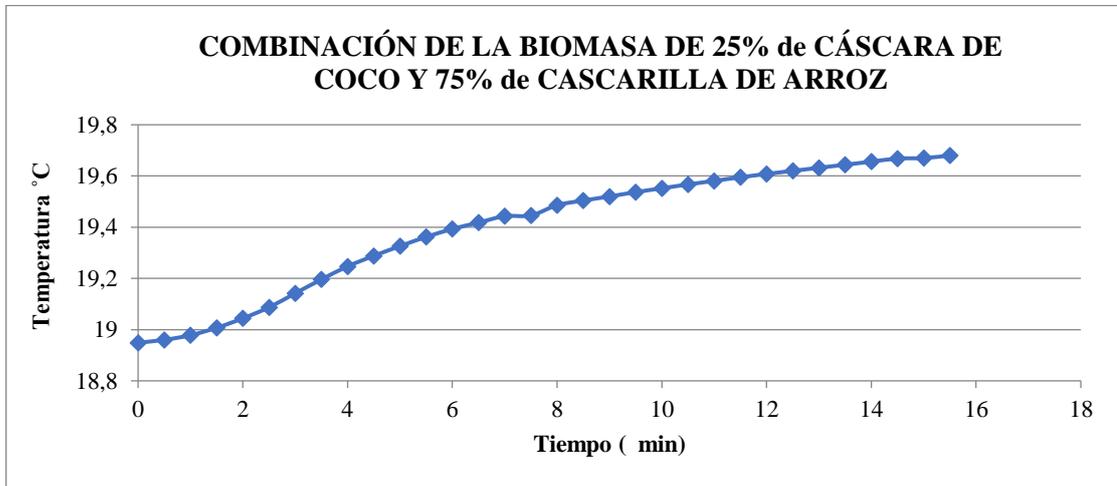


Ilustración 8-4: Variación de temperatura de 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz
Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la ilustración 8-4 en cuanto a la combinación de la biomasa de 25% de cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz se puede ver una correlación en la temperatura y el tiempo, en esta combinación hay un aumento notorio de la temperatura a lo que transcurre el tiempo, por ende, existe un aumento en su poder calorífico 24065,33875 J/g siendo una de las muestras también aptas para los próximos análisis para su combinación con nanocristales de celulosa.

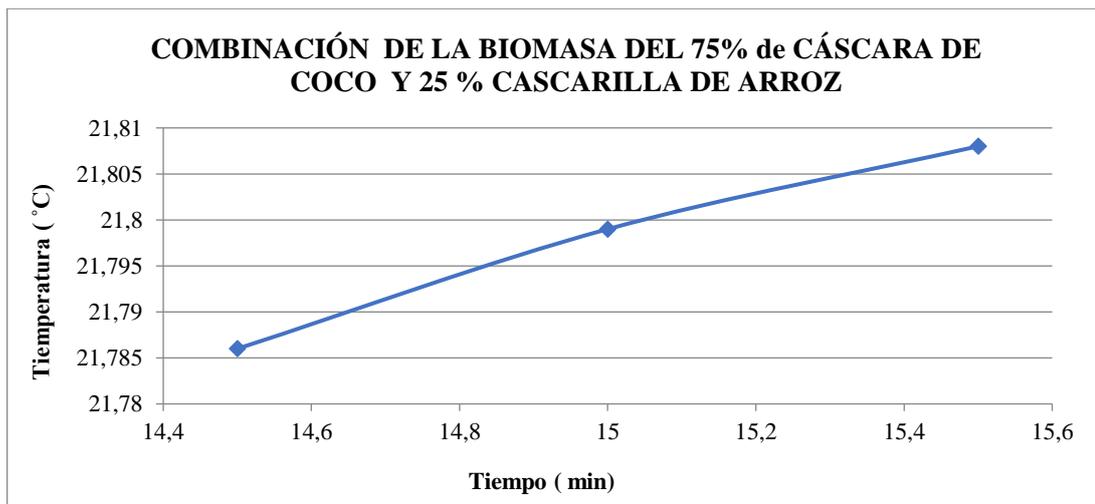


Ilustración 9-4: Variación de temperatura de 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla arroz
Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la ilustración 9-4 de la combinación de la biomasa del 75% de cáscara de coco y 25% de cascarilla de arroz en donde se puede evidenciar en la curva que la correlación es casi de una línea

recta debido a que podemos denotar que a lo que transcurre el tiempo la temperatura no aumenta considerablemente solo en pequeñas cantidades, por tal razón, el poder calorífico al momento de calcularla mediante la fórmula no aumenta en gran cantidad respecto a las otras muestras de biomazas esto puede deberse a diferentes factores como son: la humedad, cenizas, partículas orgánicas o la cantidad de nitrógeno y carbono.

De esta forma el análisis de esta biomasa no es la indicada y apta para ser mezclada en análisis posteriores con nanocristales de celulosa ya que su combustión no fue completa.

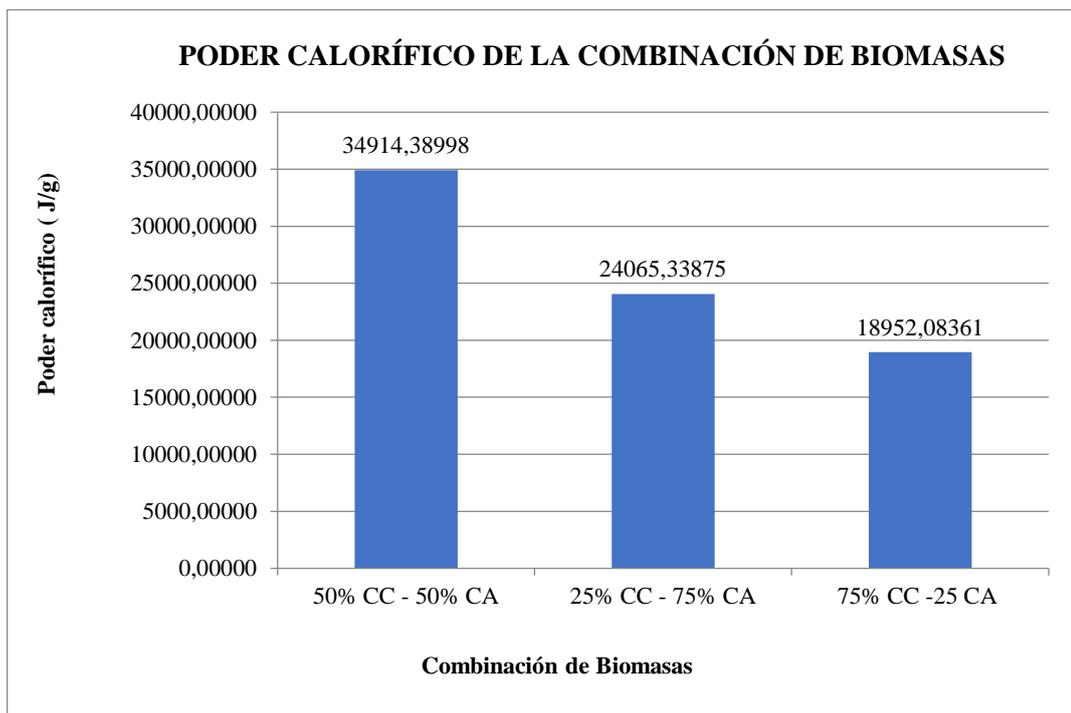


Ilustración 10-4: Poder calorífico de la combinación de las biomazas

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Para la determinación del poder calorífico se realizaron tres combinaciones de las biomazas en diferentes proporciones, obteniéndose los siguientes resultados como se denotan en la ilustración 10-4 en donde la muestra de (50% CC – 50% CA) obtuvo el mayor poder calorífico y en la mezcla donde la cascarilla se encuentra en mayor proporción (25% CC – 75% CA) igual su porcentaje fue alto, siendo estas formulaciones aptas para su aplicación en la elaboración de biocombustibles. Como se detalló en el diseño experimental se debe elegir la combinación que contenga el mayor poder calorífico, la misma que posteriormente será combinada con nanocristales de celulosa en diferentes proporciones para finalmente ser utilizada para la elaboración de briquetas y contribuir en la validación de la hipótesis planteada inicialmente.

4.2.4.3. Combinación de nanocristales de celulosa con la biomasa

Una vez seleccionada las mezclas de biomasa que se encuentran con mayor poder calorífico al realizar los análisis se procedió a realizar las distintas combinaciones que se demuestran a continuación en la tabla 20-4:

Tabla 20-4: Combinación de las biomasa con nanocristales de celulosa

Combinación	Muestra	$T_i(^{\circ}\text{C})$	$T_f(^{\circ}\text{C})$	Gramos (g)	P. Calorífico (J/g)
50% cascarilla arroz y 50% cáscara coco	95% biomasa y 5% nanocristales de celulosa	23,270	23,916	1	22746,30516
	85% biomasa y 15% nanocristales de celulosa	23,138	23,542	1	13282,2392
25% cáscara coco y 75% cascarilla de arroz	90% biomasa y 10% nanocristales de celulosa	23,169	23,630	1	15161,86206
	94% biomasa y 6% nanocristales de celulosa	23,710	23,819	1	21361,3199
	85% biomasa y 15% nanocristales de celulosa	23,588	24,111	1	17206,36411

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la tabla 20-4 se puede observar las dos formulaciones que fueron tomadas de las combinaciones de la tabla 19-4 en donde fueron 50% de cascarilla de arroz y 50% de cáscara de coco en la misma que se realizaron combinaciones con nanocristales de celulosa del 5%, 15% respectivamente. Por otro lado, en la formulación de 25% de cáscara de coco y 75% de cascarilla de arroz se ejecutaron combinaciones del 10%, 6% y 15% arrojándonos de la misma forma los poderes caloríficos que se pueden evidenciar en la tabla. No existen muchas investigaciones que apliquen la nanocelulosa de esta forma. Según Solis et al, (2018, pp.24-32), menciona en su trabajo con tema de: “Estudio del efecto de la adición de nanocelulosa obtenida del desecho del rastrojo de piña en mezclas para materiales de construcción” quienes mediante la reutilización de esta materia prima y su combinación con nanocelulosa buscaron ver no existieron cambios en su resistencia a la tensión en los materiales de construcción que creaban (cemento). En donde en todas las mezclas donde se adiciona cierta cantidad de celulosa se pudieron obtener valores que no variaron e incluso bajaron en cuanto a su resistencia a la tensión y a la compresión respecto a

la mezcla inicial de referencia. Respecto a nuestros resultados se pudo evidencia que asi mismo no existió aumento en su poder calorífico cuando se realizaron mezclas con nanocelulosa.

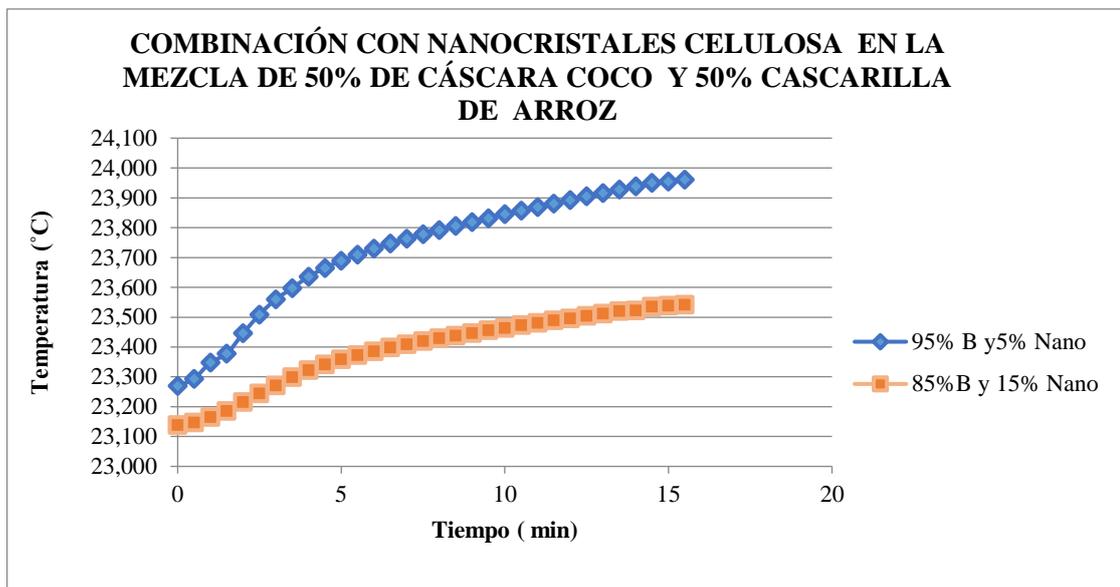


Ilustración 11-4: Comportamiento de biomasa con combinación de nanocristales de celulosa

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Como podemos denotar en la ilustración 11-4 se puede evidenciar en la curva de la combinación del 95% de biomasa de la mezcla del 50% de cáscara de coco y cascarilla de arroz es mezclada con el 5% de nanocristales de celulosa existe un poder calorífico bajo el mismo de 22746,30516 J/g respecto a la combinación solo de las biomásas, la temperatura no varía al transcurrir el tiempo, por otro lado la mezcla del 85% de biomasa y 15% de nanocristales obtuvo un poder calorífico 13282,2392 J/g. Podemos evidenciar que entre mayor cantidad los nanocristales se le agregue, su poder calorífico disminuye notoriamente.

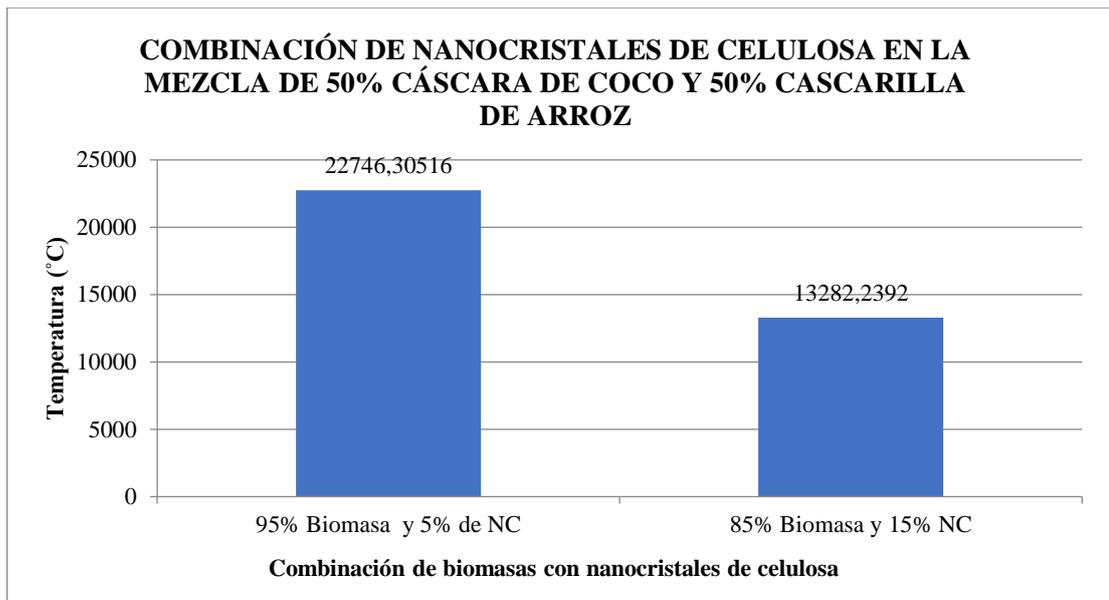


Ilustración 12-4: Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocrisales de celulosa

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Como se denota en la ilustración 12-4 nos proporciona datos son la combinación de las biomasa con nanocrisales de celulosa permitiendo denotar que no existe un aumento en el poder calorífico en ninguno de los ensayos de las diferentes pruebas, lo que se puede deducir es que al colocarse mayor cantidad de biomasa pudo ser uno de los problemas, o por sus características fisicoquímicas como la humedad y cenizas fueron altas lo cual son factores que afectan directamente el incremento del poder calorífico.

Al combinar las biomasa con distintos porcentajes de 5% y 15% de nanocrisales de celulosa y a medida que se le agrega más cantidad de lo mencionado anteriormente el poder calorífico disminuye desmesuradamente, deduciéndose de esta forma que los nanocrisales no es una buena opción para el aumento del poder calorífico en sólidos, por el contrario, produce una reacción negativa en la mezcla.

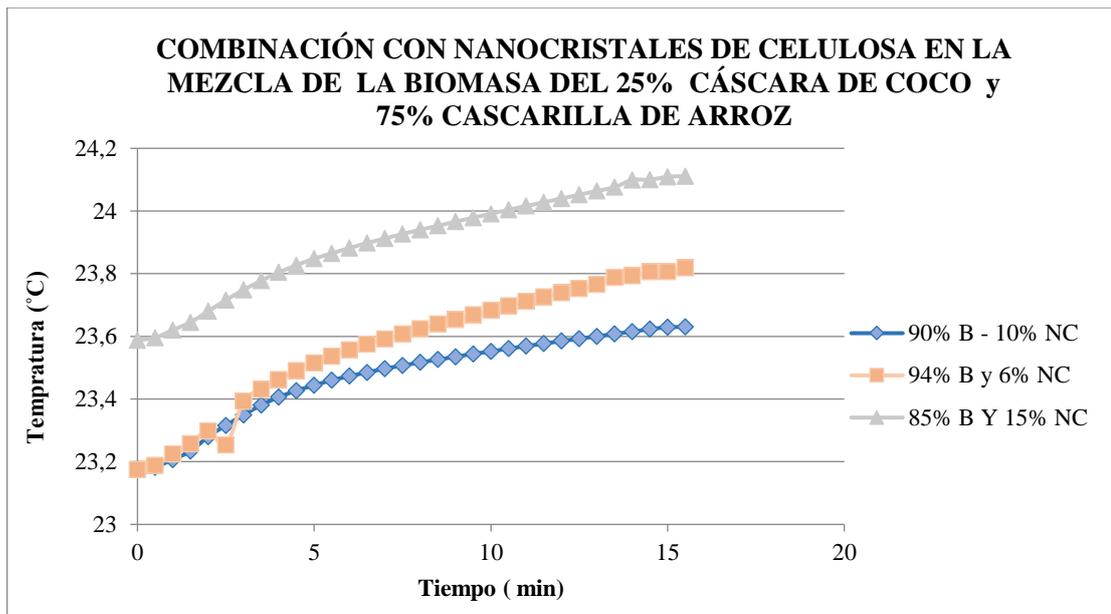


Ilustración 13-4: Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocristales de celulosa

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Como se puede denotar en la ilustración 13-4 se puede observar primero en la mezcla de 90% de biomasa y el 10% de nanocristales de celulosa de la combinación del 25% de la cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz que no existe un aumento en su temperatura a lo que transcurre el tiempo, lo mismo ocurre con la muestra del 94% de biomasa y 6% de nanocristales en donde su temperatura se encuentra en el intervalo del 23 °C y lo que va aumentando es mínimo y por último podemos evidenciar en la formulación del 85% de biomasa y 15% de nanocristales de celulosa que el aumento de su temperatura es mínima en los últimos minutos transcurridos.

De esta forma se concluye que la combinación con nanocristales de celulosa no benéfica en nada al aumento de su poder calorífico por el contrario lo disminuye, los cuales son de 15161,86206 J/g; 21361,3199 J/g y 17206,36411 J/g respectivamente. Concluyendo en la ilustración 13-4 y en la tabla 18-4 que entre más cantidad de nanocristales se le agregó el poder calorífico desciende significativamente.

Teniendo en cuenta estos análisis obtenidos, cuando se desea aplicar de manera industrial, es de vital importancia que no se mezcle a las biomásas con este tipo de nanomateriales debido a que producirán una reacción negativa en el poder calorífico de las formulaciones, siendo una desventaja para la combustión en la elaboración de briquetas. Al corroborar que cuando son utilizadas sin ser mezcladas y al ser combinadas con otras biomásas de residuos agroindustriales

se evidencia que aumenta sus poderes caloríficos en gran cantidad siendo beneficioso para su utilización.

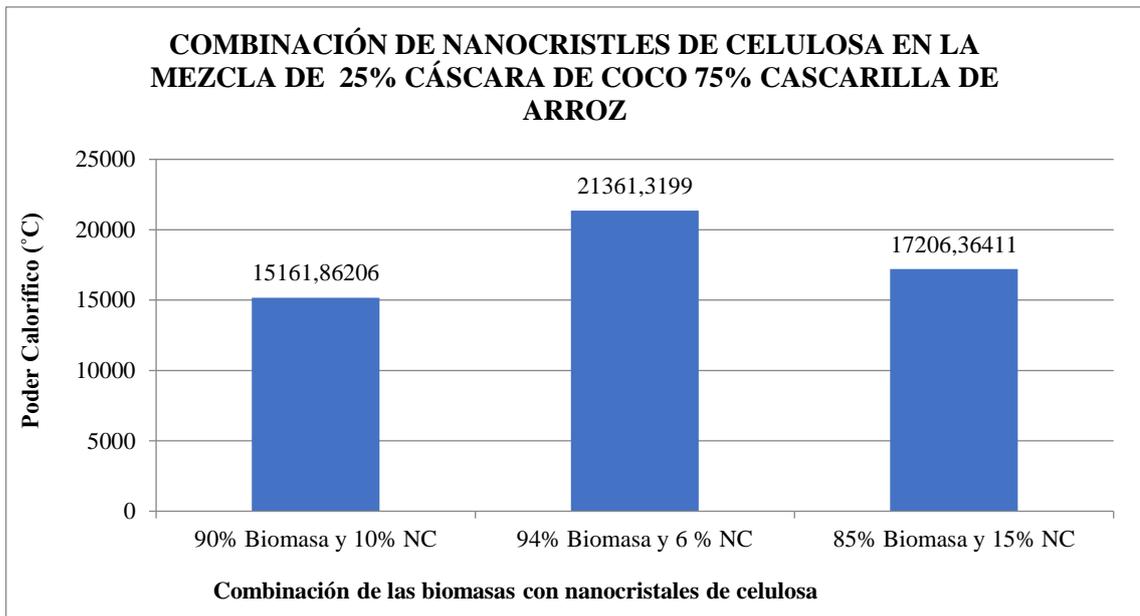


Ilustración 14-4: Comportamiento de la biomasa con la combinación de nanocrisales de celulosa

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la ilustración 14-4 se puede observar que la combinación de los nanocrisales de celulosa en cada una de las mezclas de biomasa en diferentes proporciones no favoreció en nada y tampoco permitió el aumento del poder calorífico de las biomásas por el contrario disminuyó el mismo, por tal razón no es una buena opción realizar este tipo de combinaciones con nanocrisales ya que afectan en el aumento del poder calorífico, disminuyendo el mismo. Siendo el aumento el poder calorífico un parámetro fundamental para la obtención de briquetas aptas para su uso.

4.2.5. Elaboración de briquetas de biomasa del 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz

Para la elaboración finalmente de las briquetas se utilizaron 2,5 kg de cascarilla de arroz y 2,5 kg que previamente fueron trituradas para disminuir el tamaño de las partículas de tal forma que se encuentre la biomasa totalmente uniforme.

4.2.5.1. Parámetros para la elaboración del engrudo óptimo

Se realizaron diferentes formulaciones tanto del aglutinante (almidón de yuca) para su mezcla con la biomasa para su posterior uso para la elaboración de las briquetas.

Tabla 21-4: Parámetros para obtención de engrudo óptimo

Formulación	Aglutinante		Características de la mezcla	Cumplimiento
	Agua (ml)	Almidón de yuca		
1	30%	70%	La masa no tenía una contextura adecuada, se encontraba quemada y la masa se adhería a los alrededores de la olla.	No cumple
2	50%	50%	La mezcla al estar en la misma proporción se secó y no poseía características de adhesión.	No cumple
3	70%	30%	La masa tenía un espesor adecuado y al tocarlo con los dedos se adhería, encontrándose óptima para ser mezclada.	Si cumple

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la tabla 21-4 se pueden evidenciar distintas formulaciones con diferentes porcentajes de mezclas de agua y el almidón de yuca, de tal forma que permita obtener una masa con las características adecuadas y la concentración óptima para una excelente compactación con la biomasa para la elaboración de las briquetas. Por otro lado, podemos evidenciar así mismo que de los diferentes ensayos realizados, las dos primeras pruebas no cumplieron con los requisitos para su uso, por tal razón, la tercera fue la correcta, debido a que cumplía con las características ideales para ser utilizado como engrudo en su combinación con la biomasa de cascarilla de arroz y cáscara de coco y permita una excelente compactación después de su prensado en prensadora hidráulica y finalmente su secado.

El engrudo se obtuvo con una viscosidad y espesor adecuada y que se adhería a la biomasa permitiendo una briqueta con una estructura sólida. El uso de un aglutinante (almidón de yuca) es de suma importancia ya que nos va a permitir obtener a las briquetas uniformes que no se degraden al momento de manipularlas.

4.2.5.2. Formulaciones para la obtención de briquetas óptimas

Tabla 22-4: Biomosas para la obtención de briquetas óptimas

Formulación	Masa de Briqueta		Presión (Bar)	T (°C)	Características de la mezcla	Cumplimiento
	Engrudo	Biomasa				
1	50%	50%	4	60	No tiene una contextura adhesiva y se rompen al manipularlas.	No cumple
2	30%	70%	6	80	Su textura era uniforme y sólida compacta totalmente.	Si cumple
3	60%	40%	7	80	Existía humedad en la briquetas y degradación de la misma.	No cumple

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

En la tabla 22-4 en los resultados obtenidos se realizaron distintos ensayos hasta encontrar la óptima para la elaboración de las briquetas, todos compactados a distintas presiones de (4, 6 y 7) Bar registrados mediante la prensa hidráulica, la misma que nos permitió obtener la presión estándar en la compactación. En la primera formulación de 50% engrudo y 50% biomasa no se obtuvo una compactación total ya que su presión era demasiado baja y en el proceso de secado a una temperatura de 60 °C se desmoronaban. Por otro lado, en la segunda combinación la misma a una presión de 6 Bar y a 80 °C se obtuvo una briketa con estructura sólida y homogénea además no se formaron grietas en ninguna de sus lados aptas para ser utilizadas. Finalmente, en la tercera formulación contenía más cantidad de engrudo y menos biomasa, conteniendo por ende gran cantidad de humedad, poca propiedad de adhesión se las llevó a una temperatura de 80 °C igualmente que la anterior pero sus propiedades no eran las óptimas.

Según Almache (2020), en su tesis con tema “Rediseño, construcción y automatización de una máquina para la fabricación de briquetas a partir de biomasa” ellos igualmente en la elaboración de briquetas de cascarilla de arroz igualmente como en nuestros resultados evidenciados en la tabla 22-4 aplicaron una presión de 6 Bar y 80 °C durante un tiempo de 300 segundos obteniéndose unas briquetas con propiedades físicas adecuadas en cuanto a su color, textura, adhesión y combustión.



Ilustración 15-4: Briquetas óptimas 6 Bar y 80 °C

Realizado por: Valeria, Jama, 2022.

Como se denota en la ilustración 15-4 las briquetas que obtuvieron de la prensadora industrial cuentan con propiedades físicas óptimas en cuanto a su textura ya que se encuentran uniformes y sólidas completamente con un olor agradable. Hay que tener en cuenta que para obtener unas adecuadas briquetas se deben considerar grandes magnitudes como la temperatura, la presión y su tiempo de secado y de compactación.

Determinándose de esta forma que la elaboración de estos biocombustibles biodegradables es una excelente opción para optimizar el uso masivo de los combustibles fósiles que además de los grandes costos que generan su uso, producen una gran contaminación en el ambiente, por tal razón es de suma importancia que en algún momento se tiendan aprovechar las biomásas y se reemplacen todos aquellos productos que produzcan daños en el ambiente.

4.3. Discusión de resultados

- **Porcentaje de humedad de los residuos agroindustriales**

Los resultados obtenidos de los análisis proximales que fueron realizados a los residuos agroindustriales demostraron que tanto para el porcentaje de cenizas y humedad, que la cascarilla de arroz arroja valores bajos de 12,80% a diferencia de la cáscara de coco. Por otro lado, lo que contrasta los resultados obtenidos por Fonseca et al., (2017, pp.29-36) en su trabajo titulado “Caracterización de residuo de maíz para la obtención de papel” proporcionó un porcentaje de humedad del 12,2%. Cabe mencionar que al contener valores menores del 50% los residuos se les puede dar aprovechamientos de combustión directa, pirólisis o procesos de gasificación. Tener en cuenta que si se contiene un porcentaje de humedad alto antes de su proceso de conversión energética es de suma importancia ejecutar operaciones adicionales de secado, siendo esto no

beneficioso ya que se incrementan los gastos para el aprovechamiento, por tal razón debe contener valores de humedad inferiores al 15% para una excelente combustión.

- **Porcentaje de contenido de cenizas de los residuos agroindustriales**

Respecto al contenido de cenizas fue de 4,537% de la cáscara de coco y el de menor valor el de la cascarilla de arroz con un porcentaje de 2,668%. Comparando con los estudios realizados por Gatani et al., (2015, pp.137-147) el valor de las cenizas en la cascarilla de arroz fue de 2,4%, cabe recalcar que el contenido de cenizas hace referencia a la cantidad de materia orgánica sólida no combustible que se encuentra presente en el material, si se contiene en los residuos agroindustriales cantidades altas, va a provocar que su poder calorífico disminuya, siendo parámetros fundamentales para su aumento.

- **Análisis elemental de carbono y nitrógeno de las biomásas de los residuos agroindustriales**

Los datos obtenidos en el análisis elemental de las biomásas de los residuos agroindustriales en cuanto su contenido de carbono y nitrógeno la cascarilla de arroz obtuvo valores de 41,873% y 1,391% respectivamente, la cáscara de coco por el contrario 30,574% y 0,899% de igual forma. En relación a la cantidad de carbono fijo que nos proporciona Williams et al, (2016, pp. 493-513) en su trabajo con tema “ Comparison of product from the pyrolysis and catalytic pyrolysis of rice husks” proporcionó valores de la cascarilla y el coco fueron de 40,10 % y 252,9% respectivamente, evidenciándose valores similares, la cantidad de carbono es un parámetro fundamental para una temperatura elevada y por ende un aumento en su poder calorífico en la conversión energética debido a que este es el combustible que se encuentra por lo general en mayor cantidad en las biomásas.

- **Síntesis de nanocristales de celulosa**

Para la síntesis de nanocristales de celulosa, se planteaba inicialmente realizarse mediante un método químico de hidrólisis ácida, pero debido a que los reactivos que se iban a utilizar para el proceso eran demasiado caros, la difícil adquisición y que no brindaban el rendimiento que se requería debido a que era demasiado bajo conllevando a grandes gastos, por lo tanto se procedió a llevar a cabo un método mecánico mediante el uso de un molino de bolas que permitió obtener los nanocristales de celulosa del tamaño que se necesitaba para su utilización. Por último, se realizó su caracterización para corroborar que se está trabajando con nanocristales utilizándose el microscopio electrónico de barrido el mismo que nos permitió evidenciar las imágenes en alta resolución de su composición física y química.

- **Combinación de las biomasas de los residuos agroindustriales**

Los resultados que fueron obtenidos en la combinación de las biomasas demostraron que son residuos que pueden ser buenos generadores de energía por su alto poder calorífico, cabe recalcar a dos combinaciones en especial la de 50% cáscara de coco-50% cascarilla de arroz y la de 25% cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz con poderes caloríficos de 34914,38998 J/g y 24065,33875 J/g respectivamente. Según et al, (2017) en su trabajo de titulación con tema “Evaluación de la biomasa residual agrícola de los cultivos de cáscara de papa y cáscara de maíz como recurso energético renovable en provincia de Tungurahua” en donde los poderes caloríficos al combinar ambos residuos la formulación que mayor poder calorífico obtuvo fue la de 75% de cáscara de maíz y 25% de cáscara de papá el mismo de 33514,37745 J/g teniendo valores similares a la de (50% CC y 50% CA), siendo las combinaciones fundamentales para la generación de energías biodegradables. Posteriormente se seleccionó a la formulación con mayor poder calorífico para su combinación con nanocristales.

- **Combinación de la biomasa con mayor poder calorífico combinada con nanocristales de celulosa**

Finalmente se tomó las formulaciones de 50% cascara de coco-50% cascarilla de arroz y la de 25% cáscara de coco y 75% cascarilla de arroz y se las combino con nanocristales de celulosa, pero su resultado se centró en la primera muestra para la elaboración de briquetas ya que contiene el poder calorífico mayor, seguido se realizó combinaciones del 5% y 15% en donde se puede evidenciar que entre más cantidad de nanocristales de celulosa que se agregue a las formulaciones su poder calorífico disminuye desconsiderablemente, siendo sus valores de 22746,30516 J/g y 13282,2392 J/g respectivamente. No existen muchas investigaciones que apliquen la nanocelulosa en compuestos sólidos.

Según Solis et al, (2018, pp.24-32), menciona en su trabajo con tema de: “Estudio del efecto de la adición de nanocelulosa obtenida del desecho del rastrojo de piña en mezclas para materiales de construcción” quienes mediante la reutilización de esta materia prima y su combinación con nanocelulosa no existieron cambios en su resistencia a la tensión en los materiales de construcción que creaban (cemento). En donde en todas las mezclas donde se adiciona cierta cantidad de celulosa se pudieron obtener valores que no variaron e incluso bajaron en cuanto a su resistencia a la tensión y a la compresión respecto a la mezcla inicial de referencia y su poder calorífico también disminuyó considerablemente.

Concluyéndose de esta forma que la aplicación de nanocristales a las muestras biomásas no beneficia en el aumento del poder calorífico, por el contrario, lo disminuye, por lo cual no es necesario su aplicación para la obtención de combustibles sólidos.

4.4. Comprobación de la hipótesis

4.4.1. Prueba de hipótesis general

Existe la posibilidad de poder obtener biocombustibles como las briquetas con características similares a los combustibles fósiles, en base a los residuos agroindustriales de la cascarilla de arroz y cáscara de arroz. Mediante la realización de una serie de ensayos que permitan caracterizar cada una de las biomásas de estudio y así mismo haciendo uso de la bomba calorimétrica para la determinación del poder calorífico.

4.4.1.1. Combinación residuos agroindustriales con nanocristales (50% CC y 50% CA)

La figura de distribución normal que se demuestra a continuación nos permite analizar la aceptación o rechazo de la hipótesis de estudio.

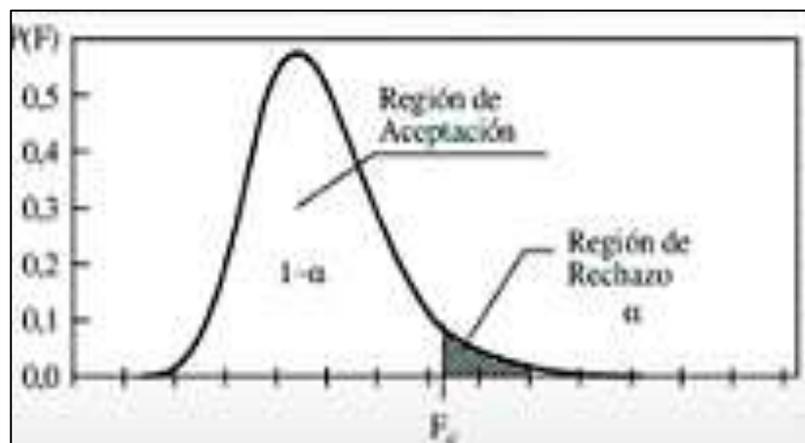


Ilustración 16-4: Gráfica de distribución normal

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

En la tabla 23-4 se puede observar el análisis de varianza realizado a la combinación con nanocristales en función de la biomasa de (50% CC y 50% CA). Estos análisis nos podrán permitir evidenciar si se acepta o rechaza la hipótesis.

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

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor Crítico
Entre grupos	1,804656391	1	1,80465639	63,0850749	4,97698E-11	3,99588713
Dentro de los grupos	1,773615969	62	0,02860671			
TOTAL	3,578272359	63				

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Tabla 24-4: Resumen del análisis estadístico de la varianza de un factor (ANOVA)

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (ANOVA)				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
95% B y 5% de NC	32	759,268	23,727125	0,04169844
85% B y 15% NC	32	748,521	23,3912813	0,01551498

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Como se demuestra en la tabla 23-4 y 24-4 se demuestra el análisis de varianza de las combinaciones de nanocristales con la mezcla de (50% CC y 50% CA) de biomasa, analizando la probabilidad que nos proporcionó el análisis respecto al nivel de confianza que en este caso fue del $\alpha = 0,05$. Al realizar la comparación con la ilustración 16-4 y denotamos que nuestro alfa es del 5% y por el contrario nuestro p/value es de 4,97698E-11 se determina que es demasiado bajo respecto al nivel de confianza podemos observar que cae en la región de rechazo de esta forma la hipótesis, es decir no aumentará el poder calorífico el uso de nanocristales de celulosa. Comparando con nuestros datos reales coinciden ya que ninguna de las muestras aumento el poder calorífico al agregarle nanocristales de celulosa, por el contrario, bajo desmesuradamente de los valores iniciales que se tenían solo combinando las biomásas.

4.4.1.2. Combinación de biomásas con nanocristales de celulosa (25% CC Y 75% CA)

La combinación de las biomásas (25% CC Y 75% CA) también fue tomada en cuenta para el análisis con nanocristales de celulosa, debido a que se quería corroborar cuál de los dos residuos tiene un mayor poder calorífico, que es lo que se desea lograr con el presente proyecto de investigación y la proporción (50% CC y 50% CA) fue la que obtuvo el poder calorífico más alto, pero era imposible distinguir este parámetro por lo que los dos residuos agroindustriales se

encontraban en la misma proporción. Se procedió a realizar el análisis estadístico con las mezclas de nanocristales para rechazar o aceptar la hipótesis inicialmente planteada.

Tabla 25-4: Análisis estadístico de varianza con un factor (ANOVA)

ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor Crítico
Entre grupos	3,2593909	2	1,62969545	57,2609377	6,18E-17	3,09433743
Dentro de los grupos	2,64685984	93	0,02846086			
TOTAL	5,90625074					

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Tabla 26-4: Resumen de los análisis estadísticos de la varianza de un factor (ANOVA)

RESUMEN DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR (ANOVA)				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
90% B y 10% NC	32	751,081	23,4712813	0,0193775
94% B Y 6% NC	32	754,228	23,569625	0,04002747
85% B Y 15% NC	32	764,862	23,9019375	0,02597761

Realizado por: Jama, Valeria, 2022.

Analizando el estadístico de prueba (F) que es de 57, 2609377 y el valor crítico de 3,09433743 llevando a la ilustración 16-4 y sabiendo que la distribución es de cola derecha y al denotar que el valor de F es mayor respecto al valor crítico automáticamente se rechaza la hipótesis.

Realizando las comparaciones con los datos reales a nivel experimental, se puede evidenciar que coinciden ya que al analizar su poder calorífico en la bomba calorimétrica cada una de las muestras de biomásas con nanocristales, se concluyó que los nanocristales no ayudan a el aumento del poder calorífico, por el contrario, lo que provocó es que el mismo disminuya de manera considerable. Esto puede ser causado porque quizás no se sintetizó como se requería los nanocristales o también por algún cambio en sus propiedades fisicoquímicas como la humedad o cenizas que produjo que se alteraron sus propiedades o en tal caso que la muestra no se combustiono completamente.

CONCLUSIONES

- Se determinó el poder calorífico de las biomásas de los residuos agroindustriales de cascarilla de arroz y cáscara de coco siendo estos de 33097,88921 J/g y 32482,82841 J/g respectivamente, posteriormente se formularon distintas combinaciones en diferentes proporciones con la finalidad de obtener la que posea mayor poder calorífico, la mezcla que favoreció el aumento del poder calorífico es la combinación de 50% CC y 50 CA% con 34914,38998 J/g, luego fueron sometidos a mezclarse con nanocristales de celulosa del 5% y 15% deduciéndose que la combinación con nanocristales de celulosa afecta negativamente y directamente en el poder calorífico, por tal razón para su aplicación industrial en la elaboración de briquetas no va a ser beneficiosa para la elaboración de las mismas.
- Se caracterizó la biomasa de la cascarilla de arroz y cáscara de coco mediante los análisis proximales, en donde se tomaron dos muestras de cáscara de coco y cascarilla de arroz tanto para los análisis de humedad y porcentaje de cenizas, obteniéndose humedades en un rango de (17-23)% y de cenizas entre (2-4)% siendo la cascarilla de arroz con niveles bajos de estos parámetros, es decir, las biomásas se encuentran en óptimas condiciones para su uso y conjuntamente con los análisis elementales de carbono que son altos, ayudara a obtener un poder calorífico elevado.
- Se sintetizó los nanocristales de celulosa, mediante método mecánico en donde para corroborar que se trabajaron con los mismos, se realizó un análisis de espectroscopia infrarrojo para evidenciar en que longitud de onda se encontraban los grupos funcionales presentes en la muestra y así mismo se realizó la caracterización mediante el microscopio electrónico de barrido (SEM) para evidenciar su estructura morfológica en donde se pudo observar que los nanocristales se encuentran en un promedio de aproximadamente 2,42 μm .
- Se evidenció el poder calorífico de la biomasa de residuos agroindustriales en donde se realizó primero ensayos con la combinación únicamente de biomasa, en donde la combinación de (50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz) resultó con el mayor poder calorífico el mismo de 34914,38998 J/g respectivamente, dichas muestras fueron tomadas de referencia y se realizó la mezcla con nanocristales de celulosa, en donde se puede evidenciar que al colocar las distintas proporciones del 5%, y 15%, en las diferentes combinaciones que entre más cantidad de nanocristales se agregaba, este parámetro iba en descenso. Por tal razón no es factible mezclar con nanocristales de celulosa las biomásas, debido a que es desfavorable para la implementación y elaboración de biocombustibles a nivel industrial.

- Se elaboraron briquetas de cáscara de coco y cascarilla de arroz con la mezcla de biomasa de 50% de cáscara de coco y 50% de cascarilla de arroz que mayor poder calorífico proporcionó, en donde se hizo uso de la maquina briquetadora, obteniéndose unos biocombustibles de calidad y con excelente propiedades fisicoquímicas aptas para su uso y reemplazo de los combustibles fósiles, lográndose una reducción masiva de la contaminación ambiental, por la biodegradabilidad de estos y por el aprovechamiento de los residuos agroindustriales que por lo general no tienen un destino final adecuado.

RECOMENDACIONES

- Es de vital importancia que se cuente con las propiedades fisicoquímicas como la humedad y cenizas adecuadas, de tal forma que no afecte la determinación del poder calorífico ya que son características claves para que exista un aumento notorio del mismo.
- Es recomendable que se realicen las combinaciones adecuadas y se pruebe con más ensayos para conseguir poderes caloríficos mayores, esto nos permitirá elegir el adecuado para la realización de biocombustibles fósiles.
- Las muestras de cáscara de coco y cascarilla de arroz deben ser previamente llevadas a un secador de bandejas para que la humedad reduzca en gran cantidad y sea beneficioso a la hora de determinar su poder calorífico.
- Se recomienda tener conocimiento del funcionamiento de los equipos utilizados ya que, si no se tiene el adecuado uso, pueden causar daños a los mismos que en algunos casos pueden resultar costosos.
- Es de vital importancia conseguir un proveedor que facilite la venta de cables de ignición para combustibles sólidos y líquidos, ya que no es fácil su obtención.
- Equipos necesarios para sintetizar los nanocristales de celulosa debido a que en la facultad no se encuentra con los necesarios para llevar a cabo su procedimiento, por la vía química no es la adecuada debido a que no se encuentran los reactivos con facilidad en el país
- Es importante que grupo de investigación GIMA continúe realizando investigaciones para la generación de nuevas fuentes de energías, ya que existen un sinnúmero de biomásas que no han sido tomadas en cuenta y sería novedoso realizar un respectivo estudio de las mismas.

GLOSARIO

Nanocristales: Se denominan a partículas nanoscópica que está contenida de una gran cantidad de millares de átomos los mismos que se encuentran colocados y dispuestos ordenadamente siguiendo la forma de una estructura cristalina (Almache et al., 2018, p.30).

Briquetas: Son considerados biocombustibles generalmente son de origen lignocelulósico en la mayoría de las ocasiones, se encuentra formado principalmente de la compactación de biomásas sólidas que son desechadas (en gran parte de residuos agroindustriales). Las fabricaciones de estos productos mediante biomasa permiten a elevar y a contribuir el desarrollo económico de los países en desarrollo ya que mediante bioenergías ayudan a satisfacer las demandas energéticas de forma ecológica (Castro et al., 2021, p.1).

Celulosa: Es un polímero de origen natural que se encuentran de manera general en la pared celular de los árboles, al ser visualizada en los microscopios tiene similitud con el cabello humano, así mismo tiene en su composición estructuras como base principal enlaces 1,4 β glucosídicos (Muñoz et al., 2021, p.2).

Biocombustible: Son biocarburantes como los alcoholes, ésteres y otros compuestos químicos que son provenientes de materia orgánica obtenida de los residuos agroindustriales o de plantas silvestres que son usados como sustituyentes en gran cantidad en la utilización de la gasolina, transporte o en la mayoría de las ocasiones para la producción de la electricidad (Salinas y Gasca., 2015, pp.74-76).

Cable de Ignición: Es un conductor que se encuentra altamente aislado que permite conducir en periodos demasados pequeños de tiempos altos niveles de potencia permitiendo que se lleve a cabo procesos de combustión (Muñoz et al., 2019, p.426).

Bomba calorimétrica: Es un equipo utilizado primordialmente para la determinación del poder calorífico de muestras de materia orgánica sólidas o líquidas estas a una temperatura y volumen constante para la medición de la combustión (Peralta et al., 2022, p.15).

Analito: Son especies químicas las cuales pueden ser identificadas y cuantificadas. Se encuentra relacionada estrechamente con el cálculo y determinación de la cantidad y concentración en los procesos de medición química (Nikiema et al., 2022, p.5).

Poder calorífico: Es un parámetro que permite determinar el contenido calórico en función de la cantidad de masa, así mismo permite obtener la energía que se encuentra en los residuos agroindustriales, en donde mediante la combustión completa de la muestra se puede obtener la cantidad de energía de la materia (J/Kg) (Lucas, A., 2016, p.5).

Lignocelulosa: Se refiere a la biomasa seca residual, residuos o subproductos obtenido principalmente de los cultivos cosechados y que seguidos han pasado por distintos procesos de modificaciones o procesamiento para su respectiva reutilización (Gañan et al., 2021, p.2).

Pirólisis: Este método está basado principalmente en la aplicación de calor en una notoria ausencia de oxígeno con el objetivo de que se dé la descomposición en fracciones más pequeñas en sus estructuras tanto físicas como químicas y así desprender energía en el ambiente, produciendo una reacción exotérmica (Taranco, 2020, pp.20-25).

BIBLIOGRAFÍA

ALMACHE VILLACÍS, Cristhian, Andrés. Rediseño, Construcción y Automatización de una Máquina para la Fabricación de Briquetas a partir de biomasa. (Trabajo de titulación). (Pregrado). [en línea]. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Riobamba Ecuador. 2020. [Consulta: 04 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/14309/1/15T00735.pdf>

BLANCO AYALA, Elizabeth, APARICIO ARIZA, Adriana Alexandra & GARCÍA SÁNCHEZ Carlos Eduardo. Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural, y de la estimación de sus incertidumbres. *Revista Scielo*. [en línea]. Bucaramanga: Vol. 29, no. 2, pp. 31-37. 2018. [consulta: 27 de abril de 2022]. ISSN 0120-100X. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2016000200087

CASTRO ACUÑA, Giovanni Andrés & REYES CUELLAR, Julia Contanza. Nanocristales para degradación de un colorante contaminante. *Revista Scielo*. [en línea]. Colombia: Vol. 45, no. 1, pp. 27- 37. 2016. [consulta: 12 de abril de 2022]. ISSN 0120-2804. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042016000100005

FERRARI, Luis. Energías fosiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. *Revista Redalyc*. [en línea]. México: Vol. 9, no. 2, pp. 36-43. 2013. [consulta: 27 de abril de 2022]. ISSN: 0035-001X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/570/57030971005.pdf>

GARCÍA BUSTAMANTE, Verónica, CARRILLO PARRA, Artemio, RUÍZ PRIETO José Ángel, RIVAS CORRAL, José Javier & HERNÁNDEZ DÍAZ José Ciro. Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Scielo*. [en línea]. México: Vol. 7, no. 38, pp. 71-78. 2016. [consulta: 19 de abril de 2022]. ISSN 2007-1132. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-1132)

GAÑAN, Piedad, ZULUAGA, Robin, CASTRO, RESTREPO-OSORIO, Adriana, VELÁSQUEZ COCK, Jorge, OSORIO, Marlon, Montoya, VÉLEZ, Lina, ÁLVAREZ, Catalina, CORREA, Carlos & MOLINA Carlos. Celulosa: Un polímero de siempre con mucho futuro. *Resergarchate* [en línea]. Colombia: Vol. 7, no. 38, pp. 1-04. 2017. [consulta: 26 de octubre de 2022]. ISSN 2256-1013. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319361290_Celulosa_un_polimero_de_siempre_con_mucho_futuro

GONZALÉZ QUINTERO, Julián Rodrigo & QUINTERO GONALÉZ, Laura Estefania. *Perspectivas del potencial energético de la biomasa en el marco global y latinoamericano.* *Revista Redalyc.* [en línea]. Colombia: Vol. 18, no. 1, pp. 179-188. 2015. [consulta: 24 de abril de 2022]. ISSN 0124-177X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1694/169439782011.pdf>

HERNÁNDEZ SARDIÑAS, Abel, GONZALÉZ MORALES, Víctor Manuel & FREIDE OROZCO, Luisa. Aprovechamiento de las posibles fuentes de biomasa para entregar más electricidad en la fábrica de azúcar antonio sánche. *Revista Scielo.* [en línea]. Cuba: Vol. 44, no.4, pp. 3-4. 2017. [consulta: 30 de abril de 2022]. ISSN 2223-4861. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000400009

HERGUEDAS, Ana Isabel, TARANCO, Carlos, GARCÍA Encarna & PRADO, Paniagua. *Biomasa, Biocombustible y Sostenibilidad.* [en línea]. 2020. ISBN: 978-84-931891-5-0. Disponible en: <http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%2C%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf> [consulta: 12 enero 2019].

LÓPEZ BOLIO, G., GONZÁLEZ VALADEZ, A., ANDREEVA, A. Whiskers de celulosa a partir de residuos agroindustriales de banano: Obtención y caracterización. *Revista Redalyc.* [en línea]. México: Vol. 10, no. 2, pp. 291-299. 2021. [consulta: 20 de abril de 2022]. ISSN 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62020825012>

MARADIAGA RÓDRIGUEZ, Walter Danielo, EVANGELISTA WAGNER, Adão, ALVES JÚNIOR, José & FERNANDEZ DA SILVA, Macksuel. Producción de briquetas con residuos de cáscara de piñon manso (*Jatropha curcas*) y bagazo de caña de azúcar. *Revista Scielo.* [en línea]. Brasil: Vol. 38, no. 3, pp. 71-78. 2017. [consulta: 19 de abril de 2022]. ISSN 1692-3561. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002017000300010

MORENO-ARIAS, Claudio Alberto, CHAMARRAVÍ-GUERRA, Oscar, NAVARRO-ÁRQUEZ, Eric-Fabién., & JIMÉNEZ-JIMÉNEZ, Miguel Fernando. Panorama internacional del uso de la borra de café como biocombustible sólido. Revisión de estudios a nivel mundial. *Gestión y Ambiente*, 24(2), 95261. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.95261>

MUÑOZ, Deyanira, CUATIN, Milton & PANTOJA, Álvaro. Potencial Energético de Residuos Agroindustriales del Departamento de Cauca, a partir del Poder Calorífico Inferior. *Revista Scielo*. [en línea]. Colombia: Vol. 11, no. 2, pp. 471-478. 2013. [consulta: 19 de abril de 2022]. ISSN 1692-3561. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200018

NIKIEMA, Josiane., ASAMOAH, Bernice., EGBLEWOGBE, Martin N.Y. H., AKOMEA-AGYIN, Jane, OLUFUNKE, Cofie, HUGHES, Allison Felix., GEBREYESUS, Garu, ASIEDU, Kerewaa Zipporah, & NJENGA, Mary. Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200095. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2022.200095>

OSWALD, Úrsula. Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México Seguridad, disponibilidad y sustentabilidad energética en México. *Revista Scielo*. [en línea]. México: Vol. 2, no. 230, pp. 34-37. 2017. [consulta: 27 de abril de 2022]. ISSN 0185-1918. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-19182017000200155

PERALTA HOLGUÍN, Wendy Elizabeeth & MEDINA SERRANO, Carlos Alcibar. El Papel de los Residuos Agrícolas en la Extracción de Nanocristales de Celulosa . *Revista Bases de la Ciencia*. [en línea]. Riobamba: Vol. 6, no. 2, pp. 57-74. 2021. [consulta: a 29 de abril de 2022]. ISSN 2588-0744. Disponible en: <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Basedelaciencia/article/view/3009/3806>

RAMÓN RAMÓN, Andrés Sergio, CÁRDENAS GUTIÉRREZ, Javier Alfonso & ROJA SUÁREZ, Jhan Piera. Poder calorífico de la cascarilla de arroz usada como combustible en hornos de secado. *Revista Dialnet*. [en línea]. Colombia: Vol. 8, no. 16, pp. 72-76. 2018. [consulta: 28 de abril de 2022]. ISSN 2216-0388. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6770917>

SÁNCHEZ, José María, SAN MIGUEL, Guillermo & VÁQUEZ, Jesús Ángel. Tecnología para el uso y transformación de biomasa energética. 4ª ed. España: 2015. Mundiprensa. ISBN 9788484766742

SALINAS CALLEJAS, Edmar, GASCA QUEZADA, Víctor. Los biocombustibles. *Revista Redalyc*. [en línea]. México: Vol. 8, no. 157, pp. 75-82. 2015. [consulta: 26 de octubre de 2022]. ISSN 0186-1840. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>.

TEJADA TOVAR, Candelaria. Uso de residuos agroindustriales de plátano (*Musa paradisiaca*) en la adsorción de Ni (II). *Revista Scielo*. [en línea]. Colombia: Vol. 2, no.103, pp. 138-151. 2022. [consulta: 30 de abril de 2022]. ISSN 2422-2844. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-62302022000200138&script=sci_abstract&tlng=es

TORRES LOZADA, Luz Karime. Evaluation of Nitrogen Mineralization in an Acid Soil with Inorganic and Organic Fertilization. *Revista Scielo*. [en línea]. Colombia: Vol. 26, no. 2, pp. 197-212. 2021. [consulta: 12 de abril de 2022]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121750X2021000200197&lng=en&nrm=iso

VARGAS CORREDOR, Yury Alexandra & PÉREZ PÉREZ, Liliana Ibetn. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. [en línea]. Colombia: Vol. 14, no. 1. pp. 59-72. 2018. [consulta: 29 de abril de 2022]. ISSN 1900-4 699. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/3108>

VARGAS, Frank & RAMÍREZ Yuleimy. Potencial de Energía Calorífica de los Residuos Sólidos Municipales para Reemplazar el Carbón Mineral. *Revista Dialnet*. [en línea]. Colombia: Vol. 14, no.2, pp. 23-26. 2014. [consulta: 23 de abril de 2022]. ISSN 1900-7388. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6382639>

VERA, Romero, JARAMILLO ESTRADA, Melitón, MARTÍNEZ REYES, José & ORTIZ SORIANO, Agustina. Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Revista ScientiaDirect*. [en línea]. México: Vol. XVI, no.3, pp. 471-478. 2015. [consulta: 29 de abril de 2022]. ISSN 1405-774. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S140577431500030X?token=0C6DFCF1B7F193A30DD4FC0229A99CE3D3DDF2579EB7B4B39A97863FFE86C7DC5492772BD64534EE9B7148F541556D02&originRegion=us-east-1&originCreation=20220502005054>

YEPES, Sandra Milena, MONTOYA NARANJO, Lina Johana & OROZCO SÁNCHEZ, Fernando. Valorización de Residuos Agroindustriales-Frutas-en Medellín y el Sur del Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Redalyc*. [en línea]. Colombia: Vol. 61, no.1, pp. 4422-4431. 2017. [consulta: 30 de abril de 2022]. ISSN 0304-2847. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914077018.pdf>



ANEXOS

ANEXO A: CARACTERIZACIÓN DE LAS BIOMASAS DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES



a.



b.



c.



d.

NOTAS:

- a. Caracterización de la materia prima
- b. Colocación en la mufla de las muestras.
- c. Muestras en el desecador
- d. Determinación de las cenizas

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Valeria Jama

CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA DE LOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES

LÁMINA	ESCALA	FECHA
01	1:10	20/05/2022

ANEXO B: PREPARACIÓN DE LAS BIOMASAS PARA LAS RESPECTIVAS COMBINACIONES



a.



b.



c.



d.

NOTAS:

a. Triturado de las biomazas.

b. Tamizado de las biomazas.

c. Muestras listas para su posterior análisis.

d. Sintetización de los nanocristales de celulosa.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

Aprobado Preliminar

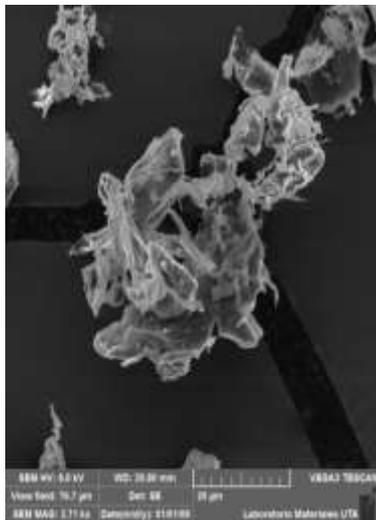
Certificado Por aprobar

Información Por calificar

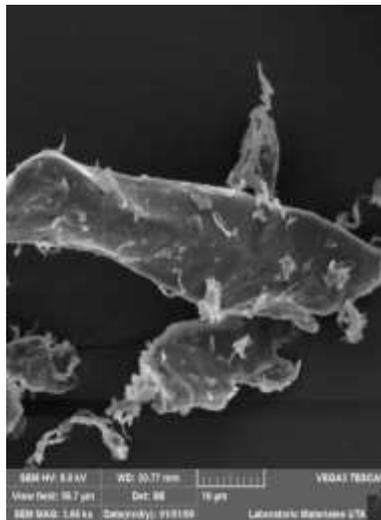
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Valeria Jama

PREPARACIÓN DE LAS BIOMASAS		
LÁMINA	ESCALA	FECHA
01	1:10	20/05/2022

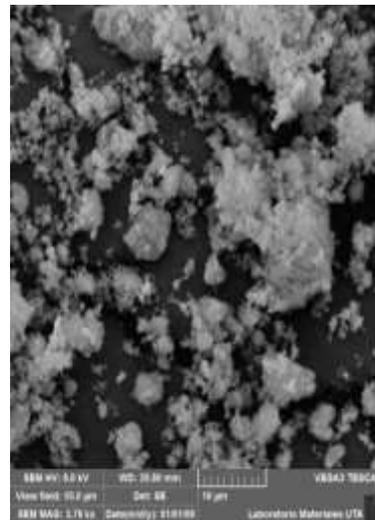
ANEXO C: CARACTERIZACIÓN DE LA CELULOSA Y LOS NANOCRISTALES DE CELULOSA



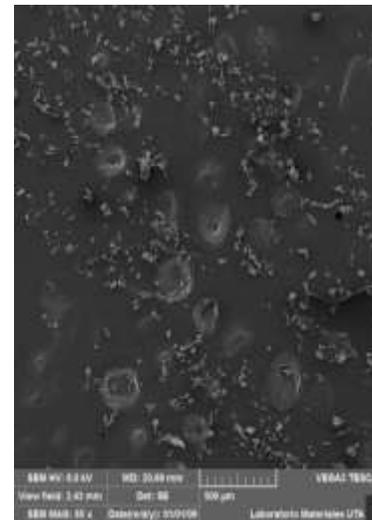
a.



b.



c.



d.

NOTAS:

- a.** Imagen en el microscopio de barrido de la celulosa.
- b.** Otra perspectiva en el SEM de celulosa.
- c.** Nanocristales de celulosa en el microscopio SEM.
- d.** Nanocristales de celulosa de otra perspectiva.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
REALIZADO POR:
Valeria Jama

CARACTERIZACIÓN DE LA CELULOSA Y
NANOCRISTALES DE CELULOSA

LÁMINA

ESCALA

FECHA

01

1:10

19/08/2021

ANEXO D: DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS BIOMASAS



a.



b.



c.



d.

NOTAS:
<p>a. Colocación de la muestra en la bomba.</p> <p>b. Cerrado correcto de la bomba calorimetría.</p> <p>c. Colocación del oxígeno.</p> <p>d. Lectura de las temperaturas a distintos tiempos.</p>

CATEGORIA DEL DIAGRAMA	
<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Preliminar
<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por aprobar
<input type="checkbox"/> Información	<input type="checkbox"/> Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 REALIZADO POR:
 Valeria Jama

DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LAS BIOMASAS		
LÁMINA	ESCALA	FECHA
01	1:10	20/08/2022

ANEXO E: PROCESO DE ELABORACIÓN DE BRIQUETAS DE CÁSCARA DE COCO Y CASCARILLA DE ARROZ



a.



b.



c.



d.

NOTAS:

- a.** Pesado de almidón de yuca.
- b.** Preparación de engrudo.
- c.** Mezcla de biomasa 50% cáscara de coco y 50% cascarilla de arroz.
- d.** Mezcla de biomasa con el aglutinante.

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

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

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**
REALIZADO POR:
Valeria Jama

ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

LÁMINA	ESCALA	FECHA
01	1:10	24/11/2022

ANEXO F: PROCESO DE ELABORACIÓN DE CASCARILLA DE ARROZ Y CÁSCARA DE COCO



a.



b.



c.



d.

NOTAS:		<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Valeria Jama</p>	ELABORACIÓN DE BRIQUETAS		
<p>a. Prensadora hidráulica. b. Colocación de la biomasa. c. Retiro de las briquetas del equipo. d. Briquetas de cáscara de coco y cascarilla de arroz a una presión de 6 Psi y 80 °C.</p>	<p>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por calificar</p>		LÁMINA	ESCALA	FECHA
			01	1:10	25/11/2022



esPOCH

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: Valeria Sulay Jama Guañuna
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniera Química
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0177-DBRA-UPT-2023