



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE
CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON
NANOCELULOSA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA:

MEDINA CABRERA ROSA ELIZABETH

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE
CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON
NANOCELULOSA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: MEDINA CABRERA ROSA ELIZABETH

DIRECTOR: Dr. ROBERT ALCIDES CAZAR RAMÍREZ, PhD.

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Rosa Elizabeth Medina Cabrera

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

Yo, ROSA ELIZABETH MEDINA CABRERA 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, 02 de diciembre de 2022

Rosa Elizabeth Medina Cabrera

C.I. 1106250465

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación. **DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA**, realizado por la señorita: **ROSA ELIZABETH MEDINA CABRERA** 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. Paul Gustavo Palmay Paredes, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	_____	2022-12-02
Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-12-02
Ing. Mabel Mariela Parada Rivera MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	_____	2022-12-02

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios por darme guía y fortaleza en el transcurso de mi vida para poder salir adelante con cada reto que me ha presentado. A mis amados padres Fanny de Jesús Cabrera y Wilton Medina porque me han enseñado grandes valores que me han convertido en la mujer de bien que hoy en día soy, además de demostrarme que con esfuerzo y dedicación puedo llegar a cumplir mis sueños. A mi hermana Lorena, por ayudarme económicamente y estar para mí durante mi carrera Universitaria y a todas las personas que estuvieron ahí para mí como mis con mis amigos que nunca me dejaron que me rindiera y me motivaron para terminar la carrera.

Rosa

AGRADECIMIENTO

A Dios por prestarme salud y sabiduría para enfrentar este gran reto. A mi familia, por creer en mi capacidad, darme ánimos, aconsejarme, apoyarme económica y emocionalmente en cada paso que he dado en mi vida. Y principalmente a mis padres por motivarme diariamente a nunca darme por vencida y ayudarme a levantar de cada caída.

A mi director de tesis, Dr. Robert Alcides Cazar Ramírez y a mi colaboradora Ing. Mabel Mariela Parada Rivera por haberme entregado parte de su valioso tiempo para el desarrollo del presente trabajo mediante sus asesorías y recomendaciones.

A los docentes y técnicos de laboratorio que han compartido sus conocimientos y experiencias para forjar de mí un gran profesional en la capacidad de servir a la sociedad y el país.

Al Grupo de Investigación de materiales avanzados de la Espoch (GIMA) por su apoyo en el desenvolvimiento de mi trabajo de integración curricular.

Finalmente agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera Ingeniería Química, por brindarme una educación de excelencia impartida por grandes docentes comprometidos con su labor.

Rosa

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
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.....	3
1.5.	Objetivos.....	4
1.5.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6.	Justificación.....	4
1.6.1.	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2.	<i>Justificación Metodológica</i>	5
1.6.3.	<i>Justificación Práctica</i>	6
1.7.	Hipótesis.....	6
1.7.1.	<i>Hipótesis General</i>	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.	Antecedentes de Investigación.....	7
2.2.	Referencias Teóricas.....	9
2.2.1.	<i>Biomasa</i>	9
2.2.2.	<i>Celulosa</i>	9

2.2.2.1.	<i>Tipos obtención de celulosa</i>	10
2.2.2.2.	<i>Derivados de la celulosa</i>	11
2.2.2.3.	<i>Tipos de derivados de celulosa</i>	12
2.2.3.	<i>Nanocelulosa</i>	13
2.2.3.1.	<i>Propiedades de la nanocelulosa</i>	14
2.2.3.2.	<i>Análisis comunes de para nanocelulosa</i>	14
2.2.4.	<i>Café</i>	15
2.2.4.1.	<i>Comercio mundial y producción de café</i>	16
2.2.4.2.	<i>Usos del café</i>	16
2.2.5.	<i>Plátano</i>	16
2.2.6.	<i>Biocombustible</i>	17
2.2.7.	<i>Biomasa</i>	17
2.2.7.1.	<i>Biomasa seca</i>	18
2.2.8.	<i>Poder calorífico</i>	18
2.2.8.1.	<i>Poder calorífico superior</i>	19
2.2.8.2.	<i>Poder Calorífico Inferior</i>	19
2.2.9.	<i>Características energéticas de la biomasa</i>	19
2.2.9.1.	<i>Composición química</i>	19
2.2.9.2.	<i>Contenido en humedad</i>	20
2.2.9.3.	<i>Porcentaje en cenizas</i>	20
2.2.9.4.	<i>Densidad aparente</i>	20
2.2.10.	<i>Briqueta</i>	20
2.2.10.1.	<i>Características de una briqueta</i>	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1.	Enfoque de Investigación	22
3.2.	Nivel de Investigación	22
3.3.	Diseño de Investigación	23
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	24
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	25
3.4.	Tipo de estudio	25
3.5.	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	25
3.5.1.	<i>Población y planificación</i>	25
3.5.2.	<i>Selección y cálculo del tamaño de la muestra</i>	26

3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	26
3.6.1.	Análisis para biomosas	26
3.6.1.1.	<i>Humedad</i>	27
3.6.1.2.	<i>Ceniza</i>	27
3.6.2.	Análisis químico elemental (carbono y nitrógeno)	28
3.6.3.	Síntesis de Nanocelulosa	29
3.6.3.1.	<i>Obtención de nanocelulosa – Síntesis</i>	29
3.6.3.2.	<i>Caracterización de nanocelulosa</i>	30
3.6.4.	Determinaciones del poder calorífico de los residuos agroindustriales	31
3.6.4.1.	<i>Preparación de la muestra</i>	31
3.6.4.2.	<i>Características energéticas poder calorífico</i>	31
3.6.5.	Elaboración de Briqueta	32

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	34
4.1.	Cálculos del análisis de los residuos	34
4.1.1.	Humedad en los residuos agroindustriales	34
4.1.1.1.	<i>Tallo de plátano</i>	34
4.1.1.2.	<i>Cáscara de café</i>	34
4.1.2.	Ceniza en los residuos agroindustriales	35
4.1.2.1.	<i>Tallo de plátano</i>	35
4.1.3.	Cálculo del análisis químico elemental de los residuos agroindustriales	35
4.1.4.	Interpretación de los resultados del análisis proximal y químico elemental	36
4.2.	Resultados de la caracterización de la Síntesis de la nanocelulosa	37
4.2.1.	<i>Análisis de la espectroscopia de infrarrojo de nanocelulosa</i>	37
4.2.2.	<i>Análisis en el microscopio de barrido SEM en la nanocelulosa</i>	38
4.3.	Cálculo del poder calorífico de los residuos agroindustriales	39
4.3.1.	<i>Calibración de la maquina calorífica</i>	39
4.3.2.	<i>Poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa</i>	40
4.3.3.	<i>Resultados del poder calorífico de cáscara de plátano y nanocelulosa</i>	41
4.4.	Poder calorífico de la combinación de biomosas sin nanocelulosa	43
4.4.1.	<i>Combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café</i>	43
4.4.2.	<i>Combinación del 25% de T. Plátano y el 75% de C. Café sin nanocelulosa</i>	44
4.4.3.	<i>Combinación del 50% de T. Plátano y el 50% de C. Café sin nanocelulosa</i>	46
4.4.4.	<i>Resultados del poder calorífico de las combinaciones biomosas sin nanocelulosa</i>	47

4.5.	Poder calorífico de la combinación con la nanocelulosa y la mezcla	50
4.5.1.	<i>Resultados del poder calorífico de la combinación con la nanocelulosa</i>	52
4.5.2.	<i>Interpretación del poder calorífico de los residuos con nanocelulosa</i>	52
4.5.3.	<i>Verificación de la combinación 50% de nanocelulosa con la mezcla</i>	54
4.5.4.	<i>Resultados del poder calorífico de la combinación 50% con nanocelulosa</i>	56
4.6.	Resultados de las briquetas	57
4.7.	Análisis estadístico	58
4.8.	Prueba de Hipótesis	58
4.9.	Discusión	59
CONCLUSIONES.....		60
RECOMENDACIONES.....		61
GLOSARIO		
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Artículos de los diferentes estudios para el proyecto de investigación.....	7
Tabla 2-2:	Composición de distintos árboles y plantas	10
Tabla 1-3:	Formulación de los residuos agroindustriales.....	24
Tabla 2-3:	Formulación de la mezcla de los residuos agroindustriales con nanocelulosa	24
Tabla 3-3:	Identificación de las Variables.....	25
Tabla 4-3:	Caracterización fisicoquímica Humedad	27
Tabla 5-3:	Caracterización fisicoquímica Cenizas	28
Tabla 6-3:	Metodología para análisis elemental de CHONS de los residuos agroindustriales	28
Tabla 7-3:	Síntesis de nanocelulosa	29
Tabla 8-3:	Metodología de la caracterización de nanocelulosa.....	30
Tabla 9-3:	Preparación de la muestra	31
Tabla 10-3:	Metodología de la caracterización energéticas poder calorífico	31
Tabla 11-3:	Proceso de obtención de briqueta.....	32
Tabla 1-4:	Análisis elemental de los residuos agroindustriales.....	35
Tabla 2-4:	Resultado de los análisis proximal y químico elemental	36
Tabla 3-4:	Resultados de la espectroscopia de infrarrojo de nanocelulosa	37
Tabla 4-4:	Variación de temperatura para calibración de equipo.....	39
Tabla 5-4:	Pesos de las muestras para los análisis del poder calorífico	40
Tabla 6-4:	Variación de temperatura de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa	40
Tabla 7-4:	Poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa.....	42
Tabla 8-4:	Combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café	43
Tabla 9-4:	Variación de T de la combinación del 75% del T. Plátano y 25% de la C. café..	43
Tabla 10-4:	Pesos para la combinación del 25% del T. Plátano y 75% de C. Café	45
Tabla 11-4:	Variación de T de la combinación del 75% del T. Plátano y 25% de C. Café.....	45
Tabla 12-4:	Pesos para la combinación del 50% del T. P y 50% de la C. C	46
Tabla 13-4:	Variación de T la combinación del 50% del T. Plátano y 50% de la C. Café.....	46
Tabla 14-4:	Resultado del poder calorífico de las combinaciones de los residuos.....	47
Tabla 15-4:	Pesos de las muestras en diferentes % con nanocelulosa.....	50
Tabla 16-4:	Variaciones de T de la nanocelulosa en diferentes %	50
Tabla 17-4:	Resultados del P.C de las muestras en diferentes % con nanocelulosa.....	52
Tabla 18-4:	Peso de las muestras al 50% con nanocelulosa.....	54
Tabla 19-4:	Variación de T de la muestra con 50 % con nanocelulosa.....	55

Tabla 20-4:	Resultados del poder calorífico de las muestras con 50 % con nanocelulosa.....	56
Tabla 21-4:	Resultados de las briquetas (parámetros).....	57
Tabla 22-4:	Resumen del análisis ANOVA de varianza de un factor	58
Tabla 23-4:	Resultados del análisis de varianza ANOVA de los residuos agroindustriales ...	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Estructura de la cadena de celulosa.....	9
Ilustración 2-2:	Celulosa.....	11
Ilustración 3-2:	Derivados de celulosa.....	11
Ilustración 4-2:	Configuración jerárquica de las fibras celulósicas	13
Ilustración 5-2:	Café	15
Ilustración 6-2:	Plátano.....	17
Ilustración 7-2:	Biomاسas para energía.....	18
Ilustración 1-3:	Caracterización de biomasa.....	23
Ilustración 1-4:	Comportamiento de nanocelulosa en la espectroscopia de infrarrojo	37
Ilustración 2-4:	Análisis SEM – Nanocelulosa.....	38
Ilustración 5-4:	Resultados de la variación de temperatura la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa.....	42
Ilustración 6-4:	Resultado del poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa	43
Ilustración 7-4:	Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café	48
Ilustración 8-4:	Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 25% del tallo de plátano y 75% de la cáscara de café	48
Ilustración 9-4:	Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 50% del tallo de plátano y 50% de la cáscara de café	49
Ilustración 10-4:	Resultado del poder calorífico de las combinaciones de 75%, 25% y 50% de los residuos.....	50
Ilustración 11-4:	Resultados de las variaciones de temperaturas de las muestras en diferentes % para los análisis del poder calorífico con nanocelulosa.....	53
Ilustración 12-4:	Resultados del poder calorífico de las muestras en diferentes % con nanocelulosa.....	54
Ilustración 13-4:	Resultado de las variaciones de temperaturas de las muestras con 50 % de la mezcla de residuos y 50% de nanocelulosa para los análisis del poder calorífico	56
Ilustración 14-4:	Briquetas de cáscara de café y tallo de plátano	57

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

ANEXO B: PESAJE DEL MATERIAL

ANEXO C: IDENTIFICCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

ANEXO D: OBTENCIÓN DE LA NANOCELULOSA

ANEXO E: ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

ANEXO F: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar el poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano, considerando la importancia de las biomásas como fuente de energía alternativa. Se analizó la composición de los residuos mediante diferentes análisis, donde se determinó la humedad, el porcentaje de ceniza, la cantidad de carbono y nitrógeno. Además, se observó el comportamiento de los residuos con la nanocelulosa que fue sintetizada y caracterizada mediante un análisis de espectroscopia de infrarrojo y un análisis (SEM) para comprobar el diámetro de la partícula. Para determinar el poder calorífico se utilizó el equipo GDY – 1A Oxygen Bomb Calorimeter (bomba calorimétrica), en el que se estableció el poder calórico de cada biomasa y la mezcla de estas en diferentes proporciones 25:75; 50:50; 75:25, siendo la formulación con mayor poder calorífico 42117.86 J/g, con 25% tallo de plátano y 75% de cáscara de café. Para incrementar el poder calorífico de los residuos agroindustriales se añadió nanocelulosa en proporciones 20%, 50% y 80%, la combinación de la nanocelulosa no fue eficientes debido a que con una proporción óptima se puede elevar el poder y, por ende, se realizaron las briquetas con la mezcla con mayor poder calorífico. Se concluye que el poder calorífico individual de la cáscara de café es mayor a la combinación con el tallo de plátano, pero es necesario la adición del tallo de plátano debido que ayuda a la compactación y dureza de las briquetas, evitando así la formación de grietas. Se recomienda realizar tres repeticiones de cada ensayo para un mayor análisis del poder calorífico de biomásas, también se debe efectuar un pretratamiento a la materia prima para evitar daños en los equipos.

Palabras claves: <PODER CALORÍFICO> <RESIDUOS AGROINDUSTRIALES>
< NANOCELULOSA> < CÁSCARA DE CAFÉ> <TALLO DE PLÁTANO> <BRIQUETAS>.

2448-DBRA-UPT-2022

ABSTRACT

The objective of this study consisted of determining the calorific value of the solid agroindustrial residues of coffee husk and banana stalk, considering the importance of the biomass as an alternative energy source. The composition of the residues was analyzed by means of different analyses, where the humidity, percentage of ash, amount of carbon and nitrogen were determined. In addition, the behavior of the residues was observed with the nanocellulose that was synthesized and characterized by infrared spectroscopy analysis and analysis (SEM) to check the particle diameter. To determine the calorific value, the GDY - 1A Oxygen Bomb Calorimeter equipment was used, in which the calorific value of each biomass and the mixture of these in different proportions 25:75; 50:50; 75:25 was established, the formulation being with the highest calorific value 42117.86 J/g, with 25% banana stalk and 75% coffee peel. In order to increase the calorific value of the agroindustrial residues, nanocellulose was added in the proportions of 20%, 50% and 80%, the combination of nanocellulose was not efficient because with an optimal proportion the power can be increased and, therefore, the briquettes were made with the mixture with the highest calorific value. It is concluded that the individual calorific value of the coffee husk is higher than the combination with the banana stalk, but the addition of the banana stalk is necessary because it helps to the compaction and hardness of the briquettes, thus avoiding the formation of cracks. It is recommended to perform three repetitions of each test for a better analysis of the calorific value of biomasses, also a pre-treatment of the raw material should be carried out to avoid damage to the equipment.

Key words: <CALORIFIC POWER> <AGROINDUSTRIAL WASTE>
<NANOCELLULOSE> <COFFEE SHELL> <PLATINUM STEM> <BRIQUETTES>.

Abg. Ana Gabriela Reinoso Espinosa MSc
CI. 1105696132

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial la energía se obtiene de diferentes fuentes renovables y no renovables. Una forma alternativa para generar energía limpia amigable con el medio ambiente es el uso de residuos agroindustriales. La proporción de biomasa en el Ecuador fluctúa entre 5 y 6% del total de las fuentes primarias de energía. Además, siendo Ecuador un país agrícola, existe un desaprovechamiento de los residuos orgánicos, ya que la gran mayoría se los utiliza como abonos naturales, lo cual tiene sus beneficios y sus perjuicios, porque esta materia orgánica al entrar en descomposición puede generar lixiviados que pueden ser ricos en metales y, a su vez, nocivos para los cultivos aledaños. La biomasa como potencial energético ha cobrado énfasis en la actualidad por lo que han desarrollado investigaciones sobre la biomasa y nanocelulosa. Esta investigación tiene como objetivo determinar los poderes caloríficos de los residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano combinados con nanocelulosa como alternativa de energías renovables en procesos de combustión.

Se han formulado diferentes mezclas de residuos agroindustriales y de nanocelulosa para analizar el comportamiento del poder calorífico en los residuos mezclados con nanocelulosa. Primero se empieza determinando el poder calorífico de los residuos, posteriormente se formulan mezclas en diferentes proporciones para obtener una mezcla estable, se elige la formulación que tiene mayor poder calorífico, para hacer una mezcla con nanocelulosa en diferentes proporciones. Para determinar el poder calorífico se utiliza el equipo GDY- 1A Oxygen Bomb Calorimeter.

Finalmente, como en toda investigación se intenta obtener resultados eficientes y aplicables a la industria, que darán un valor agregado a la agricultura ecuatoriana, como una fuente de energía alterna, contribuyendo a la remediación ambiental y mitigando el cambio climático que genera el consumo de combustibles de origen fósiles altamente contaminantes con el planeta.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

A nivel mundial la energía se obtiene de diferentes fuentes tales como el petróleo con un consumo de 34.3%, carbono 29.2%, el gas 22.8%, energía hidroeléctrica 6.7%, nuclear 4.6%, eólica 1.3%, geotermia-biomasa 0.9% y solar 0.4%. Como fuente de energía predominante, los combustibles fósiles representaron colectivamente un enorme 86,2% del consumo total de energía durante 2018, lo cual corresponde a aproximadamente 1,2 millones de TWh(Mendoza et al., 2020b).

La proporción de biomasa en el Ecuador fluctúa entre 5 y 6% del total de las fuentes primarias de energía. Se tiene un mayor uso energético de biomasa en los hogares, para cocción de alimentos en el sector rural, seguido por el calentamiento de agua, que a pesar de la alta tasa de penetración de energéticos como el GLP; aun una gran proporción de hogares (más del 77% en el área rural y del 11% en la urbana) continúan empleando la leña y otras formas de biomasa como fuente de energía (Mendoza et al., 2020, p.1).

Además, siendo Ecuador un país agrícola, existe un desaprovechamiento de los residuos orgánicos, ya que la gran mayoría los utiliza como abonos naturales, lo cual tiene sus beneficios y sus perjuicios, porque esta materia orgánica al entrar en descomposición puede generar lixiviados que pueden ser ricos en metales y, a su vez, nocivos para los cultivos aledaños. La biomasa como potencial energético cobra importancia en 1979 cuando la escasez de recursos naturales, la extracción irracional, los impactos ambientales y sociales estaban ampliamente afectados Muñoz et al., (2013, p.1). Las principales biomásas que el Ecuador cuenta provienen del banano, palmito, maíz, arroz, palma africana, cacao, piña, caña de azúcar, café y plátano, incluyendo los 3 residuos de las actividades pecuarias (porcino, vacuno y avícola). El uso de las biomásas representa una oportunidad para mejorar la seguridad energética al diversificar la combinación energética, optimizar la utilización de los recursos locales y aumentar los ingresos de los sectores forestal y agrícola (Bandara et al., 2022, p.1).

Bandara et al., (2022, p.1) indica en las investigaciones recientes existe un gran interés en explotar recursos de biomásas potenciales y subutilizadas para producir energía y otras aplicaciones de valor agregado. Al encontrar una biomasa con un alto poder calorífico o una combinación de esta con otro componente, podríamos llegar a tener como resultado un biocombustible en forma de briqueta.

Uno de los componentes que posee buenas propiedades mecánicas es la nanocelulosa y también conocida como el super material del futuro que con un bajo porcentaje podría generar un aumento de energía.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

- Para la obtención de la biomasa del café se tuvo que adquirir de otra provincia debido que en esa zona no se da el café en gran producción.
- Poca información del poder calorífico de los residuos y la combinación de este con otro componente, debido a que el poder calorífico está determinado por cada tipo de residuo y no por la combinación con otro componente.
- Información ilimitada del estudio de la nanocelulosa y la combinación con biomasa.

1.2.2. Delimitaciones

- Investigar residuos agroindustriales con alto poder calorífico.
- Encontrar una formulación con mayor eficiencia para la combinación los residuos agroindustriales con nanocelulosa para la obtención de una biomasa.

1.3. Problema General de Investigación

¿La combinación de nanocelulosa con la biomasa generada con los residuos de la cascara de café y del tallo de plátano permitirá el aumento de su poder calorífico?

1.4. Problemas Específicos de Investigación

¿Con la aplicación análisis proximal de los residuos agroindustriales se podrá determinar los porcentajes de carbono, oxígeno y nitrógeno y si son productos altamente combustibles?

¿La síntesis de nanocelulosa y su combinación con los residuos sólidos servirá para aumentar su poder calorífico?

¿Con la obtención de biomásas enriquecidas con nanocelulosa se elaboran briquetas que sirvan como fuentes de energía?

¿La combinación de biomásas de la cascara de café y el tallo de plátano generará mayor poder calorífico que otras biomásas de residuos sólidos agroindustriales?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar el poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano combinados con nanocelulosa como alternativa de energías renovables en procesos de combustión.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Identificar la biomasa de la cáscara de café y del tallo de plátano por medio de análisis proximal.
- Caracterizar la nanocelulosa para la combinación con la biomasa sólida de cáscara de café y tallo de plátano.
- Comparar el poder calorífico obtenida de la biomasa de la cáscara de café y del tallo de plátano con otras biomásas de residuos sólidos agroindustriales.
- Elaborar briquetas a partir de los residuos sólidos agroindustriales con la combinación de biomasa con alto poder calorífico.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación Teórica

Actualmente los países se han visto en la necesidad de cambiar su matriz energética para hallar una solución a los problemas relacionados con el agotamiento de los recursos de combustibles convencionales y las preocupaciones ambientales. Los recursos renovables son los principales medios para obtener una energía sustentable, además, son alternativas de energías ecológicas, renovables, económicas y sostenibles Saleem, (2022, p.1). Los productos agrícolas en los campos generan residuos, que pueden ser utilizados como biomasa para crear una energía renovable y que a su vez se puedan fabricar varios productos de alto valor con bajo impacto ambiental(Thakur, 2015, p.1). En contexto se tiene que la biomasa y celulosa son alternativas prometedoras para la generación de una energía limpia y renovable en cuanto a su abundante disponibilidad a partir de diversos recursos(Trache et al., 2020, p.1).

El Ecuador es un país generador de biomasa por excelencia, debido a su creciente economía agrícola, disponiendo de una gran cantidad de recursos forestales y pecuarios de cuyos desechos

se pueden producir una energía limpia y renovable, siendo también uno de los países con mayor consumo energético, ocupando el cuarto lugar en América Latina (Balseca, 2018, p.1). Se han llevado diferentes investigaciones de los residuos generados en el país, una de las investigaciones con más relevancia fue el estudio de la Biomasa de banano como potencial energético en la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, obteniendo un resultado de celulosa 40,69% y de lignina 21,98% y así logrando un potencial energético de 49,97 GWh/año, el cual se puede utilizar como fuente alternativa de energía (Aguilar, 2019, p.1).

Por ello la presente investigación persigue la determinación del poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano combinados con nanocelulosa como alternativa de energías renovables en procesos de combustión, el cual es parte del PROYECTO DE INVESTIGACION (Analizar materiales y nanomateriales para aplicaciones energéticas y medio ambientales), formado por el Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA) de la ESPOCH.

1.6.2. Justificación Metodológica

La combinación de nanocelulosa y biomásas agroindustriales representa una alternativa energética renovable en los procesos de combustión. Al utilizar esta combinación se debe realizar una síntesis de nanocelulosa, determinar las propiedades fisicoquímicas y a través de la bomba calorimétrica calcular el poder calorífico. Con ello se identificará qué tan eficiente es para las aplicaciones energéticas (fabricación de briquetas).

Wang et al., (2021) utiliza el método de la bomba calorimétrica para determinar el poder calorífico, en donde se toma muestra de la materia prima utilizando una pistola de muestreo. Luego, la muestra se recolecta en un crisol de metal colocado debajo de la pistola de muestreo y se pesa con una balanza de precisión, con una precisión de 0,1 mg. Además, un brazo mecánico se coloca un crisol que contenga la muestra en el calorímetro de flujo, con láser de onda continua de alta potencia para encender la muestra de carbón.

Se obtuvo el oxígeno con una pureza del 99,5% y un caudal de 1,5 m³/h se introduce continuamente en la cámara a un caudal fijo para asegurar la combustión completa, se quema la materia prima a presión atmosférica y el calor liberado en el aparato calorimétrico será sustraído por el flujo forzado de oxígeno y disipado al ambiente a través de la pared. Finalmente, se empleará una pistola de aire para limpiar la cámara de combustión del calorímetro de flujo y el crisol.

Además, este método para determinar el poder calorífico es usualmente utilizado para residuos líquidos, por lo que este trabajo de investigación pretende determinar el poder calorífico con residuos sólidos.

1.6.3. Justificación Práctica

El presente proyecto de investigación beneficiara al Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA) de la ESPOCH, los cuales tiene como proyecto investigativo “Analizar materiales y nanomateriales para aplicaciones energéticas y medio ambientales”. Además, la información recolectada permitirá determinar si el poder calorífico de los residuos agroindustriales combinados con nanocelulosa, podrán ser una alternativa de energía renovables en procesos de combustión.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

Al añadir nanocelulosa en los residuos agroindustriales se conseguirá un aumento en el poder calorífico.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Investigación

Con el aumento de la demanda de energía, el constante incremento del precio de los combustibles fósiles y la necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero, se han investigado diferentes alternativas las cuales sean renovables y sostenibles con el medio ambiente. Las biomásas pueden desempeñar el papel de combustible alternativo, reduciendo en parte la huella ambiental y disminuyendo las emisiones de CO₂ y también estas no emiten contaminantes sulfurados o nitrogenados (causantes de la lluvia ácida) por lo cual ayudan a evitar la erosión y la degradación del suelo(Lucas, 2016, p.1)

Además, se podría generar beneficios a la economía del país, dado que el Ecuador es un país agrícola. Las biomásas están formadas por materia orgánica (celulósica o lignocelulósica), estas están disponible en forma renovable o de forma recurrente; incluidos cultivos energéticos, árboles, madera, residuos de madera, plantas, alimentos agrícolas, residuos de cultivos forrajeros, fibra vegetal, plantas acuáticas, desechos animales, residuos industriales y residuos municipales(Gavrilescu, 2018, p.1).

La briqueta es una fuente de energía que se puede producir a partir de residuos agrícolas e industriales. El uso de briquetas es sostenible, ecológico, saludable y no depende de combustibles fósiles Obeng et al., (2020, p.1). Por lo tanto, existe la necesidad de producir briquetas a bajo costo, con un alto potencial energético para poder reemplazar por la leña. Las briquetas de biomasa no aumentan las huellas de carbono y son muy ventajosas sobre otros combustibles para cocinar como la madera en términos de cantidad de calor generado, contenido de humedad y espacio de almacenamiento. Deepak K B & Jnanesh, (2016, p.2) concluyeron que la utilización adecuada de las briquetas ayudaría a reducir los impactos del cambio climático, a través de la reducción de la dependencia excesiva de la madera para la calefacción doméstica y comercial. Una investigación realizada por Akolgo et al., (2021, p.4), evaluó las propiedades fisicoquímicas de las briquetas de carbón vegetal producidas en Ghana y también estableció la demanda de los usuarios potenciales y su disposición a sustituir el carbón vegetal y la leña por briquetas de carbón vegetal. Okot et al., (2019) también realizó trabajos de investigación similares y llegaron a las mismas conclusiones (Akolgo et al., 2021, p.12).

Tabla 1-2: Artículos de los diferentes estudios para el proyecto de investigación.

Fecha	Tema	Autor
2021	Panorama internacional del uso de la borra de café como biocombustible sólido. Revisión de estudios a nivel mundial (Moreno, A. et al., 2021, p.2)	Moreno, Alberto Chamarraví, Oscar Navarro, Eric
2018	Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil (Ferreira et al., 2018, p.2)	Ferreira L Otto R Silva F Souza S
2016	BIOMASA, BIOCOMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD (Lucas, 2016, p.3)	Lucas, A Taranco, C
2018	Environmental Engineering and Management Journal (Gavrilescu, 2018)	Gavrilescu, María
2018	Optimal use of condensed parameters of ultimate analysis to predict the calorific value of biomass(Ozyuguran et al., 2018, p.2)	Ozyuguran, Ayse Akturk, Aysen Yaman, Serdar
2019	Life cycle greenhouse gas benefits or burdens of residual biomass from landscape management (Pfau et al., 2019).	Pfau, Swinda Hanssen, Steef Straatsma, Menno Koopman, Remon Leuven, Rob Huijbregts, Mark
2022	Oil palm-based nanocellulose for a sustainable future: Where are we now?(Lim et al., 2022, p.3)	Lim, Hong Cheng, Wai Tan, Khang

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

2.2. Referencias Teóricas

2.2.1. Biomasa

Las biomásas son material vegetal, en donde se incluye los materiales de desecho, cosechado o recolectado de tierras agrícolas, presentan un alto contenido de carbono orgánico. Es una de las energías alternativas y es una las únicas fuentes de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y sostenible. Esto ocurre cuando el consumo del recurso se hace más lentamente que la capacidad de la Tierra para regenerarse. De esta manera, la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂ del que libera en su combustión, sin incrementar la concentración de este gas (Lucas, 2016, p.4).

2.2.2. Celulosa

La celulosa es un compuesto orgánico natural que está unida a paquetes conectados por enlaces de hidrógeno, además es un homopolímero lineal constituido por unidades de β-glucosa unidas entre sí por enlaces 1-4 Fengel & Sjöström, (2015, p.14). Es uno de los materiales más abundante que contiene propiedades mecánicas y funcionalidad superficial. Cuenta con propiedades fisicoquímicas: el índice o grado de polimerización, la cristalinidad y la porosidad. Para la obtención de celulosa se le aplica por dos diferentes métodos químico y mecánico (Ruiz y Tagle, 2018,pp. 1-2).

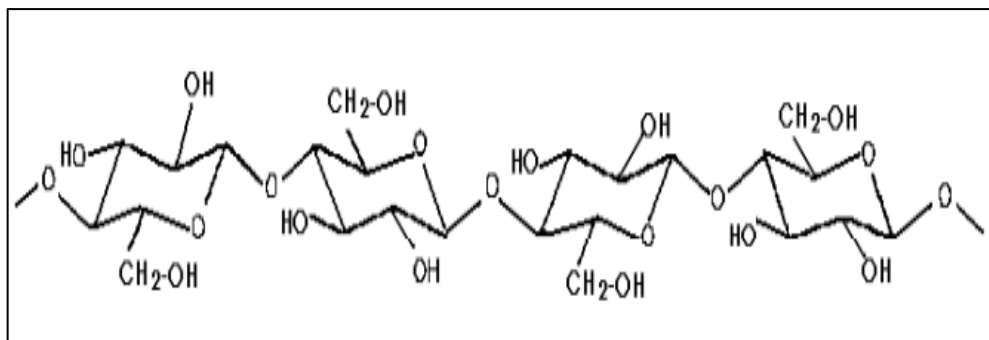


Ilustración 1-2: Estructura de la cadena de celulosa

Fuente: Ruiz y Tagle, 2018, p.2.

Tabla 2-2: Composición de distintos árboles y plantas

	Celulosa	Pentosanos	Hemicelulosa	Lignina	Ceniza	Sílice
Pinos	40-50	4-14	15-34	26-34	1	Trazas
Otros árboles	38-51	9-28	21-17	16-30	1	Trazas
Bagazo de caña de azúcar	32-44	27-32		19-24	2-5	1,5-2
Bambú	26-43	15-26		21-31	2-5	1,5-2,5
Pelusa de algodón	80-85			3-4	1-2	
Paja de trigo	28-36	23-28	25	12-16	15-20	12-18
Paja de arroz	29-40	26-32	26	7-21	4-11	4-7

Fuentes: Ruiz y Tagle, 2018, p.1.

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

2.2.2.1. Tipos obtención de celulosa

La celulosa a recibe diferentes denominaciones, dependiendo del proceso que se utilice

- **Celulosa química:** Se obtiene a partir de un proceso de cocción química, la des lignificación se lleva a cabo con la ayuda de agentes químicos ácidos o básicos, en reactores a altas presiones y temperaturas.
- **Mecánica:** Es una mezcla de celulosa y lignina, que tiene como finalidad la disgregación y separación física de las fibras.
- **Quimo-termo-mecánica:** Se utiliza una combinación de los 2 procesos anteriores, donde se combina la acción hidrolítica de radicales ácidos con procesos de descompresión brusca que provocan la rotura de la estructura del lignocelulósico y se obtiene una celulosa de forma de una pasta (tiene un alto porcentaje de agua). También posee un contenido importante de lignina (Francisco y Tagle, 2018, p.9).

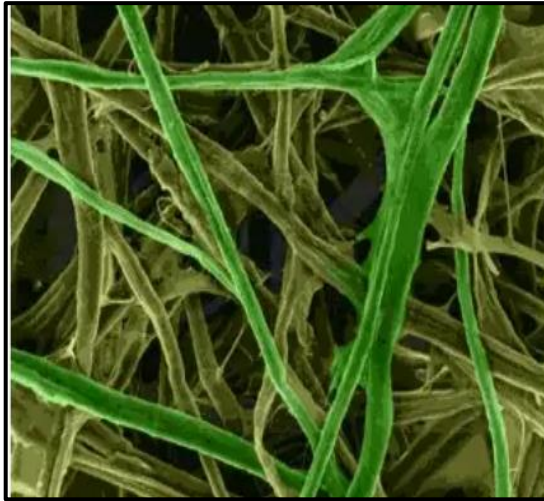


Ilustración 2-2: Celulosa

Fuente: Ruiz y Tagle, 2018, p.8.

2.2.2.2. Derivados de la celulosa

El uso de materiales lignocelulósicos está asociado en gran medida a la producción de madera, residuos para aplicaciones papeleras y energéticas. Dado que con la variedad de fracciones poliméricas que se pueden aislar de diferentes maneras. Cabe destacar la lignocelulosa es el principal derivador de la celulosa, que se la utiliza dentro de la industrias cosmética, farmacéutica, alimentaria y textil, así como en la para la fabricación de acetatos, pinturas, envases o ceras.

La celulosa cumple con diferentes funciones como: 1) componente de tabletas (aglutinantes, rellenos, etc.); 2) reguladores de viscosidad en preparados formulaciones semisólidas y en suspensión (cremas, geles, lociones, suspensiones, champús (Fengel y Sjöström, 2015, p.33).

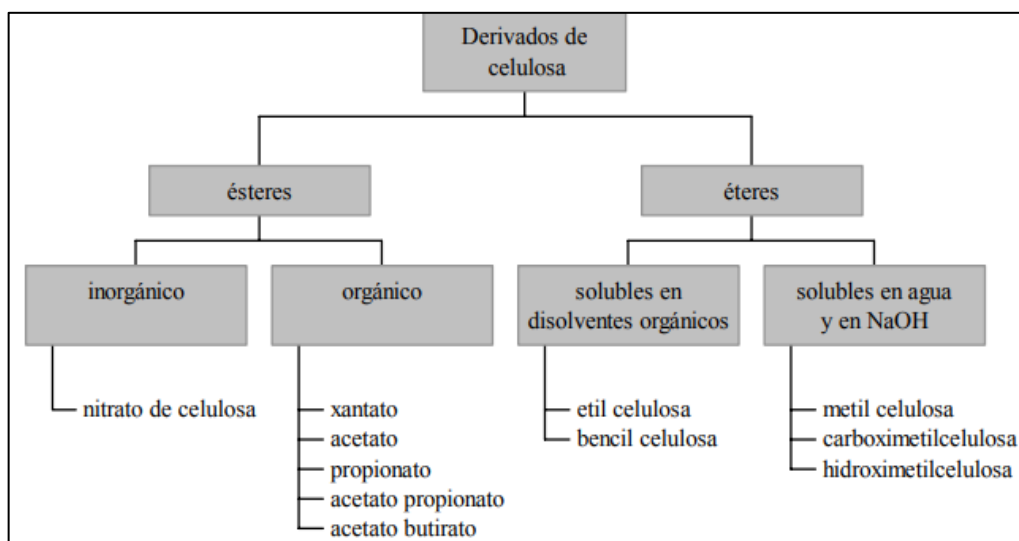


Ilustración 3-2: Derivados de celulosa

Fuente: Fengel y Sjöström, 2015, p.33.

2.2.2.3. Tipos de derivados de celulosa

Dependiendo de dónde esté presente la celulosa, se pueden identificar tres tipos básicos de celulosa:

- **Bacteriana:** La celulosa bacteriana se define como sacáridos de glucosa obtenidos de la descomposición enzimática o digestiva de las bacterias composteras dentro de la materia orgánica.
- **Liognocelulosa:** Es el tipo de celulosa que está presente en la biomasa, considerando que la celulosa de este tipo es simplemente la que forma parte de las paredes y estructuras celulares del tipo vegetal y cumple una función de soporte.
- **Artificial:** Se contempla cualquier tipo de cadena de celulosa lineal o ramificada obtenida mediante un proceso de separación o combinación de cadenas lineales de glucosa para crear cualquier tipo de fibra. Además, se estima que la celulosa artificial está sujeta a cambios en su composición porcentual en peso y, por lo tanto, en sus propiedades físicas, por lo que es posible que el producto resultante sea blanquecino o amarillento cuando se obtiene en el laboratorio. Dependencia del tratamiento básico de la metodología experimental, sin embargo, se sabe que la celulosa natural es incolora.
- La principal finalidad por la que se obtiene la celulosa es la fabricación de cualquier tipo de papel o cartón, ya que es la principal materia prima de esta industria. Por otra parte, el análisis de la celulosa ha permitido mezclar derivados sintéticos en los que la fracción de celulosa es mayor, con los siguientes usos:
 - **Celulosa regenerada:** Este tipo de celulosa se conoce como regenerada ya que las fibras de las cadenas de celulosa se reorientan, para obtener un tipo de fibra llamada rayón, muy popular en la industria textil. Cuando las reacciones tienen lugar en bisulfuro de carbono, la celulosa extraída se coagula en láminas que se convierten en papel similar al celofán.
 - **Acetatos:** Derivados de los acetatos de celulosa, en su mayoría con cadenas sustituidas al menos tres veces por el grupo acetato. La hidrólisis de las moléculas de glucosa contenidas en las paredes celulares permite producir hilos que pueden laminarse con las soluciones para aplicar en pinturas, película fotográfica, rayos X y fibras sintéticas.
 - **Nitrocelulosa:** La celulosa separada forma una solución con ácido nítrico concentrado para producir diferentes grados de nitración. Cuando la solución alcanza su relación equimolar, es posible obtener una consistencia casi gelatinosa, dando como resultado diferentes tipos de plásticos con diferentes grados de dureza y espesor. Ya en el proceso de formación, debido a los diferentes valores de nitración, es posible obtener pólvora o derivados con un alto grado de explosión.

- Metilcelulosa, carboximetilcelulosa y dietilaminoetilcelulosa: Son derivados de la celulosa obtenidos por un tratamiento básico en altas concentraciones de hidróxido de sodio y los correspondientes radicales halogenados. Las soluciones coloidales de alta viscosidad se pueden obtener a partir de soluciones dispersas en agua; en la producción industrial, sin embargo, estos compuestos forman intercambiadores de cationes o aniones (Fengel y Sjöström, 2015, p.35).

2.2.3. Nanocelulosa

Proviene de la celulosa que se biosintetiza de las diferentes plantas y forma fibras parcialmente cristalinas, es uno de los polímeros naturales más importantes. Los materiales celulósicos con al menos una dimensión en el rango nanométrico se denominan nanocelulosa. En general, dependiendo de las características morfológicas, funciones y métodos de preparación (principalmente dependiendo de la fuente y las condiciones de procesamiento de los materiales de celulosa), la nanocelulosa se divide en tres categorías: nanocristales de celulosa (CNC), nanofibrillas de celulosa (CNF) y nanocelulosa bacteriana (BC) (Li et al., 2022).

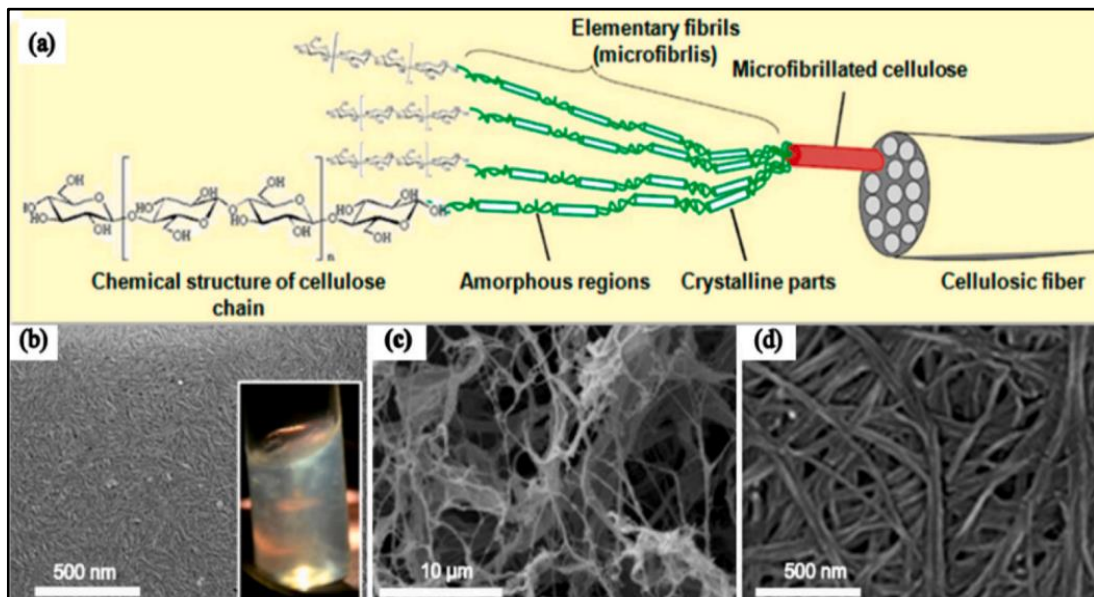


Ilustración 4-2: Configuración jerárquica de las fibras celulósicas

Fuente: Li et al., 2022, p.2.

Los CNC y CNF se obtienen mediante un enfoque de arriba hacia abajo que consiste en la desintegración de la materia vegetal mediante un tratamiento químico o mecánico. El cizallamiento mecánico o la hidrólisis ácida primero debilitarán y destruirán las regiones con la menor cristalización para producir la nanocelulosa esperada. Los CNC son bigotes de alta pureza con forma de varilla y tienen una gran rigidez porque las regiones amorfas se eliminan en gran

medida mediante hidrólisis ácida. Los CNF generalmente se producen - extraen mediante procesos de desintegración mecánica, como la delaminación de fibras lignocelulósicas antes y/o después del tratamiento enzimático o químico. Los CNF, que tienen anchos en el rango de nanómetros y longitudes de hasta varios micrómetros, se forman durante la biosíntesis de celulosa (Li et al., 2022, p.2).

2.2.3.1. Propiedades de la nanocelulosa

La nanocelulosa se considera uno de los nanomateriales más importantes, que posee una estructura, morfología y propiedades únicas:

- Alta resistencia
- Rigidez
- Baja densidad
- Buena química capacidad de modificación
- Biodegradabilidad
- Conducto eléctrico
- No tóxico
- La forma cristalina
- Su obtención es rentable
- Es muy absorbente

Lo que permite su uso en varios campos, como refuerzo, empaque, remediación ambiental, detección de detección, biomedicina, aerogeles magnéticos porosos, sustratos de visualización, fotocatalisis, tratamiento de agua, fabricación sustratos de sensores flexibles, producción de papel, pintura, cartón, agentes antibacterianos y otros (Bacha, 2022, pp. 16-20).

2.2.3.2. Análisis comunes de para nanocelulosa

- Espectroscopía de infrarrojos (FTIR)

La espectroscopía de infrarrojos en la transformada de Fourier (FTIR), es un análisis basado en la absorción específica de la radiación infrarroja por parte de las moléculas, permitiendo la identificación de los grupos funcionales que la componen. Para que se produzca la absorción por parte de las moléculas, el vector eléctrico de la radiación incidente debe oscilar con la misma frecuencia que el momento dipolar molecular. Cuando las moléculas se exponen a la radiación infrarroja las moléculas absorben selectivamente la radiación de longitudes de onda específicas que causa el cambio del momento dipolar de las moléculas de la muestra. En consecuencia, los

niveles de energía vibracional de las moléculas de la muestra se transfieren del estado fundamental al estado excitado. El número de picos de absorción está relacionado con el número de libertad vibracional de la molécula, así como la intensidad de estos picos se asocia con el cambio del momento dipolar, y la posibilidad de la transición de los niveles de energía.

2.2.4. Café

El café es uno de los géneros más producidos en el Ecuador, 20 de las 22 provincias del país lo cultivan, según ANECAFE, la demanda nacional en el 2019 fue de 2.200.000 sacos de 60 kg, que se repartieron de la siguiente manera: 1.200.000 sacos para la industria de café soluble; 800.000 sacos para los exportadores de café en grano y 200.000 sacos, para abastecer el consumo interno (Café, 2021, p.5).

El cafeto tiene frutos rojos del tamaño de pequeñas cerezas. Dentro está la semilla de café, los granos del cafeto miden alrededor de 1 centímetro. Cuando se extraen los granos de la planta, son de color marrón claro y se vuelven de color marrón oscuro después del proceso de tostado. La producción de café genera varios subproductos como la pulpa, mucílago y el pergamino o cascarilla. Como la pulpa y el mucílago son eliminados por medio del agua de lavado, el pergamino o cascarilla es un subproducto que ocupa gran volumen y es una fuente importante de materia orgánica, por lo que es muy atractivo como sustrato para la producción de biomasa (Café, 2021, p.5).



Ilustración 5-2: Café

Fuente: Pérez et al., 2016, p.31.

2.2.4.1. Comercio mundial y producción de café

El café en el mundo se produce en 70 países, de los cuales sólo 45 controlan el 97% de la producción mundial. Hay muchos países donde la exportación de café es la principal fuente de producción interna bruta. Los países que más café producen y exportan son: Burundi 59%, Etiopía 33%, Ruanda 27%, Honduras 20%, Uganda 18%, Nicaragua 17%, Guatemala 12%, El Salvador 9%, Colombia 7% y Tanzania 5% (Pérez et al., 2016, pp.30-32).

2.2.4.2. Usos del café

El café no solo se ha convertido en una rica infusión para degustar y/o adoptar con otras bebidas. También se utiliza hoy en día para varios propósitos: como color para pinturas decorativas, jabón exfoliante; ya que los granos de café molidos permiten eliminar las células muertas de la piel y finalmente se usa para quitar manchas en muebles de madera (Pérez et al., 2016, p. 148).

2.2.5. Plátano

Es el cuarto cultivo más importante en el mundo ya que es uno de los productos básicos en el hogar, además es uno de los productos que más se exporta, generando numerosos ingresos y el desarrollo de los países. Es una gran planta perenne, que se cultiva en sectores tropicales (Manrique y Rivera, 2012, p.3)..

La planta de plátano posee tallos subterráneos de los que brotan hojas cuyas vainas envolventes forman el pseudotallo, en el que crece un eje llamado floral. Los tallos subterráneos también se denominan tubérculos, rizomas, bulbos o tubérculos.

Cada bulbo suele producir un pseudotallo en el eje floral y uno o más botones producen otros tubérculos para los que se forma un penacho de crecimiento radial (es decir en todas direcciones), porque estos tubérculos hijos a su vez producen pseudotallos o brotes de diferentes tamaños o edades, que a su vez van floreciendo y cuando desaparece el pseudotallo padre. Algunos de los retoños no están bien conectados con el arbusto, donde pueden morir o formar otra planta independiente (Sabio et al., 2015, p.6).

Dado que el plátano es uno de los cultivos que más se produce y el cual genera demasiados residuos, por ende, muchas investigaciones pretenden manejar adecuadamente a los residuos agroindustriales y utilizarlos para el desarrollo de bioprocesos en los que intervienen de manera de sustratos para la producción de ácido orgánico, etanol, metanol, enzima y otros subproductos de los residuos (Granda et al., 2015, p.14).

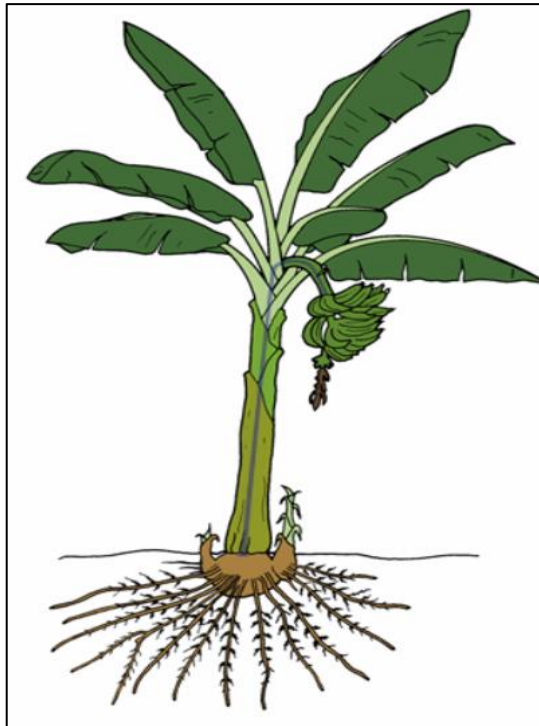


Ilustración 6-2: Plátano

Fuente: Granda et al., 2015, p.13.

2.2.6. *Biocombustible*

Los biocombustibles han demostrado su conveniencia para la humanidad de varias maneras, especialmente en el transporte, el encendido de motores en las industrias y la generación de energía. El estallido de la revolución industrial que orquestó el continuo crecimiento de la economía mundial y una alta matriz energética ha puesto de relieve este recurso natural y no renovable. Debido a la alta demanda de combustibles fósiles ha llevado a su insostenibilidad, producción del efecto invernadero, emisión de gases, producción de sustancias tóxicas durante la degradación y aumento de CO₂ en la atmósfera (Akinwumi et al., 2022, p. 2). Los biocombustibles se tienen a partir de la biomasa vegetal y los productos refinados que a través de diferentes procesos se puede obtener un biocombustible sostenible y viable para el medio ambiente (Ruan et al., 2019, p.3).

2.2.7. *Biomasa*

Las biomásas son material vegetal, en donde se incluye los materiales de desecho, cosechado o recolectado de tierras agrícolas, presentan un alto contenido de carbono orgánico. Es una de las energías alternativas y es una de las únicas fuentes de energía que aporta un balance de CO₂ favorable, siempre y cuando la obtención de la biomasa se realice de una forma renovable y

sostenible. Teniendo que la materia orgánica es capaz de retener durante su crecimiento más CO₂, del que libera en su combustión (Lucas, A., 2016, p.4).

Actualmente las biomazas se considera una alternativa fiable, sostenible y a su vez puede aliviar la enorme presión sobre la energía y el medio ambiente en la sociedad actual. Según las estadísticas, la producción mundial de biomasa es de 104 900 millones de toneladas de carbono al año y representan el 9,4 % del suministro mundial de energía y el 10 % de la materia prima química (Yu et al., 2022, p.2).

2.2.7.1. Biomasa seca

La biomasa seca se puede obtener de forma natural con un contenido de humedad inferior al 60%, como leña, pajilla, etc. Este tipo de biomazas es más adecuado para uso energético por medio de los procesos TERMOQUÍMICOS, que generan directamente energía térmica o productos derivados en forma de combustibles sólidos, líquidos y a su vez gaseosos (Renovables, 2016, p.2).

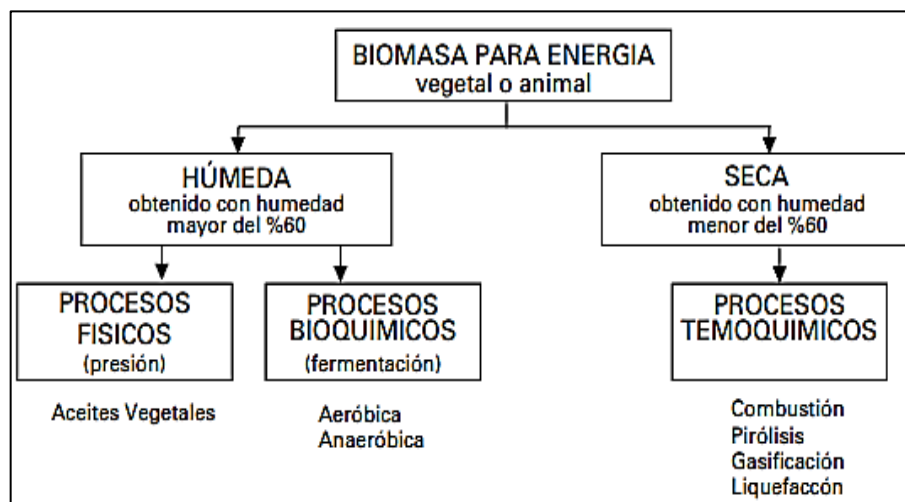


Ilustración 7-2: Biomazas para energía

Fuente: Aguilar, 2016, p.3.

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

2.2.8. Poder calorífico

El parámetro más utilizado para comparar combustibles alternativos es el poder calorífico. Este contenido calórico es el que se mide por unidad de masa es el cual determina la energía disponible en los residuos, donde se tiene la cantidad de energía que contiene la materia (J/Kg). Se determina la energía cuando la biomasa entra en calor y esta se quema por completo (Lucas, A., 2016, p.5).

Cuanto mayor sea el poder calorífico, mayor será el calor liberado por el carbón, lo que resultará en una mayor generación de vapor, lo que contribuirá a aumentar la generación de energía. El

valor calorífico de los residuos o combustibles sólidos posee un proceso intensivo en costos, ya que requiere instrumentación espacial. El equipo que se utiliza para estos análisis es la bomba calorimétrica que ayuda a medir la temperatura de combustión de las muestras (Balachandar et al., 2021, p.2).

2.2.8.1. Poder calorífico superior

Alto Poder Calorífico (PCS), viene dado por la suma de la energía liberada en forma de calor y la energía gastada en la vaporización del agua que es formado en una reacción de combustión.

$$\text{PCS} = \text{E liberado} + \text{Evaporación}$$

El poder calorífico superior presupone que todos elementos de combustión (combustible y aire) y la resultante productos (gases después de la combustión) están a 0 ° C, por lo que el vapor de agua se condensa por completo (Aula y Berardino, 2018, p.4).

2.2.8.2. Poder Calorífico Inferior

Conocido por sus siglas (PCI), expresa la energía liberada (E) en forma de calor de oxidación del combustible.

$$\text{PC} = \text{E} 1$$

Se supone que el vapor de agua contenido en la chimenea gases no se condensa y por lo tanto no incluye el calor derivado de su condensación. Expresa únicamente el calor de oxidación del combustible. Además, para combustibles que no contengan Hidrógeno en su composición, el valor de P.C.S es el mismo que el de P.C.I porque no hay formación de agua y no hay energía gastada en su vaporización (Aula y Berardino, 2018, p.4).

2.2.9. Características energéticas de la biomasa

Para conocer las características energéticas de la biomasa se deben considerar ciertos parámetros y condiciones como:

2.2.9.1. Composición química

Cada una de las diferentes biomasa están formadas por una parte orgánica, inorgánica y agua. Durante el proceso de combustión, la parte orgánica se quema y la parte inorgánica es la que influye en el proceso de combustión, formando así la ceniza (residuo sólido). Para conocer la composición química de la biomasa original se puede hacer análisis de algunos elementos importantes; carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y además en algunos casos cloro si es que se

requiere. También las biomásas contienen oxígeno, pero este no se puede determinar directamente, sino que se lo puede calcular a partir de la diferencia que existe entre el peso total y la suma de las cenizas (Lucas, A., 2016).

2.2.9.2. Contenido en humedad

Se la conoce también con el nombre de humedad relativa, es la relación que existe entre la masa de agua en kilogramos con la de materia seca o residuo. Esta puede medirse en base seca o también en base húmeda (Lucas, A., 2016).

Para obtener la humedad se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$h = \frac{Ph - Po}{Po} \qquad H = \frac{Ph - Po}{Ph}$$

Mientras menor sea el contenido de humedad, mejor será el valor del poder calorífico y el proceso de combustión, ya que primero se evaporar el agua. Por lo cual se tiene que la humedad debe estar en un rango inferiores al 30% y si tiene mayor a eso se tiene que implementar operaciones de secado y acondicionamiento previo al proceso (Lucas, A., 2016).

2.2.9.3. Porcentaje en cenizas

Es la cantidad de materia sólida, la cual no combustionar y esta puede estar en g o Kg. Se tiene el porcentaje de la relación entre la materia seca y la materia sea el menor posible.

2.2.9.4. Densidad aparente

Es el peso por unidad de volumen de la biomasa en el estado físico. Todos los combustibles que poseen una densidad elevada ayudan a la energía por unidad de volumen. Y las biomásas con una baja densidad necesitan un mayor volumen tanto de almacenamiento como de transporte (Lucas, 2016, p.4).

2.2.10. Briqueta

Las briquetas están compuestas por bioma o residuo orgánico, dentro de la producción de briquetas se implica comprimir material de biomasa de desecho en una unidad sólida uniforme para usar de manera similar a la leña o el carbón, mejorar la eficiencia de la combustión de residuos, así como su gestión y manipulación. Además, cuenta con una ventaja en la contribución

del avance económico de los países en desarrollo al ayudar a satisfacer las demandas energéticas y ambientales seguras de los sectores urbano e industrial (Nikiema et al., 2022, p.5).

2.2.10.1. Características de una briqueta

Una briqueta de combustible eficiente y de alta calidad depende de un bajo contenido de humedad (6-14 %), materia volátil (50-90 %) y contenido de cenizas (<4 %) y un alto contenido de carbono fijo (9-25 %). La densidad aparente de las briquetas da una indicación de los requisitos de transporte por unidad de energía, por lo que se prefiere una densidad más alta. La durabilidad de las briquetas también es una característica importante para considerar, especialmente durante el transporte, para reducir las pérdidas por rotura en partículas finas (Nikiema et al., 2022, p.7).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de Investigación

El enfoque de la investigación es cualitativo y cuantitativo, constituyéndose en un trabajo mixto en donde se llevará a cabo mediante el método de conveniencia. Se tomará diferentes porcentajes de muestra para la caracterización de los residuos agroindustriales de la cáscara de café y tallo de plátano (propiedades fisicoquímicas y el poder calorífico). Una vez obtenidos los resultados se utilizará el muestreo cuantitativo por medio estadístico, donde se visualizará el comportamiento de los residuos agroindustriales modificados en cuanto a su composición combinada con nanocelulosa.

3.2. Nivel de Investigación

El presente trabajo se llevará a cabo mediante métodos, donde se realizar análisis fisicoquímicas y determinación de las características energéticas, para tal propósito se utilizarán 3 diferentes tipos de investigación: investigación experimental, investigación exploratoria e investigación descriptiva.

La investigación experimental o también conocido como método científico experimental tiene por objetivo obtener datos a través de la experimentación es decir compararlo con variables constantes con finalidad de determinar las causas o efectos del estudio, el cual está estrechamente relacionado con las propiedades físico-químicas de los residuos agroindustriales en donde se analiza y se compara el comportamiento de la muestra con relación a datos de bibliografía y resultados obtenidos; por otra parte, la investigación exploratoria se realizara la determinación del poder calorífico de los residuos de cáscara de café y tallo de plátano y también se efectuara la combinación con nanocelulosa, donde los datos obtenidos ayudaran a posibles investigaciones para la fabricación de briquetas.

Finalmente, la investigación descriptiva nos ayuda a deducir los resultados y comparar con otras investigaciones los datos obtenidos de los análisis.

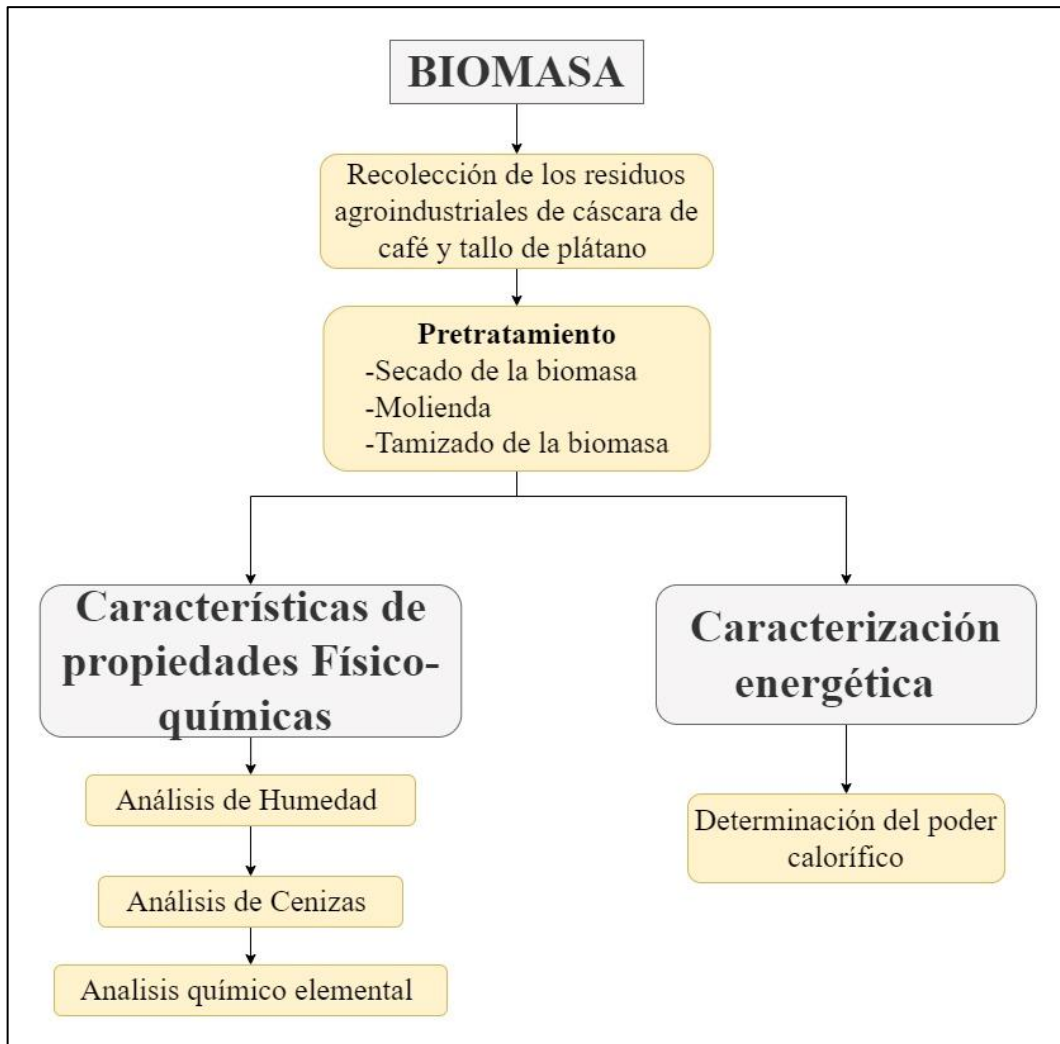


Ilustración 1-3: Caracterización de biomasa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.3. Diseño de Investigación

Esta investigación se rige totalmente bajo por conveniencia que es un muestreo no probabilístico, porque está en función de los resultados obtenidos para la aplicación de procesos posteriores, donde se va a tomar diferentes proporciones de los residuos agroindustriales y de nanocelulosa, obteniendo de esa manera un variable dependiente (poder calorífico).

Para llevar este muestreo se realizará 3 repeticiones de los residuos agroindustriales en diferentes porcentajes y al obtener la mezcla con mayor poder calorífico, se lo combinará con nanocelulosa que de igual forma se combinará con diferentes porcentajes con dos repeticiones de cada una. Con la mezcla final se fabricarán las briquetas, que llega siendo el producto final de la investigación.

Tabla 1-3: Formulación de los residuos agroindustriales

Combinación	Residuos agroindustriales	
	C Café	T Plátano
C1	25%	75%
C2	50%	50%
C3	75%	25%

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Donde:

C1: Combinaciones de los residuos agroindustrial de la cáscara de café y tallo de plátano 25:75 respectivamente

C2: Combinaciones de los residuos agroindustrial de la cáscara de café y tallo de plátano 50:50

C3: Combinaciones de los residuos agroindustrial de la cáscara de café y tallo de plátano 75:25 Respectivamente.

Tabla 2-3: Formulación de la mezcla de los residuos agroindustriales con nanocelulosa

Combinación	Residuos agroindustriales	
	Mezcla	Nanocelulosa
CN1	20%	80%
CN2	50%	50%
CN3	80%	20%

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Donde:

CN1: Combinación de los residuos agroindustrial con mayor poder calorífico y 80% en peso de nanocelulosa.

CN2: Combinación de los residuos agroindustrial con mayor poder calorífico y 50% en peso de nanocelulosa.

CN3: Combinación de los residuos agroindustrial con mayor poder calorífico y 20% en peso de nanocelulosa.

3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente

La presente investigación es experimental ya que identifica las propiedades fisicoquímicas y el poder calorífico de los residuos. Y con ello se podrá obtener un producto combustible de tipo sólido (briquetas), que permitirá un mejor aprovechamiento energético y ayudará a la disminución

de emisiones de CO₂. Además, brindará beneficios a la comunidad tanto académica como científica y a las grandes o pequeñas empresas que generan contaminación en sus procesos.

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

En base a las investigaciones bibliográficas se determina que el trabajo de campo posee variables longitudinales, debido al proceso en el que se realiza la determinación de las propiedades físico-químicas y determinación del potencial energético, en el cual se manipulan las variables dependientes como las independientes.

Tabla 3-3: Identificación de las Variables

Variables Independientes	Variables Dependientes
Materia prima (cáscara de café y callo de plátano) Nanocelulosa	Poder calorífico

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.4. **Tipo de estudio**

El presente trabajo es de tipo experimental, local y a nivel laboratorio puesto que se lleva a cabo el análisis de las diferentes variables y a su vez permite conocer los cambios que presentaría el poder calorífico. Finalmente, este tipo de estudio permitirá obtener grandes resultados y comprender fácilmente la relación que existen entre las variables.

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

3.5.1. *Población y planificación*

La cantidad de materia prima que se tomara al inicio de la investigación de cáscara de café y de tallo de plátano es de 2Kg para la realización de los diferentes análisis. Y al determinar qué porcentaje de biomasa posee mayor poder calorífico, se tomará 4 Kg de cáscara de café y 4Kg de tallo de plátano para la elaboración de briquetas.

3.5.2. Selección y cálculo del tamaño de la muestra

Este método que se va a ejecutar dentro del proceso de selección de materias prima

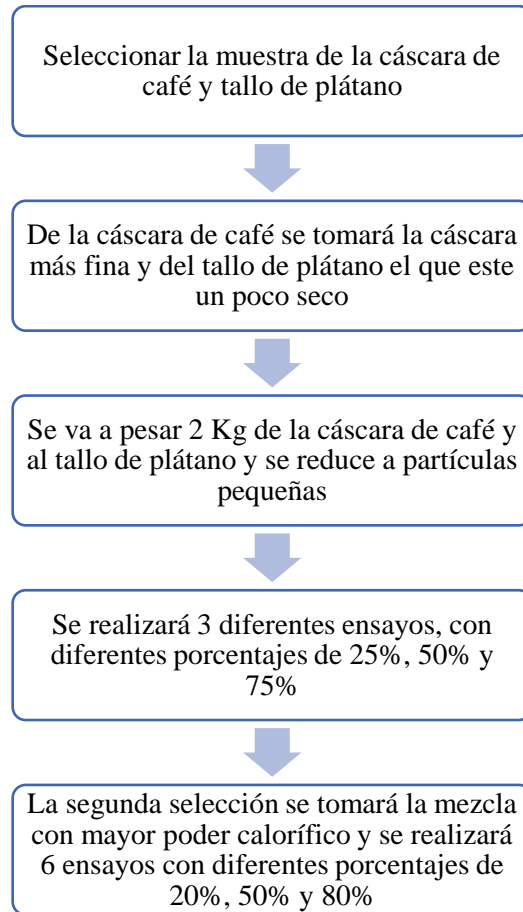


Ilustración 8-3: Selección de la muestra

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.6.1. Análisis para biomásas

Los análisis de la caracterización Físicoquímica de los residuos agroindustriales fueron llevados a cabo en la Facultad de Ciencia en el laboratorio de Bromatología en la ESPOCH, se pueden visualizar en el Anexo B.

3.6.1.1. Humedad

Los residuos se colaron en dos diferentes crisoles para la realización de humedad. Se tomaron pequeñas cantidades de residuos para que se libere fácilmente el H₂O y poder determinar la cantidad que se eliminó de la misma en el proceso, en el que se describe en la siguiente tabla 6-3

Tabla 4-3: Caracterización fisicoquímica Humedad

ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
HUMEDAD	<p>Se deben tener los capsulas totalmente limpias.</p> <p>Se coloca a las capsulas a tarar dentro de la mufla por aproximadamente de 2 a 3 horas a 110°C.</p> <p>Cuando las capsulas se hayan tarado se las deja reposar por 15 minutos en el desecador.</p> <p>Cuando hayan pasado los 15 min se selecciona la materia prima que es la cáscara de café y tallo de plátano.</p> <p>Realizar un doble pesaje de 5 g de la cáscara de café y de 5 g de tallo de plátano, como se visualiza en el Anexo B.</p> <p>Antes de realizar el pesaje se debe pesar la capsula y anotar su peso.</p> <p>Se lleva de nuevo a la máquina de secado por 24 horas a una temperatura de 110 °C.</p> <p>Cuando ya haya pasado las 2 a 3 horas se saca las cápsulas y se las deja reposar en el desecador.</p> <p>Se pesa y se registra el valor de masa de las cápsulas con la materia.</p> <p>Finalmente, con la fórmula de humedad, sacamos nuestro porcentaje de humedad.</p>

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.1.2. Ceniza

El análisis de ceniza de los residuos agroindustriales ayudó a establecer los minerales totales de la muestra a realizar. Para poder llevar a cabo los análisis se utilizaron cuatro crisoles, en el que se realizó dos diferentes ensayos de cada residuo agroindustrial, con el fin de que los residuos se

quemar y se obtenga una combustión completa. En la tabla 7-3 se puede visualizar el procedimiento.

Tabla 5-3: Caracterización fisicoquímica Cenizas

ANALISIS	PROCEDIMIENTO	FORMULA
CENIZAS	<p>Se deben tener 4 crisoles totalmente limpios.</p> <p>Se secan los crisoles dentro de la mufla por aproximadamente 2 a 3 horas a 110°C.</p> <p>Se debe pesar dos veces 2g de cascara de café y de tallo de plátano empleado de los crisoles, como se muestra en el Anexo B.</p> <p>Antes de realizar el pesaje se debe pesar los crisoles y anotar su peso.</p> <p>Se debe quemar la muestra en la estufa a máxima potencia, previo a esto se debe tener en cuenta que no debe existir gases dentro del equipo.</p> <p>Cuando la muestra este totalmente incinerada se debe introducir en la mufla una temperatura de 550 °C.</p> <p>Se pesa y se registra el valor del crisol con la materia.</p> <p>Finalmente, con la fórmula de cenizas, se calcula el % de ceniza</p>	$\%C = \frac{m_1 - m}{m_2 - m} \times 100\%$ <p>m= Masa de la cápsula en gr m1= Masa de la cápsula con la muestra después de la incineración en gr m2= Masa de la cápsula con la muestra antes de incineración en gr</p>

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.2. Análisis químico elemental (carbono y nitrógeno)

Para el análisis de CHONS en los residuos, se utilizó un equipo de análisis elemental el cual trabaja con muestras sólidas orgánicas. En la tabla 8-3 se tiene el proceso de este.

Tabla 6-3: Metodología para análisis elemental de CHONS de los residuos agroindustriales

ANALISIS	PROCESO
	<ul style="list-style-type: none"> Primero se preparan las muestras de los residuos agroindustriales.

CHONS	<ul style="list-style-type: none"> • Se pesa 2gr de cáscara de café y 2g de tallo de plátano. • Las muestras se llevan al equipo de análisis elemental. • Se colocan las muestras en cápsulas de estaño. • Posteriormente, se introducen dentro del equipo, el cual determinara cuanto de carbono y nitrógeno tienen los residuos. • Finalmente, el equipo imprime los resultados de las muestras.
-------	---

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.3. Síntesis de Nanocelulosa

3.6.3.1. Obtención de nanocelulosa – Síntesis

Para la síntesis de la nanocelulosa se utilizó un molino GRINDCONTROL MM 400, el cual funciona con sensores y temperatura. Este método de obtención es más sencillo y practico que el método químico, debido a que la celulosa solo se la introduce dentro del equipo y se obtiene en partículas pequeñas, es decir en nanocelulosa, en la tabla 9-3 se tiene el proceso que se llevó acabo de la síntesis de la nanocelulosa.

Tabla 7-3: Síntesis de nanocelulosa

ANALISIS	PROCEIMIENTO
SÍNTESIS DE NANOCELULOSA	<p>Para realizar la síntesis de la nanocelulosa se realiza a través de método mecánico.</p> <p>La celulosa se tritura en el molino, el cual trabajar con alta energía.</p> <p>El molino remueve todas las partes amorfas.</p> <p>La celulosa dentro del proceso se somete a distintos pasos.</p> <p>Como resultado final se obtienen cristales más pequeños y de tamaño uniforme</p> <p>Este método solo deja las partes cristalinas de la celulosa.</p> <p>Finalmente, al terminar el proceso de molienda se filtran los cristales para remover las partículas más grandes.</p>

Fuente: Bacha, 2022, p.1.

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.3.2. Caracterización de nanocelulosa

Tabla 8-3: Metodología de la caracterización de nanocelulosa

ANÁLISIS	PROCEIMIENTO
<p>MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)</p>	<p>Para realizar los análisis SEM primero se tuvo que recubrir mediante un film (metalizar) de oro la nanocelulosa.</p> <p>La metalización se realiza debido al funcionamiento del microscopio de barrido electrónico, el cual aísla los electrones por conductividad generando imágenes de la partícula.</p> <p>Las muestras de nanocelulosa deben ser secadas previamente.</p> <p>Colocar la muestra seca en la placa de carbono.</p> <p>Poner la placa de carbono sobre el portaobjetos del microscopio.</p> <p>Realizar descargas eléctricas para empezar a obtener imágenes.</p> <p>Mover el mouse del computador que controla la lupa del microscopio.</p> <p>Repetir los dos pasos previos hasta obtener una imagen clara.</p> <p>Microscopio electrónico JEOL JSM-6400 utilizando de 5 a 15 kV.</p> <p>La principal razón de esto es suministrar la columna del microscopio para permitir que electrones primarios migren de su fuente de emisión con una energía suficiente para interactuar con la superficie de la nanocelulosa y poder dar señales.</p>
<p>REFRACCIÓN DE INFRARROJO</p>	<p>Se lleva la muestra de nanocelulosa al INFRARED SPECTRUM.</p> <p>Se utiliza una temperatura de 20°C y a una longitud de onda de 589 nm.</p> <p>En donde se observa una figura, que consta de una serie de picos (bandas) de absorción, o simplemente picos, los cuales se ubican a diferentes posiciones y tienen alturas y anchuras diferentes.</p>

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.4. Determinaciones del poder calorífico de los residuos agroindustriales

3.6.4.1. Preparación de la muestra

Para la preparación de la muestra los residuos agroindustriales de la cáscara de café y tallo de plátano, se llevó a cabo en la Facultad de Mecánica en la ESPOCH. La muestra tiene que cumplir una estándar de peso de 0.8 a 1 gr, dado por el manual de la bomba calorimétrica (GDY-1 A Oxygen Bomb Calorimeter). También se debe medir la humedad de los residuos agroindustriales, que debe ser inferior al 5%, debido que el valor encontrado será el poder calorífico superior, que no incluyen valores calóricos entregados por el agua. A continuación, el proceso se detalla en la tabla 11-3.

Tabla 9-3: Preparación de la muestra

MUESTRA	PROCEDIMIENTO
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	Preparar el analito con una humedad inferior al 5%. Los residuos tienen que estar en partículas pequeñas para poder realizar la determinación del poder calorífico, como se visualiza en el Anexo C. Pesar los residuos en un vidrio reloj en diferentes porcentajes de 25%, 50 % y 75%. El peso de los residuos tiene que ser de 0.8g en total (0.8g tiene que estar compuesto por los porcentajes de cada residuo para obtener la respectiva mezcla).

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.4.2. Características energéticas Poder calorífico

Tabla 10-3: Metodología de la caracterización energética poder calorífico

ANALISIS	PROCEDIMIENTO
	Primero se destila el equipo calorimétrico. Se retira el agua con la bomba manual y se repite el procedimiento de 3 veces. Se integra agua en el sistema de recirculación. Esperar durante 15 min para que la máquina se estabilice Se abre el switch de corrientes y se prende el convertidor de energía. Se enciende la bomba calorimétrica que trabaja a 110v.

DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO	<p>Abrir el tanque de oxígeno industrial</p> <p>Ubicar en el soporte la tapa de la capsula de inmisión para colocar en el crisol la muestra de la mezcla de cáscara de café y tallo de plátano con los diferentes porcentajes y el cable de inmisión, como se muestra en el Anexo D.</p> <p>Se cierra totalmente la capsula de inmisión y conectarla al tanque de oxígeno.</p> <p>Abrir el paso el oxígeno hasta 3 MPa por 30 s.</p> <p>Se coloca la bomba dentro de cámara de combustión.</p> <p>Se ira agregando 10 ml de agua destilada hasta que cumpla el volumen requerid.</p> <p>Conectar los electrodos en la capsula de inmisión para generar la combustión completa y se cierra la bomba calorimétrica.</p> <p>Se coloca el termómetro y se homogeniza el agua de recirculación.</p> <p>Se aplasta el botón “reset” y “stir” y se espera que llegue a 10 tiempos, aplasta “ignite” que a partir de ahí se empezara a contar del 1 hasta el 31 y se aplasta “end” y data” para leerlos resultados, como se visualiza en el Anexo E.</p> <p>Finalmente, con los resultados de la bomba calorimétrica se aplican dos diferentes fórmulas.</p> <p>Primero se aplica la fórmula de calibración de la máquina.</p> <p>Segundo con los respectivos resultados calculados anteriormente se puede calcular las corridas y obtener los resultados del poder calorífico, lo cuales quedan en J/gr.</p>
---	---

Fuente: Feernandez, 2015, p.1.

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

3.6.5. *Elaboración de Briqueta*

Tabla 3-3: Proceso de obtención de briqueta

ANÁLISIS	PROCESO
	<p>Para la compactación de las briquetas, los residuos tienen que estar en partículas pequeñas.</p> <p>En la preparación de la mezcla, se utilizará el almidón de yuca (se usará en menor cantidad posible de 7% para que no haya una variación significativa).</p> <p>Con una cantidad pequeña de agua se mezcla el almidón.</p>

<p>OBTENCIÓN DE BRIQUETAS</p>	<p>En otro recipiente se calienta agua hasta que llegue a su punto de ebullición y se incorpora mezcla con la preparación anterior hasta que llegue nuevo al punto de ebullición.</p> <p>Cuando a la mezcla anterior este fría se mezcla con la combinación de residuos obtuvieron mayor poder calorífico.</p> <p>Al tener la mezcla se forma una bola pequeña para incorporarla en la briquetadora (prensa hidráulica modificada, como se muestra en el Anexo F).</p> <p>Antes que realizar la briqueta se debe definir la forma y el tamaño.</p> <p>Consecutivamente se debe alimentar el equipo con la preparación anterior.</p> <p>La presión que se utilizara es de 1 KPa.</p> <p>Se secará la briqueta obtenida mediante un secador hasta que el peso de esta sea constante.</p> <p>La briqueta debe tener una humedad menor 15%.</p>
---------------------------------------	---

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Cálculos del análisis de los residuos

4.1.1. *Humedad en los residuos agroindustriales*

Donde:

$$SS(\%) = \{(m2 - m) - |(m1 - m)|\} \times 100$$

SS: Sustancia seca por porcentaje en masa

M: Masa de la cápsula en gr

m1: Masa de la cápsula con la muestra gr

m2: Masa de la cápsula con la muestra después del calentamiento en gr

4.1.1.1. *Tallo de plátano*

Datos:

$$m1: 95.185 + 5.685 = 100.87$$

$$m2: 100.109$$

$$m: 95.185$$

$$SS(\%) = \{(m2 - m) - |(m1 - m)|\} \times 100$$

$$SS(\%) = \{(100.109 - 95.185) - |(100.87 - 95.185)|\} \times 100$$

$$SS(\%) = 86.614\%$$

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

$$(\%)Humedad = 13.386\% //$$

4.1.1.2. *Cáscara de café*

Datos:

$$m1: 90.411 + 3.246 = 93.657$$

$$m2: 93.382$$

$$m: 90.411$$

$$SS(\%) = \{(m2 - m) - |(m1 - m)|\} \times 100$$

$$SS(\%) = \{(93.382 - 90.411) - |(93.657 - 90.411)|\} \times 100$$

$$SS(\%) = 91.528\%$$

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

$$(\%)Humedad = 8.472\% //$$

4.1.2. Ceniza en los residuos agroindustriales

m= Masa de la cápsula en gr

m1= Masa de la cápsula con la muestra después de la incineración en gr

m2= Masa de la cápsula con la muestra antes de incineración en gr

4.1.2.1. Tallo de plátano

Datos:

$$m2: 25.894 + 2.136 = 28.03$$

$$m1: 25.949$$

$$m: 25.894$$

$$\% C = \{(25.949 - 25.894) / (28.03 - 25.894)\} \times 100$$

$$\% C = 2.575//$$

4.1.3. Cálculo del análisis químico elemental de los residuos agroindustriales

Tabla 1-4: Análisis elemental de los residuos agroindustriales

MUESTRA	MÉTODO	RESULTADOS		UNIDAD
		Carbono	Nitrógeno	
Tallo de plátano	Oxidación completa por combustión	32.368	1.413	%
Cáscara de café		43.651	2.205	%

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.1.4. Interpretación de los resultados del análisis proximal y químico elemental

Con la aplicación del análisis proximal se determinó que tan viables son los residuos agroindustriales, los cuales se pueden visualizar en la tabla 15-4.

Tabla 24-4: Resultado de los análisis proximal y químico elemental

ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS					
Muestras	Humedad	Ceniza	Oxígeno	Carbono	Nitrógeno
Tallo de plátano	13,39%	2,575%	Oxidación completa	32,37%	1,41%
	10,86%	2,575%			
Cáscara de café	8,47%	2,714%	Oxidación completa	43,65%	2,21%
	8,72%	2,743%			

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Los resultados de humedad, ceniza, carbono y nitrógeno de la cáscara de café y de tallo de plátano se calcularon a nivel de laboratorio. Donde se obtuvo un alto porcentaje de carbono de la cáscara de café que ayudará a la combustión y el bajo nivel de ceniza de los residuos agroindustriales beneficiará al momento de hacer los análisis del poder calorífico, por el bajo contenido de elementos inorgánicos que no afectarán a la vida útil de equipo calorimétrico.

4.2. Resultados de la caracterización de la Síntesis de la nanocelulosa

4.2.1. Análisis de la espectroscopia de infrarrojo de nanocelulosa

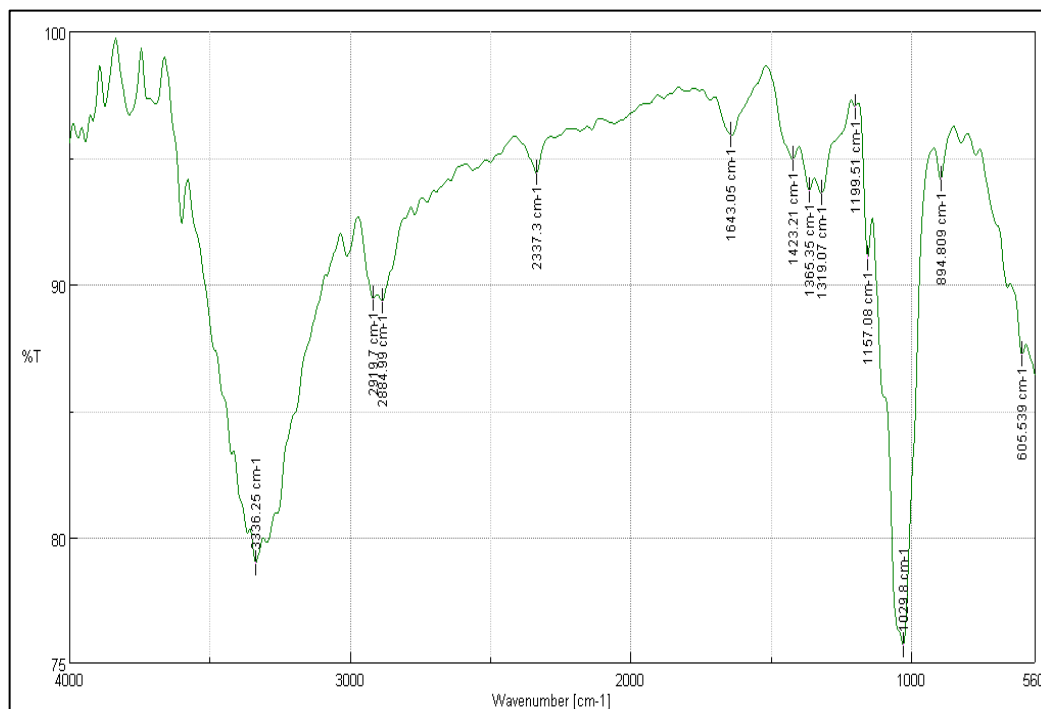


Ilustración 1-4: Comportamiento de nanocelulosa en la espectroscopia de infrarrojo

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 3-4: Resultados de la espectroscopia de infrarrojo de nanocelulosa

Wavenumber [cm-1]	%T
3336.25	78.9493
2919.7	89.4379
2884.99	89.3418
2337.3	94.3933
1643.05	95.9221
1423.21	94.9504
1365.35	93.698
1319.07	93.6238
1199.51	97.0267
1157.08	91.0398
1029.8	75.7211
894.809	94.1675
605.539	87.2477

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

En el análisis FTIR se realizó la absorción específica de la radiación infrarroja por parte de las moléculas (nanocelulosa), permitiendo la identificación de los grupos funcionales que la componen. Se registró 13 exploraciones (picos) como se muestra en la Tabla 16-4, describe el número de onda y el índice de cristalinidad de RMN (resonancia magnética nanocelular). Por otra parte, en el Ilustración 10-4 se muestra los intervalos entre los 3336.25 cm⁻¹ a los 605.539 cm⁻¹, que son características de la presencia de holocelulosa (son fracciones de carbohidratos: celulosa y hemicelulosa).

4.2.2. Análisis en el microscopio de barrido SEM en la nanocelulosa

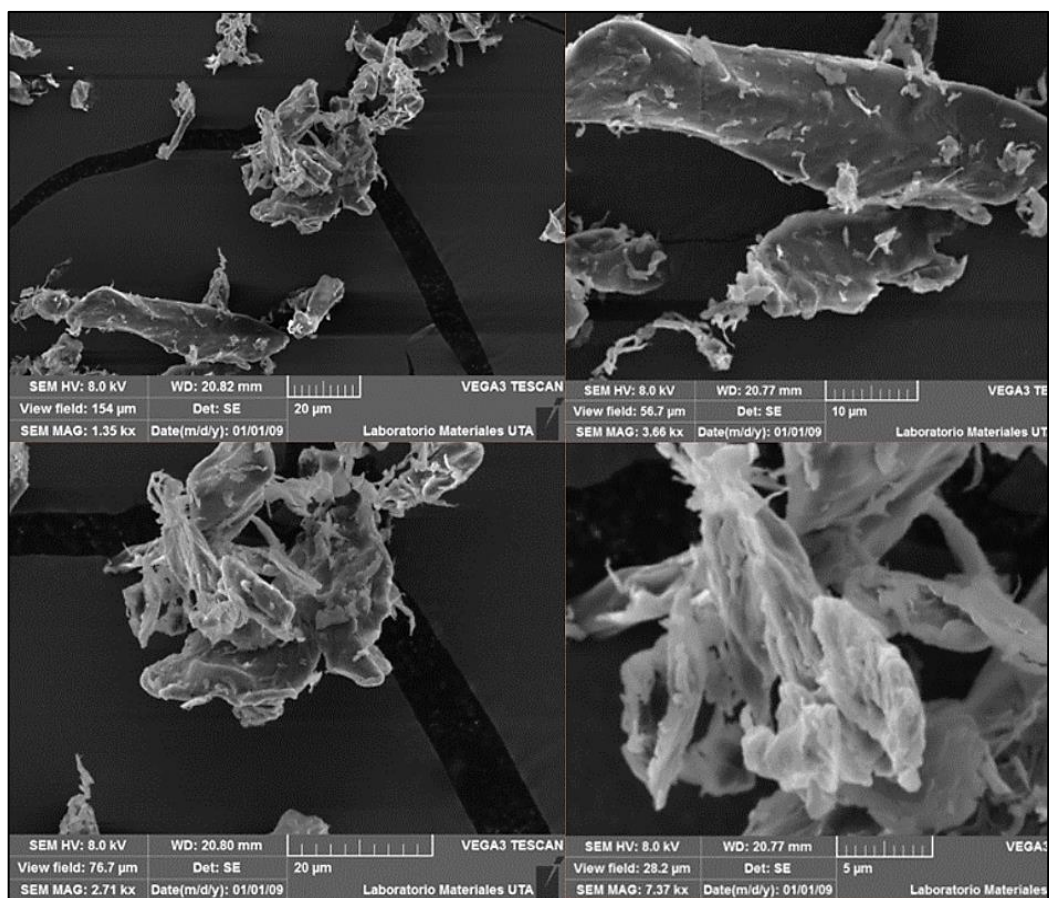


Ilustración 2-4: Análisis SEM – Nanocelulosa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

En el Ilustración 2-4 se muestran imágenes SEM, que se obtuvieron mediante la metalización de la nanocelulosa. Las imágenes fueron captadas mediante el microscopio de barrido (SEM), donde se verifica que el tamaño de la nanocelulosa corresponda a la longitud de nanómetros.

4.3. Cálculo del poder calorífico de los residuos agroindustriales

4.3.1. Calibración de la maquina calorífica

Tabla 4-4: Variación de temperatura para calibración de equipo

CALIBRACIÓN DE LA MAQUINA	
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	21,701
14,5	21,714
15	21,728

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

$$E = \frac{Q1M1 + 40}{\Delta T}$$

E: capacidad calorífica del instrumento.

Q1: poder calorífico de la pastilla de ácido benzoico.

M1: pesos de la pastilla de ácido benzoico.

ΔT : variación de temperatura °C

$$E = \frac{\left(26.457 \frac{J}{g}\right) (0.9794 g) + 40}{(21.728 - 20.941)^{\circ}C}$$

$$E: 32975.8396$$

4.3.2. Poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

Tabla 5-4: Pesos de las muestras para los análisis del poder calorífico

Pesos	Gr
Cáscara de café	0,8
Tallo de plátano	0,6
Nanocelulosa	0,9

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 6-4: Variación de temperatura de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

Tiempo (min)	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SIN NANOCELULOSA		
	Cáscara de café (Cc)	Tallo de plátano (Tp)	Nanocelulosa
	Temperatura		
0	22,960	23,413	22,827
0,5	23,155	23,552	22,959
1	23,468	23,741	23,314

1,5	23,640	23,840	23,506
2	23,730	23,895	23,622
2,5	23,793	23,931	23,694
3	23,839	23,957	23,742
3,5	23,876	23,977	23,748
4	23,904	23,993	23,808
4,5	23,927	24,006	23,831
5	23,945	24,016	23,849
5,5	23,959	24,026	23,866
6	23,972	23,033	23,880
6,5	23,983	24,039	23,881
7	23,992	24,044	23,902
7,5	24,000	24,048	23,911
8	24,006	24,052	23,919
8,5	24,012	24,054	23,925
9	24,016	24,057	23,931
9,5	24,020	24,059	23,936
10	24,022	24,060	23,941
10,5	24,025	24,061	23,944
11	24,027	24,062	23,947
11,5	24,029	24,063	23,950
12	24,031	24,064	23,952
12,5	24,032	24,064	23,954
13	24,033	24,065	23,956
13,5	24,034	24,065	23,957
14	24,034	24,065	23,958
14,5	24,035	24,065	23,960
15	24,035	24,065	23,961
15,5	24,035	24,065	23,961

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.3.3. Resultados del poder calorífico de cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

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

Q: poder calorífico de la muestra

E: capacidad calorífica de la máquina.

ΔT : variación de temperatura.

G: peso de la muestra en gramos.

$$Q_{café} = \frac{32975.8396(23.277 - 22.960) - 40}{0.8}$$

$$Q_{café} = 44261.2845//$$

Tabla 7-4: Poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

Residuos	Poder Calorífico J/g
C. Café	44261,2845
T. Plátano	35767,079
Nanocelulosa	41505,1135

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

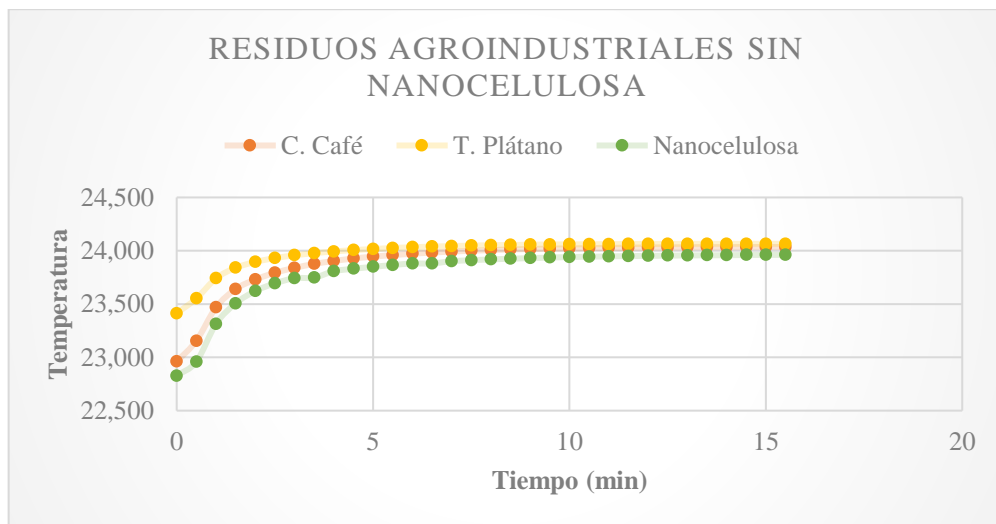


Ilustración 5-4: Resultados de la variación de temperatura la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Se puede evidenciar en el Ilustración 10-4 y 10-5 que el poder calorífico de la cáscara de café es superior del tallo de plátano, teniendo como resultados mayor eficiencia en la cáscara de café. Además, se verifica los resultados obtenidos en la tabla 30-4, en donde se mencionaba que habría una oxidación completa y se produciría emisiones de energía en forma de calor que ayudarían en la combustión tal como lo menciona (Mendoza et al., 2020, p.5).

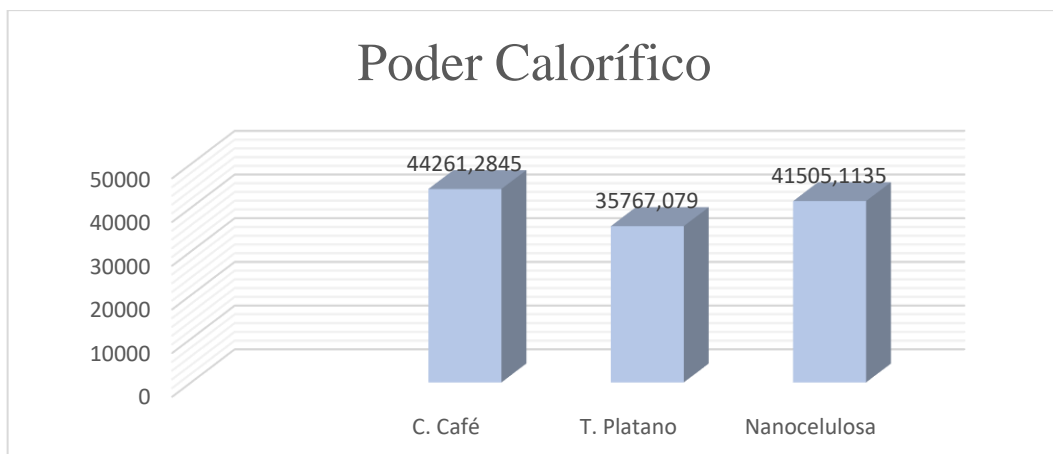


Ilustración 6-4: Resultado del poder calorífico de la cáscara de café, tallo de plátano y nanocelulosa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.4. Poder calorífico de la combinación de biomasas sin nanocelulosa

4.4.1. Combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café

Tabla 8-4: Combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café

Pesos	Gr
Cáscara de café	0,2
Tallo de plátano	0,6

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 95-4: Variación de T de la combinación del 75% del T. Plátano y 25% de la C. café

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SIN NANOCELULOSA	
75% de Tp - 25 % de Cc	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	22,320
0,5	22,551
1	22,801
1,5	22,942

2	23,020
2,5	23,068
3	23,104
3,5	23,132
4	23,152
4,5	23,170
5	23,185
5,5	23,197
6	23,208
6,5	23,217
7	23,224
7,5	23,232
8	23,238
8,5	23,243
9	23,248
9,5	23,252
10	23,256
10,5	23,259
11	23,262
11,5	23,264
12	23,266
12,5	23,269
13	23,270
13,5	23,272
14	23,273
14,5	23,274
15	23,276
15,5	23,277

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.4.2. *Combinación del 25% de T. Plátano y el 75% de C. Café sin nanocelulosa*

Tabla 10-4: Pesos para la combinación del 25% del T. Plátano y 75% de C. Café

Pesos	Gr
Cáscara de café	0,6
Tallo de plátano	0,2

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 11-4: Variación de T de la combinación del 75% del T. Plátano y 25% de C. Café

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SIN NANOCELULOSA	
25% de Tp - 75% de Cc	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	22,485
0,5	22,565
1	22,875
1,5	23,061
2	23,166
2,5	23,235
3	23,281
3,5	23,319
4	23,347
4,5	23,371
5	23,390
5,5	23,406
6	23,420
6,5	23,432
7	23,443
7,5	23,452
8	23,460
8,5	23,466
9	23,472
9,5	23,478
10	23,482
10,5	23,487
11	23,492
11,5	23,493

12	23,496
12,5	23,499
13	23,502
13,5	23,503
14	23,505
14,5	23,506
15	23,508
15,5	23,508

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.4.3. *Combinación del 50% de T. Plátano y el 50% de C. Café sin nanocelulosa*

Tabla 12-4: Pesos para la combinación del 50% del T. P y 50% de la C. C

Pesos	Gr
Cáscara de café	0,4
Tallo de plátano	0,4

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 13-4: Variación de T la combinación del 50% del T. Plátano y 50% de la C. Café

RESIDUOS AGROINDUSTRIALES SIN NANOCELULOSA	
50% de Tp - 50% de Cc	
Tiempo (min)	Temperatura °C
0	22,561
0,5	22,729
1	22,997
1,5	23,139
2	23,208
2,5	23,258
3	23,293
3,5	23,321
4	23,342
4,5	23,359
5	23,374
5,5	23,387
6	23,397

6,5	23,405
7	23,412
7,5	23,417
8	23,422
8,5	23,427
9	23,431
9,5	23,433
10	23,436
10,5	23,438
11	23,440
11,5	23,442
12	23,443
12,5	23,444
13	23,445
13,5	23,446
14	23,446
14,5	23,447
15	23,447
15,5	23,447

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.4.4. Resultados del poder calorífico de las combinaciones biomasa sin nanocelulosa

$$Q_{50\% \text{ de } T_p - 50\% \text{ de } C_c} = \frac{32975.8396(23.277 - 22.320) - 40}{0.8}$$

$$Q_{50\% \text{ de } T_p - 50\% \text{ de } C_c} = 39397.3481 //$$

Tabla 14-4: Resultado del poder calorífico de las combinaciones de los residuos

Residuos	Poder Calorífico J/g
50% de Tp - 50 % de Cc	39397,3481
25% de Tp - 75% de Cc	42117,8549
75% de Tp - 25% de Cc	36470,7424

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

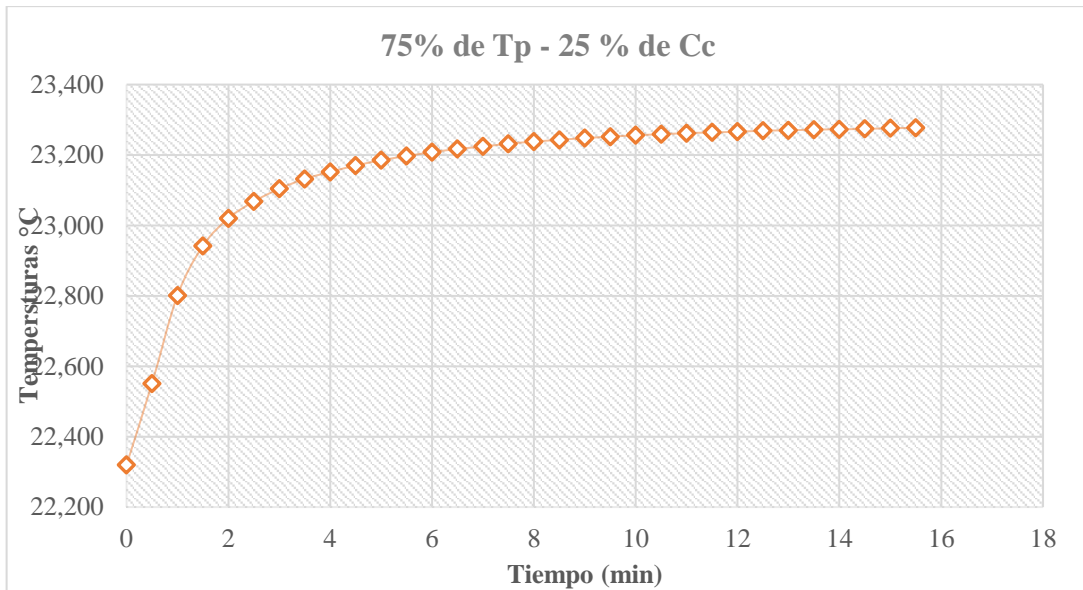


Ilustración 7-4: Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 75% del tallo de plátano y 25% de la cáscara de café

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

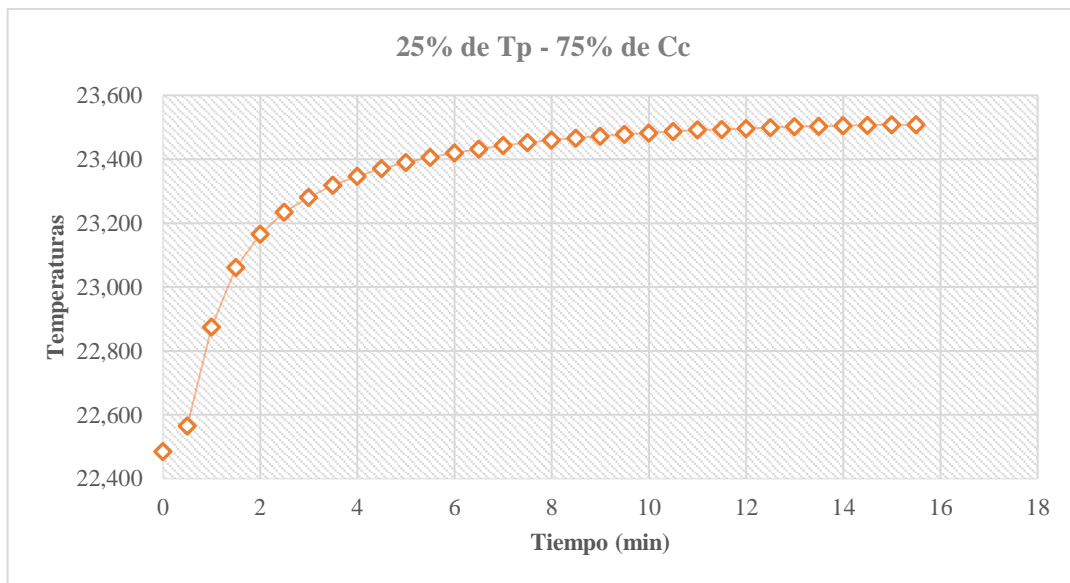


Ilustración 8-4: Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 25% del tallo de plátano y 75% de la cáscara de café

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

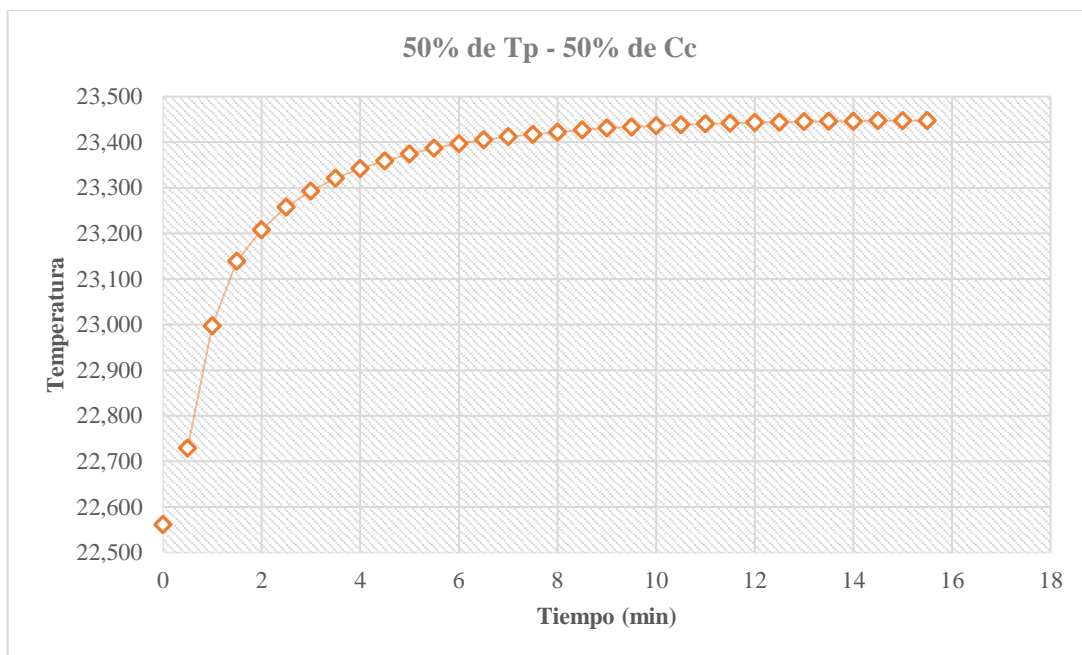


Ilustración 9-4: Resultado de la variación de temperatura de la combinación del 50% del tallo de plátano y 50% de la cáscara de café

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Como se puede observar en las gráficas 12-4, 13-4 y 14-4, se muestra el compartimento de la mezcla de los residuos sólidos agroindustriales en diferentes proporciones, siendo la formulación de 25% de tallo de plátano y 75% de cáscara de café, la cual obtuvo un poder calorífico de 42117, 8549 J/g. En el Ilustración 15-4 se visualiza la diferencia con las demás formulaciones que tiene al momento de ser combinadas, como se sugirió en el diseño experimental se debe elegir la formulación que presente mayor poder calorífico. Esta última, será combinada con nanocelulosa en diferentes proporciones, para de esta manera validar la hipótesis planteada al inicio.

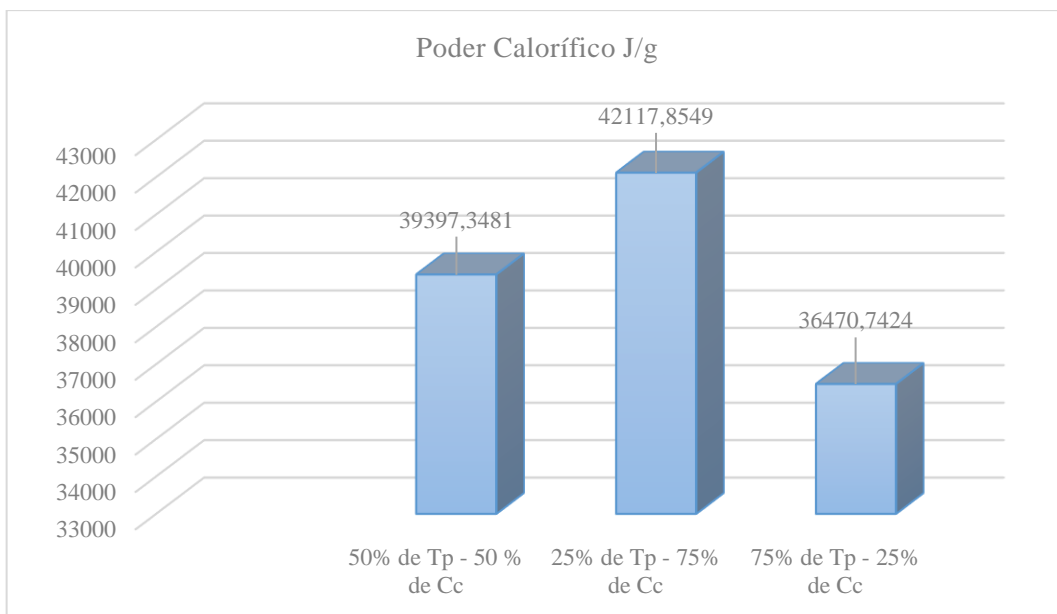


Ilustración 90-4: Resultado del poder calorífico de las combinaciones de 75%, 25% y 50% de los residuos

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.5. Poder calorífico de la combinación con la nanocelulosa y la mezcla (T.P y C.C)

Tabla 15-4: Pesos de las muestras en diferentes % con nanocelulosa

Pesos 20%	Gr
Mezcla	0,64
Nanocelulosa	0,16
Pesos 80%	Gr
Mezcla	0,16
Nanocelulosa	0,64
Pesos 50%	Gr
Mezcla	0,4
Nanocelulosa	0,4

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 16-4: Variaciones de T de la nanocelulosa en diferentes %

Tiempo (min)	RESIDUOS AGROINDUSTRIALES CON NANOCELULOSA
	Combinación de nanocelulosa en % con la mezcla con mayor poder calorífico

	20%		80%		50%	
0	22,168	22,516	22,252	22,756	22,202	22,391
0,5	22,297	22,644	22,406	22,964	22,383	22,522
1	22,627	22,988	22,728	23,315	22,729	22,877
1,5	22,804	23,162	22,901	23,471	22,910	23,067
2	22,906	23,266	22,996	23,555	23,006	23,171
2,5	22,965	23,329	23,057	23,611	23,069	23,240
3	23,008	23,373	23,100	23,648	23,109	23,285
3,5	23,039	23,404	23,130	23,675	23,140	23,319
4	23,062	23,430	23,155	23,696	23,144	23,346
4,5	23,082	23,449	23,176	23,714	23,164	23,367
5	23,098	23,465	23,193	23,728	23,185	23,384
5,5	23,112	23,480	23,207	23,740	23,201	23,400
6	23,123	23,492	23,219	23,750	23,214	23,412
6,5	23,133	23,502	23,230	23,759	23,226	23,423
7	23,141	23,511	23,247	23,766	23,236	23,433
7,5	23,149	23,519	23,253	23,776	23,246	23,441
8	23,156	23,526	23,259	23,779	23,254	23,448
8,5	23,161	23,532	23,265	23,784	23,260	23,454
9	23,166	23,537	23,269	23,788	23,267	23,460
9,5	23,171	23,542	23,273	23,792	23,272	23,465
10	23,175	23,546	23,276	23,795	23,277	23,469
10,5	23,178	23,550	23,279	23,798	23,280	23,473
11	23,181	23,553	23,282	23,800	23,284	23,476
11,5	23,184	23,556	23,284	23,802	23,287	23,479
12	23,186	23,558	23,286	23,804	23,290	23,481
12,5	23,188	23,560	23,288	23,805	23,292	23,484
13	23,190	23,562	23,290	23,806	23,294	23,486
13,5	23,191	23,564	23,291	23,808	23,296	23,487
14	23,193	23,564	23,291	23,808	23,298	23,789
14,5	23,193	23,566	23,292	23,809	23,299	23,490
15	23,194	23,567	23,293	23,809	23,301	23,491
15,5	23,194	23,567	23,294	23,810	23,302	23,492

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.5.1. Resultados del poder calorífico de la combinación con la nanocelulosa

$$Q_{20\% \text{ de nanocelulosa}} = \frac{32975.8396(23.194 - 22.168) - 40}{0.8}$$

$$Q_1 = 42241.5143 //$$

Tabla 17-4: Resultados del P.C de las muestras en diferentes % con nanocelulosa

Combinación de nanocelulosa en % con la mezcla con mayor poder calorífico	Poder calorífico	
	1	2
Con el 20% de nanocelulosa	42241,5143	42216,5944
Con el 80% de nanocelulosa	43444,0821	43395,6687
Con el 50% de nanocelulosa	45291,7795	45332,9992

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.5.2. Interpretación del poder calorífico de los residuos con nanocelulosa

Después de haber elegido la mezcla con mayor poder calorífico este paso a un segundo tratamiento, el cual consistió en la combinación de las diferentes proporciones 20%, 80% y 50% con nanocelulosa, tal como se puede visualizar en el Ilustración 16-4, se realizaron dos repeticiones a cada combinación, esto para validar valores obtenidos.

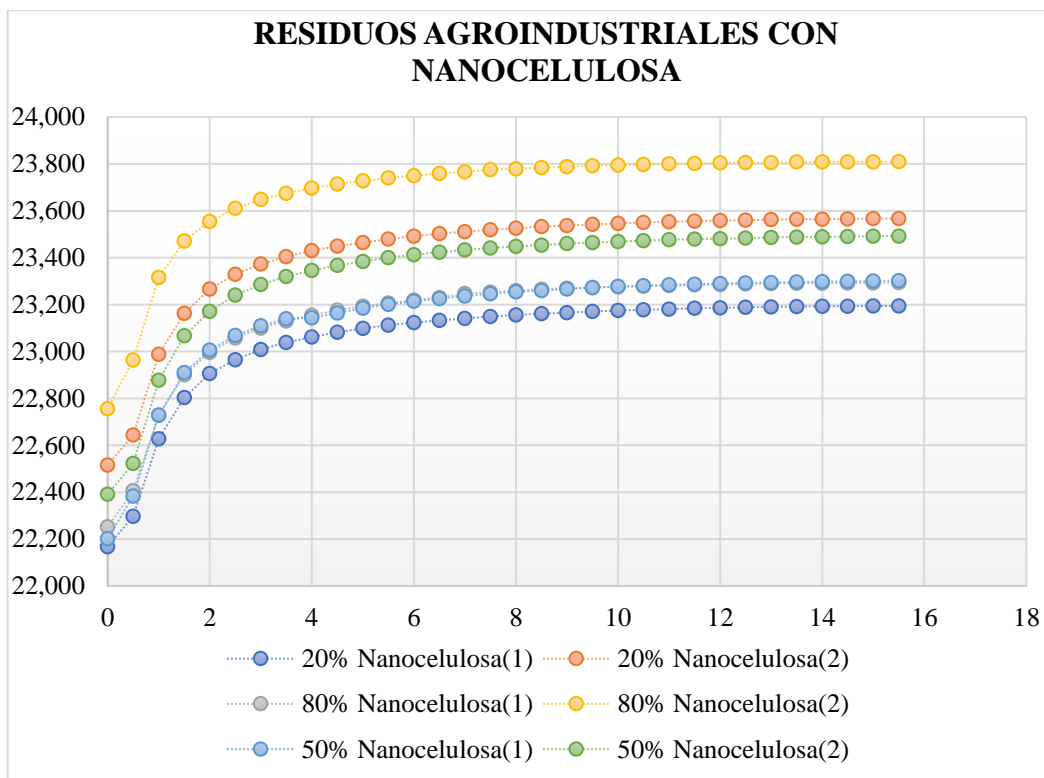


Ilustración 101-4: Resultados de las variaciones de temperaturas de las muestras en diferentes % para los análisis del poder calorífico con nanocelulosa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

En el Ilustración 11-4 se muestra el comportamiento de los residuos sólidos agroindustriales combinados con nanocelulosa, cuando la proporción de nanocelulosa fue de 80% aumento, pero este aumento es despreciable a comparación, con el 50% de nanocelulosa, aquí si se evidencio un aumento significativo del poder calorífico, el valor inicial de la mezcla de residuos sólidos agroindustriales fue 42117.8549, pero al agregar nanocelulosa aumento a 45. J/g, mientras que al agregar 20% de nanocelulosa disminuye.

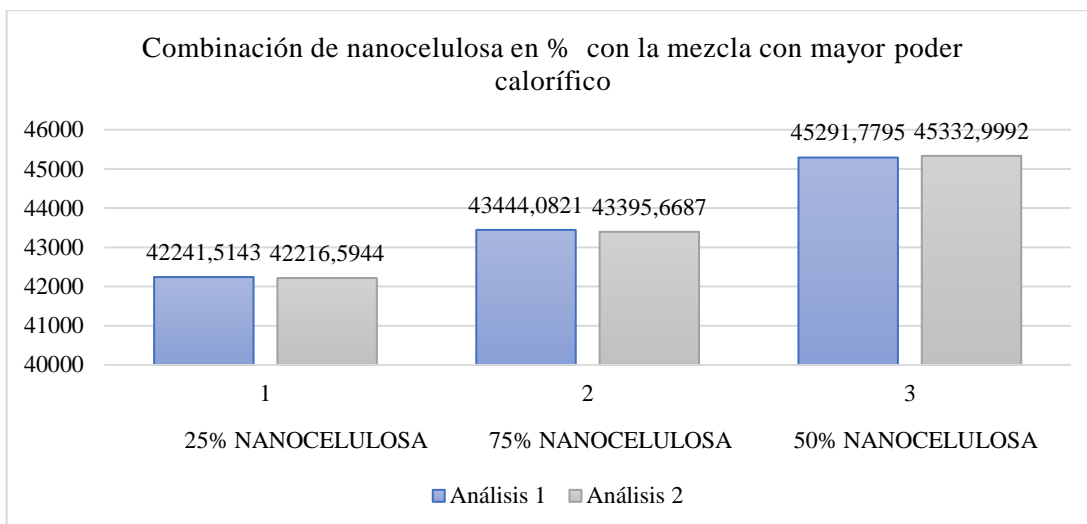


Ilustración 112-4: Resultados del poder calorífico de las muestras en diferentes % con nanocelulosa

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.5.3. Verificación de la combinación 50% de nanocelulosa con la mezcla (T.P y C.C)

Para corroborar los resultados obtenidos de la mezcla con nanocelulosa con mayor poder calorífico, se realizaron dos repeticiones adicionales que se visualiza en el Ilustración 12-4, las cuales confirmaron que al agregar 50% de nanocelulosa aumento el poder calorífico. Esto se debe a que en la reacción de combustión hay suficiente carbón fijo en los reactivos, como se menciona anteriormente. Favoreciendo a una reacción exotérmica, por lo contrario, cuando no se llega al estado de equilibrio la reacción es inversa, como en el caso cuando se agrega el 20% de nanocelulosa.

Tabla 18-4: Peso de las muestras al 50% con nanocelulosa

Pesos 50%	Gr
Mezcla	0,4
Nanocelulosa	0,4

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 19-4: Variación de T de la muestra con 50 % con nanocelulosa

Tiempo (min)	Combinación de nanocelulosa en % con la mezcla con mayor poder calorífico	
	50%	
0	22,605	23,009
0,5	22,794	23,130
1	23,113	23,458
1,5	23,305	23,650
2	23,408	23,764
2,5	23,472	23,833
3	23,523	23,879
3,5	23,556	23,912
4	23,583	23,938
4,5	23,603	23,959
5	23,622	23,976
5,5	23,635	23,990
6	23,646	24,004
6,5	23,656	24,014
7	23,664	24,023
7,5	23,671	24,031
8	23,676	24,038
8,5	23,681	24,044
9	23,685	24,049
9,5	23,688	24,054
10	23,691	24,058
10,5	23,693	24,062
11	23,696	24,065
11,5	23,697	24,068
12	23,699	24,070
12,5	23,700	24,072
13	23,701	24,074
13,5	23,702	24,075
14	23,702	24,077
14,5	23,703	24,077

15	23,704	24,079
15,5	23,704	24,080

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.5.4. Resultados del poder calorífico de la combinación 50% con nanocelulosa

$$Q_{50\%de\ nanocelulosa} = \frac{32975.8396(23.704 - 22.605) - 40}{0.8}$$

$$Q_{50\%de\ nanocelulosa} = 45250.5596//$$

Tabla 20-4: Resultados del poder calorífico de las muestras con 50 % con nanocelulosa

Combinación de nanocelulosa en % con la mezcla con mayor poder calorífico	Poder calorífico	
	1	2
Con el 50% de nanocelulosa	45250,5596	45227,0823

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

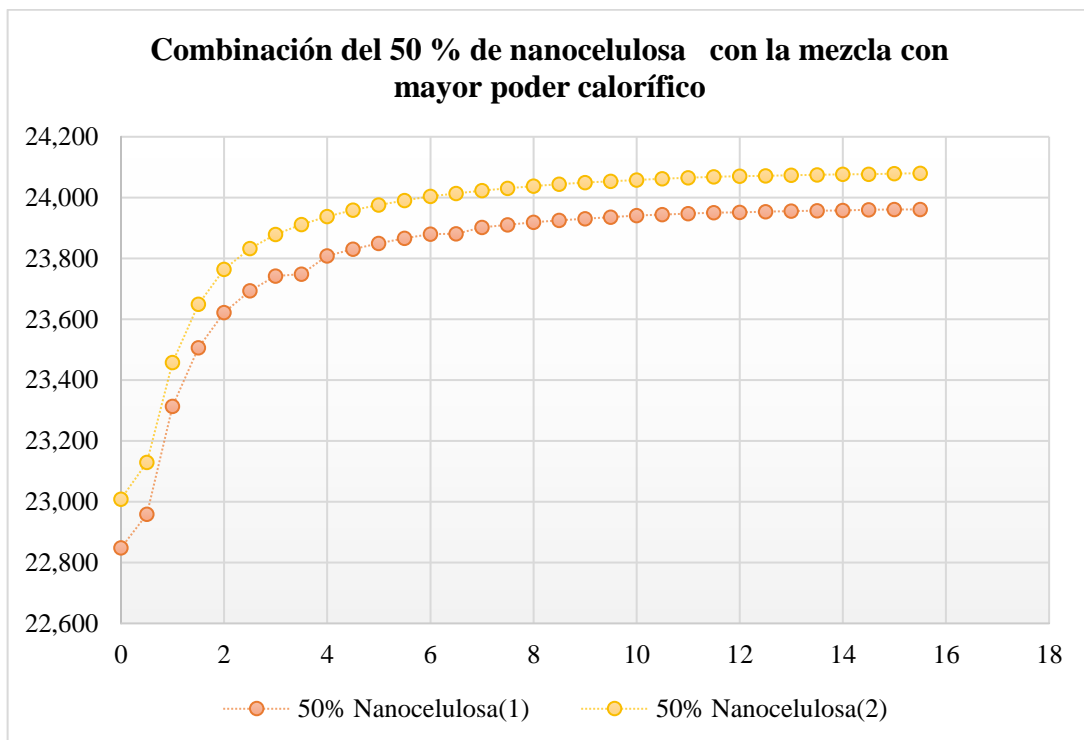


Ilustración 13-4: Resultado de las variaciones de temperaturas de las muestras con 50 % de la mezcla de residuos y 50% de nanocelulosa para los análisis del poder calorífico

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.6. Resultados de las briquetas



Ilustración 14-4: Briquetas de cáscara de café y tallo de plátano

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Para la elaboración de las briquetas se utilizó la combinación de 25% de tallo de plátano y 75% de cáscara de café, siendo esta la formulación con un alto poder calorífico 42117.86 J/g, debido que es necesario la adición del tallo de plátano porque este ayuda a la compactación y dureza de las briquetas evitando así la formación de grietas, además, se realizaron pruebas de ensayo y error para establecer los parámetros óptimos para la fabricación de briquetas y con una gata hidráulica se generó la presión necesaria para compactación de las biomásas, obteniendo como resultado aproximadamente 240 briquetas con una longitud 4.5cm, peso 25 cm y un diámetro de 3.2 cm.

Tabla 21-4: Resultados de las briquetas (parámetros)

Parámetros	<ul style="list-style-type: none">• Longitud 4.5 cm• Peso 25cm• Diámetro de 3.2 cm
------------	--

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.7. Análisis estadístico

Tabla 22-4: Resumen del análisis ANOVA de varianza de un factor

ANÁLISIS DE VARIANZA DE UN FACTOR				
RESUMEN				
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Poder calorífico J/g Inicial	8	336942,8368	42117,8546	7,71429E-08
Poder calorífico J/g Final	8	352400,2801	44050,03501	1920321,704

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

Tabla 23-4: Resultados del análisis de varianza ANOVA de los residuos agroindustriales

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	14933284,6	1	14933284,59	15,5528988	0,00146980	4,60010994
Dentro de los grupos	13442251,9	14	960160,8522			
Total	28375536,5	15				

Realizado por: Medina, Rosa, 2022.

4.8. Prueba de Hipótesis

H_0 : Al añadir nanocelulosa en los residuos agroindustriales se conseguirá un aumento en el poder calorífico.

H_1 : Al añadir nanocelulosa en los residuos agroindustriales no se conseguirá un aumento en el poder calorífico

$$H_0: \text{Poder calorífico} > 42117,8549 \text{ J/g}$$

$$H_1: \text{Poder calorífico} < 42117,8549 \text{ J/g}$$

Para sustentar la hipótesis planteada se generó un análisis estadístico ANOVA, obteniendo la F estadística y la F crítica; al comparar los valores de estas tenemos 15,5528 y 4,6001 respectivamente, con esto podemos concluir que de acuerdo con el análisis estadístico ANOVA la F estadística es mayor a la F crítica, esto conlleva a la aceptación de la hipótesis nula : al añadir nanocelulosa en los residuos agroindustriales se conseguirá un aumento en el poder calorífico.

4.9. Discusión

El poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano dieron como resultado 44261.2845 J/g y 35767.079 J/g respectivamente, afirmando que la cáscara de café tiene un poder calorífico mayor a comparación del tallo de plátano, de acuerdo con Moreno et al., (2021) la cascara de café es una biomasa que presenta buenos rendimientos y se puede utilizar como un sustituyente en un biocombustible. La humedad obtenida de los residuos es menor al 15% a comparación Beltrón et al., (2019) indicándonos la eficiencia de los residuos y especialmente de la cáscara de café, contiene un alto contenido de carbono que al oxidarse genera CO_2 , por lo tanto, esta reacción es exotérmica generando desprendimiento de energía en forma de calor, que su vez ayudara al rendimiento de la combustión. Las biomásas están compuestas de restos (cenizas), que cumplen un papel importante dentro de los análisis proximales tal como lo menciona Beltrón et al., (2019), un bajo contenido de ceniza en los residuos sólidos agroindustriales indica una mayor calidad en el poder calorífico, ya que mayor contenido de ceniza, muestra mayor cantidad de elementos inorgánicos. Estos elementos inorgánicos podrían afectar la eficiencia del poder calorífico de los residuos agroindustriales ya que están en un rango 2.5 - 2.8 teniendo así un bajo contenido de ceniza. Las biomásas son materiales de producción de energía versátil que pueden utilizarse como biomaterial, además, pueden combinarse para mejorar sus propiedades, como lo asegura Yu et al., (2021, p. 1), la nanocelulosa que posee grupos de funcionalización activos, resistencia mecánica y cristalinidad, que puede favorecer las propiedades de las biomásas, pero en el estudio se encontró una desventaja al momento de usar nanocelulosa, la cantidad necesaria para elevar el poder calorífico significativamente no justifica la cantidad necesaria para su uso a escala industrial, por lo contrario el uso de proporciones bajas de tallo de plátano es necesario porque este ayudo al presentado de las briquetas obtenidas dando como resultado una briqueta salida y no quebradiza.

CONCLUSIONES

- Se determinó el poder calorífico de residuos sólidos agroindustriales de cáscara de café y tallo de plátano combinados en diferentes proporciones con nanocelulosa para la formulación de una mezcla con alto poder calorífico y como lo demuestran los resultados obtenidos, las diferentes combinaciones no fueron eficientes debido a que con una proporción óptima se puede elevar el poder y por ende, no es aplicable en la industria debido a que no es rentable usar nanocelulosa en altas proporciones.
- Se identificó las biomásas de cáscara de café y tallo de plátano mediante análisis proximal de humedad, ceniza, carbono y nitrógeno, obteniendo como resultado un alto porcentaje de carbono (32.37% y 43.65%) y un bajo porcentaje de ceniza (2.57% y 8.74 %) a menor proporción de ceniza, menor cantidad de elementos inorgánicos, los cuales no se oxidarían con facilidad y generarían un bajo poder calorífico en los análisis de los residuos y no serían aptos para utilizarlos como fuente de energía.
- La nanocelulosa se caracterizó mediante análisis de espectro infrarrojo y análisis de microscopio de barrido SEM, obteniendo como resultado que si pertenece al rango de nano. Esto ayudo a elevar el poder calorífico de los residuos sólidos agroindustriales a 45332,9992 J/g, superando el poder calorífico inicial de los residuos.
- El poder calorífico obtenido de las biomásas de cáscara de café y tallo de plátano se compararon con la biomasa de otros residuos sólidos agroindustriales (cáscara de piña, bagazo, tuza, cáscara de papa y quinua). Los valores caloríficos fueron 41893,69 J/g, 24096,05 J/g, 41540,78 J/g, 40487,31 J/g y 43012,58 J/g respectivamente, siendo la cáscara de café la que presentó el valor calorífico más alto con 44261,2845 J/g, seguida de los tallos de quinua. Esto demuestra que los residuos agroindustriales de la agricultura pueden utilizarse como fuente de energía alternativa.
- A partir de los residuos sólidos agroindustriales se elaboraron briquetas combinando un 25% de tallo de plátano y 75% de cáscara de café, siendo esta la formulación con un alto poder calorífico 42117.8549 J/g y para la elaboración de la misma se realizaron pruebas de ensayo y error para establecer los parámetros óptimos para la fabricación de briquetas y con una gata hidráulica se generó la presión necesaria para compactación de las biomásas, obteniendo como resultado aproximadamente 240 briquetas con una longitud 4.5cm, peso 25 cm y un diámetro de 3.2 cm.

RECOMENDACIONES

- Tener en cuenta cuando se quiera sintetizar la nanocelulosa, se debe tener los equipos apropiados para su desarrollo, dado que el método químico es muy complejo y el método mecánico se tiene que tener el molino propio de partículas pequeñas y aparte que es un equipo difícil de conseguir.
- Es conveniente seguir con más investigaciones de otros residuos agroindustriales, ya que una de las materias primas (tallo de plátano) no fue viable para el aumento del poder calorífico.
- Para los análisis de característica energética, se debe tener en cuenta que al trabajar con la bomba calorimétrica se debe dejar descansar al equipo ya que al realizar muchos análisis seguidos se puede estabilizar el agua y puede generar errores en los datos.
- En los análisis para la obtención de poder calorífico de los residuos se tiene que realizar un mantenimiento a la capsula de ignición para cada análisis que se quiera realizar para obtener datos precisos.

GLOSARIO

Analito: Es una especie química que se puede identificar y cuantificar. Por lo cual está relacionado con la determinación de su cantidad y concentración en un proceso de medición química representa un tipo especial de variable de medición en metrología química. (Nicolae et al., 2022, p.5).

Briquetas: Se producen por conglomeración, es decir se obtiene mediante la incorporación de los materiales de biomasa de desecho en una unidad sólida uniforme utilizable de manera similar a la leña o el carbón. La fabricación de briquetas a partir de materiales de biomasa podría contribuir sustancialmente al avance económico de los países en desarrollo al ayudar a satisfacer las demandas energéticas y ambientales seguras de los sectores urbano e industrial (Nikiema et al., 2022, p 4).

Energías renovables: Las fuentes de energía renovable pueden disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, favoreciendo la desaceleración del cambio climático(Shang et al., 2022, p.1).

Contenido de humedad en los residuos: El contenido de humedad durante la descomposición aeróbica puede variar entre 8 y 90%, esto depende del tipo de material, por ejemplo, para pulpa o residuos forestales el nivel ideal es de 75 a 85%, mientras que la experiencia práctica muestra esto para material cuando está fresco, la actividad óptima se logra con un contenido de humedad de entre 40 y 60%. Un mayor contenido de humedad es desventajoso porque dificulta el acceso al aire microorganismos en descomposición y, por lo tanto, promueve la formación de un entorno anaeróbico (Patil et al., 2022, p.3).

Cable de ignición: Es un conductor altamente aislado para conducir cargas de alta potencia en muy poco tiempo (Vikhareva et al., 2022, pp.2-3).

Nanocristales de celulosa: Los nanocristales de celulosa se pueden obtener a partir de residuos agrícolas, comúnmente conocidos como materiales lignocelulósicos debido a su contenido celulosa, lignina y hemicelulosa, que es una forma interesante de darle alto valor agregado para los productos de desecho (Lv et al., 2022, p. 5).

Mezcla: Es la combinación de dos o más componentes que están unidos física, pero no químicamente. Esto significa que no se produce ninguna reacción química entre ellos, ya que cada componente conserva su identidad y propiedades químicas, incluso si no podemos distinguir un componente del otro (Shrestha et al., 2022, p.3).

Elementos inorgánicos: Es todo aquello que no tiene carbono como elemento principal y donde no se produce un enlace covalente entre el carbono y el hidrógeno. El tipo de enlace más común en este compuesto es el iónico (Dupont et al., 2016, p.5).

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, D. Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador. (Trabajo de titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Ambiental. Cuenca-Ecuador. 2019. pp. 1-56.

AKINWUMI, R.; et al. “An overview of the production and prospect of polyhydroxyalkanoate (PHA)-based biofuels: Opportunities and limitations”. *Scientific African*, [En línea], 2022, 16(1), pp. 12–33. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2022.E01233>

AKOLGO, G.; et al. “Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests”. *Scientific African* [En línea], 2021, 12 (1). p. 789. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00789>

AULA, N.; & BERARDINO, S. Calorific power. *Mestrado integrado em engenharia da energia e do ambiente*. 2018. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1011/j.matpr.2018.01.407>

BACHA, E. “Response Surface Methodology Modeling, Experimental Validation, and Optimization of Acid Hydrolysis Process Parameters for Nanocellulose Extraction”. *South African Journal of Chemical Engineering* [En línea], 2022, 40(1), pp. 176–185. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.03.003>

BALACHANDAR, V.; et al. “Experimental study on ash content & calorific value of coal used in thermal power station”. *Materials Today: Proceedings* [En línea], 2021, 45(1), pp. 457–461. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.01.507>

BANDARA, W.; et al. “Potential to use invasive plants in biomass energy production: A case study *Prosopis juliflora* in coastal wetlands of Sri Lanka”. *Trees, Forests and People* [En línea], 2022, 10(1), p. 1003030. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.TFP.2022.100330>

BELTRÓN, I.; et al. “Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica”. *Revista RIEMAT*, 2019, 4(1), pp. 1-56.

DEEPAK, B.; & JNANESH, A. “Analysis of Various Characteristics of Coconut Leaves as a Biomass Briquette”. *Advances in Mechanical Engineering Science* [En línea], 2016. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <http://www.ijettjournal.org>

DUPONT, C.; et al. “How inorganic elements of biomass influence char steam gasification kinetics” *Energy* [En línea], 2016, 9(1), pp. 430–435. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2016.04.094>

FENGEL, W.; & SJÖSTRÖM, M. *FUNDAMENTOS - MATERIALES LIGNOCELULOSICOS*. 2015. pp. 1-56.

FERREIRA, L.; et al. “Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil”. *In Renewable and Sustainable Energy Reviews* [En línea], 2018, 94(1), pp. 440–455. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.034>

GAVRILESCU, M. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2018. pp. 1-5.

GRANDA, D.; et al. Utilization of plantain waste for the production of secondary metabolites by solid substrate fermentation using the fungi *Lentinus crinitus*. *VITAE*. Vol. 12, n° 2 (2015). p. 65.

LI, S.; et al. “Nanocellulose as a promising substrate for advanced sensors and their applications”. *International Journal of Biological Macromolecules* [En línea], 2022, 218(1), pp. 473–487. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.07.124>

LIM, H. “Oil palm-based nanocellulose for a sustainable future: Where are we now?” *Journal of Environmental Chemical Engineering* [En línea]. 2022, 10(2), p. 107371. [Consulta: 2 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107271>

LUCAS, A. *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. 2016.

LV, Y.; et al. “Biological and intracellular fates of drug nanocrystals through different delivery routes: Recent development enabled by bioimaging and PK modeling”. *Advanced Drug Delivery Reviews* [En línea], 2022, 188(1), p. 114466. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ADDR.2022.114466>

MANRIQUE, A.; & RIVERA, D. Aprovechamiento de los residuos del pseudotallo del banano comun (*musa sp AAA*) y del bocadillo (*musa sp AA*) para la extracción de fibras textiles. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología. 2012. pp. 2-83.

MENDOZA, J.; et al. “Fabricación de biocombustibles sólidos densificados (briquetas) a base de serrín de acacia y estiércol de bovinos en el departamento de Córdoba Manufacture of densified solid biofuels (briquettes) made of acacia sawdust and cattle manure in the region of Cordoba”. *Revista chilena de ingeniería*, 2020, 28(3), pp.14.

MENDOZA, J.; et al. “Manufacture of densified solid biofuels (Briquettes) made of acacia sawdust and cattle manure in the region of Cordoba”. *Ingeniare* [En línea], 2020, 28(3), pp. 448–460. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000300448>

MORENO-ARIAS, C. A.; et al. “Panorama internacional del uso de la borra de café como biocombustible sólido. Revisión de estudios a nivel mundial”. *Gestión y Ambiente* [En línea], 2021, 24(2), p. 95261. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.95261>

MORENO-ARIAS, C. A.; et al. “Panorama internacional del uso de la borra de café como biocombustible sólido. Revisión de estudios a nivel mundial”. *Gestión y Ambiente* [En línea], 2021, 24(2), p. 95261. [Consulta: 18 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/ga.v24n2.95261>

MUÑOZ, D.; et al. “Potencial energético de residuos agroindustriales del departamento del cauca, a partir del poder calorífico inferior”. *Rev.Bio.Agro* [En línea], 2013, 11(2), pp. 1-15. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200018

NICOLAE, I.; et al. 2022. “Analyte discrimination by SAW sensor variable loop amplification probing”. *Sensors and Actuators B: Chemical* [En línea], 2022, 358(1), p. 131480. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.SNB.2022.131480>

NIKIEMA, J.; et al. “Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes.” *Resources, Conservation & Recycling Advances* [En línea], 2022, 15(1), p. 200095. [Consulta: 2 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2022.200095>

OBENG, G.; et al. “Coconut Wastes as Bioresource for Sustainable Energy: Quantifying Wastes, Calorific Values and Emissions in Ghana”. *Energies* [En línea]. 2020, 13(9), p.2178. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en13092178>

OKOT, D.; et al. “Briquetting characteristics of bean straw-maize cob blend”. *Biomass and Bioenergy* [En línea], 2019, 126(1), pp. 150–158. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.009>

OZYUGURAN, A., et al. “Optimal use of condensed parameters of ultimate analysis to predict the calorific value of biomass”. *Fuel* [En línea], 2018, 214(1), pp. 640–646. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.082>

PATIL, U.; et al. “High performance humidity sensor based on crystalline copper tungstate nanoparticles at room temperature”. *Materials Science and Engineering: B* [En línea], 2022, 284(1), p. 115874. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MSEB.2022.115874>

PÉREZ, E.; et al. La producción y el consumo del café. *ECORFAN* [En línea]. 2016. Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: www.ecorfan.org/spain

PFAU, S. F.; et al. “Life cycle greenhouse gas benefits or burdens of residual biomass from landscape management”. *Journal of Cleaner Production* [En línea], 2019, 220(1), pp. 698–706. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.001>

RUAN, R.; et al. *Biofuels: Introduction. In Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous*

Biofuels [En línea], 2019, pp. 3–43. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816856-1.00001-4>

RUIZ, F.; & TAGLE, E. *Celulosa*. 2018. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <http://creatividadpersuasiva.cl/papelnet>

SABIO, C.; et al. *Manual del cultivo de banano* [En línea]. Departamento de protección vegetal Zamorano. 2015. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/b2940530-4907-4d2f-bd02-bcd9d61c43b8/content>

SALEEM, M. “Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source”. *In Heliyon* [En línea], 2022, 8(2), p. 679 [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08905>

SHANG, Y.; et al. “The impact of climate policy uncertainty on renewable and non-renewable energy demand in the United States”. *Renewable Energy* [En línea]. 2022, 197(7), pp. 654-667. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2022.07.159>

SHRESTHA, S.; et al. “Formulation of the agro-waste mixture for multi-enzyme (pectinase, xylanase, and cellulase) production by mixture design method exploiting *Streptomyces sp*”. *Bioresource Technology Reports* [En línea], 2022, 19(1), p. 101142. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.BITEB.2022.101142>

THAKUR, V. K. *Nanocellulose polymer nanocomposites : fundamentals and applications*. 2015, p.513.

TRACHE, D.; et al. “Nanocellulose: From Fundamentals to Advanced Applications. To Advanced Applications”. *Frontiers in Chemistry* [En línea], 2020, 8(1) p. 392. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fchem.2020.00392i>

VIKHAREVA, I.; et al. “Modeling the formulation of the PVC cable composition”. *Transportation Research Procedia* [En línea], 2022, 63(1), pp. 140–148. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2022.05.016>

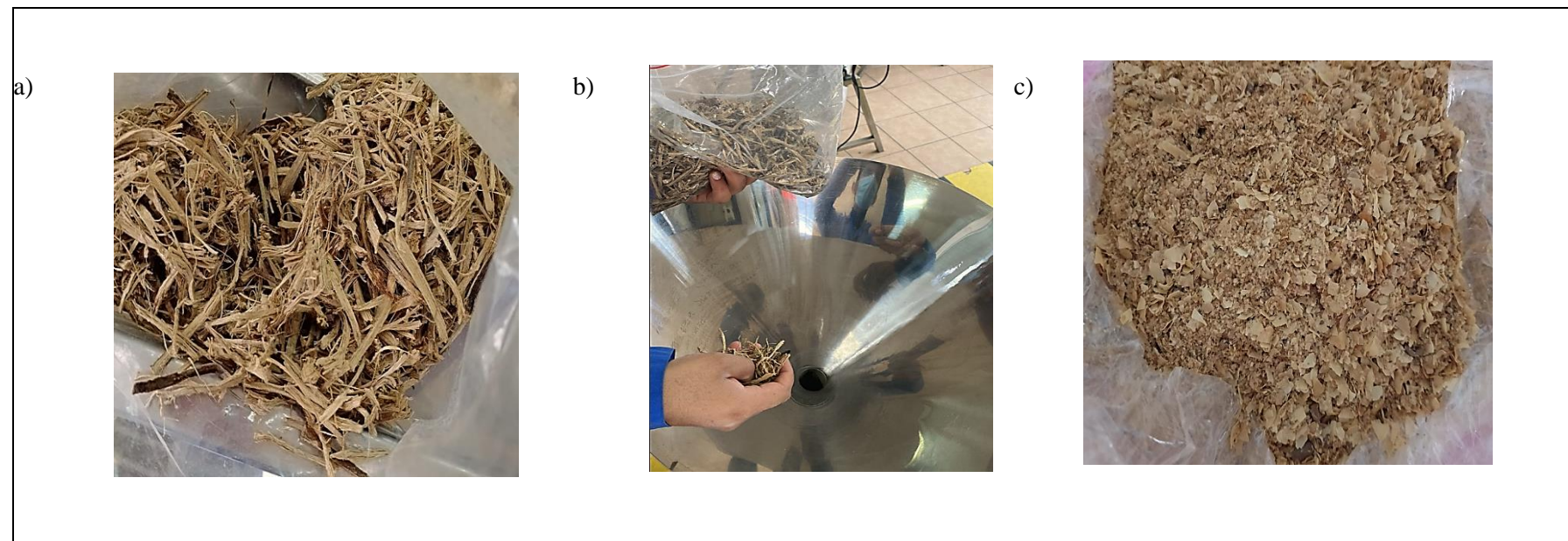
WANG, L. “A method for in-situ measurement of calorific value of coal: a numerical study”. *Thermochimica Acta* [En línea], 2021, 703(1), p. 179011. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2021.179011>

YU, S.; et al. “Nanocellulose from various biomass wastes: Its preparation and potential usages towards the high value-added products”. *Environmental Science and Ecotechnology* [En línea], 2021, 5(1), p. 10007. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ESE.2020.100077>

YU, S.; et al. “Sustainable carbon materials from the pyrolysis of lignocellulosic biomass”. *Materials Today Sustainability* [En línea], 2022, 19(1), p. 100209. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2022.100209>

ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE LA MATERIA PRIMA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth</p>	TEMA												
a) Tallo de plátano. b) Trituración del tallo de plátano. c) Cáscara de café.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">CERTIFICADO</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">APROBADO</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">POR APROBAR</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">X</td><td style="padding: 2px;">POR VERIFICAR</td></tr> </table>			CERTIFICADO		APROBADO		POR APROBAR		POR CALIFICAR	X	POR VERIFICAR	<p>“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA”</p>	ESCALA	FECHA
	CERTIFICADO														
	APROBADO														
	POR APROBAR														
	POR CALIFICAR														
X	POR VERIFICAR														
			1:1	08/12/2022	1										

ANEXO B: PESAJE DEL MATERIAL

d)



e)



f)



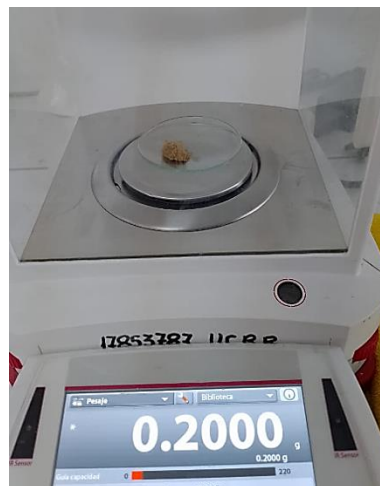
NOTAS		CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	TEMA															
d) Peso de la cáscara de café. e) Pesos del tallo de plátano. f) Residuo del proceso de ceniza de las materias primas.		<table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROBADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROBAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth			“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA”		
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																	
<input type="checkbox"/>	APROBADO																	
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																	
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																	
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																	
			ESCALA	FECHA	LÁMINA													
			1:1	08/12/2022	2													

ANEXO C: IDENTIFICCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA

g)



h)

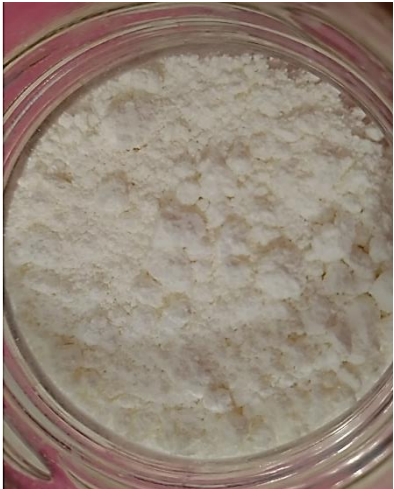
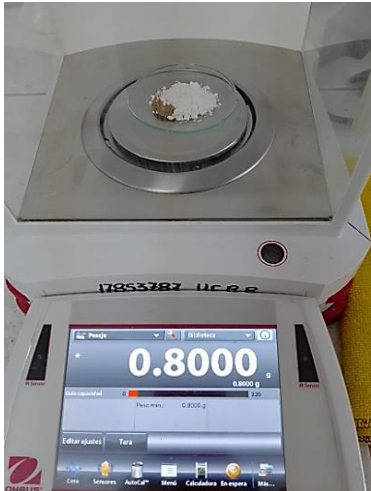



i)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth</p>	TEMA												
<p>g) Muestras de los residuos sólidos agroindustriales de la cáscara de café y tallo de plátano.</p> <p>h) Peso de la muestra al 25% de 0,8g.</p> <p>i) Muestra recolectada de los diferentes porcentajes de los residuos.</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	<p>“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA”</p>	ESCALA 1:1	FECHA 08/12/2022
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO														
<input type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														

ANEXO D: OBTENCIÓN DE LA NANOCELULOSA

<p>j)</p> 	<p>k)</p> 	<p>l)</p> 											
<p>NOTAS</p> <p>j) Obtención de la síntesis de la nanocelulosa.</p> <p>k) Peso de los diferentes porcentajes de nanocelulosa y la mezcla con mayor poder calorífico.</p> <p>l) Preparación de muestra y colocación de cable de ignición en la capsula de inmisi3n.</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <table border="1" data-bbox="736 951 786 1166"> <tbody> <tr><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table> <p>CERTIFICADO APROBADO POR APROBAR POR CALIFICAR POR VERIFICAR</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth</p>	<p>TEMA</p> <p>“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA”</p> <table border="1" data-bbox="1628 1131 2047 1204"> <thead> <tr> <th>ESCALA</th> <th>FECHA</th> <th>LÁMINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1:1</td> <td>08/12/2022</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	ESCALA	FECHA	LÁMINA	1:1	08/12/2022	4
<input type="checkbox"/>													
<input type="checkbox"/>													
<input type="checkbox"/>													
<input checked="" type="checkbox"/>													
ESCALA	FECHA	LÁMINA											
1:1	08/12/2022	4											

ANEXO E: ANÁLISIS Y RECOLECCIÓN DE DATOS

m)



n)



o)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA	TEMA												
m) Bomba calorimétrica. n) Recolección de los datos de los análisis de la bomba calorimétrica. o) Resultado del proceso del poder calorífico de las muestras.	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">CERTIFICADO</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">APROBADO</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">POR APROBAR</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px;"></td><td style="padding: 2px;">POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">X</td><td style="padding: 2px;">POR VERIFICAR</td></tr> </table>		CERTIFICADO		APROBADO		POR APROBAR		POR CALIFICAR	X	POR VERIFICAR	REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth	“DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA”		
	CERTIFICADO														
	APROBADO														
	POR APROBAR														
	POR CALIFICAR														
X	POR VERIFICAR														
			ESCALA	FECHA	LÁMINA										
			1:1	08/12/2022	5										

ANEXO F: ELABORACIÓN DE BRIQUETAS



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p align="center"> ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: Medina Cabrera Rosa Elizabeth </p>	TEMA												
p) Materia prima para la elaboración de briquetas. q) Prensa hidráulica modificada para la elaboración de briquetas. r) Briquetas de cáscara de café y tallo de plátano.	<table border="1"> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>CERTIFICADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>APROBADO</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR APROBAR</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/></td><td>POR CALIFICAR</td></tr> <tr><td><input checked="" type="checkbox"/></td><td>POR VERIFICAR</td></tr> </table>		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	<p align="center"> “DETERMINACIÓN DEL PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIALES DE CÁSCARA DE CAFÉ Y TALLO DE PLÁTANO COMBINADOS CON NANOCELULOSA” </p>	ESCALA	FECHA
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO														
<input type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input checked="" type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														
			1:1	08/12/2022	6										