# UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

**Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente**

**Carrera de Agroindustria**

TEMA:

# PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS A PARTIR DE BIOMASA VEGETALES MADERABLES, PARA SU UTILIZACIÓN EN COCINAS TIPO ROCKET.

Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar, a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agroindustria.


Autores:

Derian Andres Pelagallo Chora

Neyser Abel Rochina Rochina

Tutor:

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD


Guaranda – Ecuador

2026

PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS A PARTIR DE BIOMASA VEGETALES MADERABLES, PARA SU UTILIZACIÓN EN COCINAS TIPO ROCKET

**REVISADO Y APROBADO POR:**

**Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD**

**TUTOR**

**Ing. Franz Verdezoto Mendoza Mg**

**PAR LECTOR(A)**

**Ing. Deysi Guanga Chunata**

**PAR LECTOR(A)**

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Pelagallo Chora Derian Andres con CI: 1754484135 y Rochina Rochina Neyser Abel, CI: 0250221611, declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, su Reglamento y Normativa Institucional vigente.

.....

Pelagallo Chora Derian Andres

CI: 1754484135

.....

Rochina Rochina Neyser Abel

CI: 0250221611

.....

Ing. Juan Alberto Gaibor Chávez PhD

CI: 0201051687

DECLARACION JURADA

DERIAN ANDRES PELAGALLO CHORA Y NEYSER ABEL ROCHINA ROCHINA

En la ciudad de Guaranda, Capital de la Provincia de Bolívar, República del Ecuador, hoy día, VIERNES, VEINTE DE FEBRERO DEL DOS MIL VEINTE Y SEIS, ante mí Doctor GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN, NOTARIO PÚBLICO PRIMERO DEL CANTÓN GUARANDA, comparecen el señor DERIAN ANDRES PELAGALLO CHORA, de estado civil soltero, por sus propios derechos; Y, el señor NEYSER ABEL ROCHINA ROCHINA, de estado civil soltero, por sus propios derechos. Los comparecientes son de nacionalidad ecuatoriana, mayores de edad, capaces de contraer obligaciones, domiciliados en esta ciudad y Cantón, a quienes de conocer doy fe en virtud de haberme exhibido sus cédulas de ciudadanía y papeletas de votación cuyas copias adjunto a esta escritura.- Advertidos por mí el Notario de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinados de que comparecen al otorgamiento de la misma sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción, juramentados en debida forma, prevenidos de la gravedad del juramento, de las penas de perjurio y de la obligación que tiene de decir la verdad con claridad y exactitud, bajo juramento declaran lo siguiente: "Previo a la obtención del título de Ingenieros Agroindustriales de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Estatal de Bolívar, manifestamos que los criterios e ideas emitidas en el presente trabajo de investigación titulado "**PROCESO DE ELABORACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS A PARTIR DE BIOMASA VEGETALES MADERABLES, PARA SU UTILIZACIÓN EN COCINAS TIPO ROCKET**, son de nuestra exclusiva responsabilidad en calidad de autores". Para el otorgamiento de esta escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso. Leída que les fue a los comparecientes íntegramente por mí el Notario, se ratifican en todo su contenido y firman conmigo en unidad de acto, e incorporo esta escritura pública al protocolo de instrumentos públicos, a mi cargo. De todo lo cual doy fe.-

---

Señor DERIAN ANDRES PELAGALLO CHORA
C.C. 175448413-5
DECLARANTE

---

Señor NEYSER ABEL ROCHINA ROCHINA
C.C.025022161-1

---

Doctor Guido Fabián Fierro Barragán
NOTARIO PÚBLICO PRIMERO DEL CANTÓN GUARANDA


CÉDULA DE IDENTIDAD

REPÚBLICA DEL ECUADOR

DIRECCIÓN GENERAL DE REGISTRO CIVIL, IDENTIFICACIÓN Y CEDULACIÓN

APELLIDOS
PELAGALLO
CHORA

CONDICIÓN CIUDADANÍA

NOMBRES
DERIAN ANDRES

NACIONALIDAD
ECUATORIANA

FECHA DE NACIMIENTO
27 MAY 2002

LUGAR DE NACIMIENTO
PICHINCHA QUITO
VILLAFLORA

SEXO
HOMBRE

No. DOCUMENTO
049521083

FECHA DE VENCIMIENTO
26 ENE 2033

NAT/CAN
851049

FIRMA DEL TITULAR

NUI.1754484135


APELLIDOS Y NOMBRES DEL PADRE
PELAGALLO FUELA GERARDO ALIXZARDO

APELLIDOS Y NOMBRES DE LA MADRE
CHORA QUILLE ELIANA DEL CARMEN

ESTADO CIVIL
SOLTERO

CÓDIGO DACTILAR
E3333I1122

TIPO SANGRE O+

DONANTE
SI

LUGAR Y FECHA DE EMISIÓN
GUARANDA 26 ENE 2023

DIRECTOR GENERAL

I<ECU0495210830<<<<<1754484135
0205274M3301269ECU<SI<<<<<<<<8
PELAGALLO<CHORA<<DERIAN<ANDRES


CÉDULA DE IDENTIDAD

REPÚBLICA DEL ECUADOR

DIRECCIÓN GENERAL DE REGISTRO CIVIL, IDENTIFICACIÓN Y CEDULACIÓN

APELLIDOS
ROCHINA
ROCHINA

CONDICIÓN CIUDADANÍA

NOMBRES
NEYSER ABEL

NACIONALIDAD
ECUATORIANA

FECHA DE NACIMIENTO
01 MAY 2002

LUGAR DE NACIMIENTO
BOLIVAR GUARANDA
GUANUJO

SEXO
HOMBRE

No. DOCUMENTO
090718072

FECHA DE VENCIMIENTO
01 ABR 2031

NAT/CAN
706442

FIRMA DEL TITULAR

NUI.0250221611


APELLIDOS Y NOMBRES DEL PADRE
ROCHINA GARCIA SEGUNDO MANUEL

APELLIDOS Y NOMBRES DE LA MADRE
ROCHINA ROCHINA MARIA GREGORIA

ESTADO CIVIL
SOLTERO

CÓDIGO DACTILAR
V4344V4242

TIPO SANGRE O+

DONANTE
No donante

LUGAR Y FECHA DE EMISIÓN
GUARANDA 01 ABR 2021

DIRECTOR GENERAL

I<ECU0007180723<<<<<0250221611
0205012M3104013ECU<NO<DONANTE1
ROCHINA<ROCHINA<<NEYSER<ABEL<<


CERTIFICADO DE VOTACIÓN
16 DE NOVIEMBRE DE 2025

PELAGALLO CHORA DERIAN ANDRES

N° 39149441

PROVINCIA: PICHINCHA

CIRCUNSCRIPCIÓN:

CANTÓN: QUITO

PARROQUIA: LA MAGDALENA

ZONA: 1

JUNTA No. 0053 MASCULINO

CC N°: 1754484135


CERTIFICADO DE VOTACIÓN
16 DE NOVIEMBRE DE 2025

ROCHINA ROCHINA NEYSER ABEL

N° 17758624

PROVINCIA: BOLIVAR

CIRCUNSCRIPCIÓN:

CANTÓN: ECHEANDIA

PARROQUIA: ECHEANDIA

ZONA: 1

JUNTA No. 0016 MASCULINO

CC N°: 0250221611

DOY FE: Que esta copia fotostática
ES EXACTA A SU ORIGINAL
que me fue exhibido.

Guaranda 20 de Noviembre del 2025

Dr. Guido Fierro Barragán
NOTARIO PUBLICO 1ro. DEL CANTON GUARANDA

Factura: 001-002-000053791

20260201001P00261

NOTARIO(A) GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN

NOTARÍA PRIMERA DEL CANTON GUARANDA

EXTRACTO

| | |
|---|---|
| **Escritura N°:** | 20260201001P00261 |

| **ACTO O CONTRATO:** | |
|---|---|
| DECLARACIÓN JURAMENTADA PERSONA NATURAL | |
| **FECHA DE OTORGAMIENTO:** | 20 DE FEBRERO DEL 2026, (14:26) |

**OTORGANTES**

**OTORGADO POR**

| Persona | Nombres/Razón social | Tipo interviniente | Documento de identidad | No. Identificación | Nacionalidad | Calidad | Persona que le representa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Natural | PELAGALLO CHORA DERIAN ANDRES | POR SUS PROPIOS DERECHOS | CÉDULA | 1754484135 | ECUATORIANA | COMPARECIENTE | |
| Natural | ROCHINA ROCHINA NEYSER ABEL | POR SUS PROPIOS DERECHOS | CÉDULA | 0250221611 | ECUATORIANA | COMPARECIENTE | |

**A FAVOR DE**

| Persona | Nombres/Razón social | Tipo interviniente | Documento de identidad | No. Identificación | Nacionalidad | Calidad | Persona que representa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

**UBICACIÓN**

| Provincia | Cantón | Parroquia |
|---|---|---|
| BOLÍVAR | GUARANDA | GABRIEL I VEINTIMILLA |

| | |
|---|---|
| **DESCRIPCIÓN DOCUMENTO:** | |
| **OBJETO/OBSERVACIONES:** | |

| | |
|---|---|
| **CUANTÍA DEL ACTO O CONTRATO:** | INDETERMINADA |

NOTARIO(A) GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN

NOTARÍA PRIMERA DEL CANTÓN GUARANDA

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
*magister*

# TESIS_BIOCOMBUSTIBLE_SOLIDO

**9%** Textos sospechosos

- 5% **Similitudes**
  - 0 % similitudes entre comillas
  - < 1 % entre las fuentes mencionadas
- 4% **Idiomas no reconocidos**
- 12% **Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)**

**Nombre del documento:** TESIS_BIOCOMBUSTIBLE_SOLIDO.docx
**ID del documento:** 451e2504d011c28d8fef464614ef26bdbbf52d7e
**Tamaño del documento original:** 19,56 MB

**Depositante:** JUAN ALBERTO GAIBOR CHAVEZ
**Fecha de depósito:** 29/1/2026
**Tipo de carga:** interface
**fecha de fin de análisis:** 29/1/2026

**Número de palabras:** 18.958
**Número de caracteres:** 138.044

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

| Nº | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **dspace.ueb.edu.ec**<br>https://dspace.ueb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f36a5cc2-bc6e-4bfc-861a-0b57970fb45...<br>**3 fuentes similares** | 2% | | Palabras idénticas: 2% (482 palabras) |
| 2 | **dspace.ueb.edu.ec**<br>https://dspace.ueb.edu.ec/bitstreams/23914116-c13a-4338-9959-4b2842d65d9e/download<br>**1 fuente similar** | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (124 palabras) |
| 3 | **www.osti.gov** \| Pilot-Scale Pelleting Tests on High-Moisture Pine, Switchgrass, an...<br>https://www.osti.gov/biblio/1840614 | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (28 palabras) |
| 4 | **www.mendeley.com** \| Impact of the chemical compositio... preview & related inf...<br>https://www.mendeley.com/catalogue/498b360f-4412-3a52-87a3-961be55a02ab/ | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (32 palabras) |
| 5 | **doi.org** \| Biocombustibles mediante residuos agroindustriales: por un mejor cuid...<br>https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1410 | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (21 palabras) |

## Fuentes con similitudes fortuitas

| Nº | Descripciones | Similitudes | Ubicaciones | Datos adicionales |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **doi.org** \| Quantification of plant biomass composition via a single FTIR absorption...<br>https://doi.org/10.1007/s13399-025-06858-1 | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (39 palabras) |
| 2 | **doi.org** \| Factibilidad de producción de Hidrógeno verde en el Ecuador<br>https://doi.org/10.31243/id.v16.2022.1805 | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (33 palabras) |
| 3 | **doi.org** \| Unlocking power: impact of physical and mechanical properties of biom...<br>https://doi.org/10.1007/s12649-024-02669-z | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (32 palabras) |
| 4 | **link.springer.com** \| Influence of lignocellulosic composition in biomass waste on ...<br>https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-023-04281-y | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (20 palabras) |
| 5 | **doi.org**<br>https://doi.org/10.24018/ejenergy.2024.4.2.135 | < 1% | | Palabras idénticas: < 1% (18 palabras) |

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106447
2. https://doi.org/10.4067/s0717-92002024000100103
3. https://doi.org/10.3390/en17092137
4. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125680
5. https://doi.org/10.3390/app10186383

020105 1687

## DEDICATORIA

Dedico con profundo amor y gratitud esta tesis a mis padres, Gerardo Pelagallo y Eliana Chora, por ser el pilar fundamental de mi vida. Su apoyo incondicional, sacrificio y amor constante me guiaron en cada paso de este camino. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la dedicación y por creer en mí aun cuando yo dudaba.

A mis hermanos Alexis, Douglas y Lizbeth, por su confianza, palabras de aliento y motivación constante para seguir adelante.

A mi abuelita Marianita Fuela, por su compañía, cariño y sabios consejos que han sido una fuente de fortaleza e inspiración.

Finalmente, a la memoria de mi tía Alexandra Chora, cuyo ejemplo de trabajo y dedicación me inspiró cada día. Aunque no esté presente físicamente, su amor y enseñanzas viven en mí y en este logro.

*"No puedo garantizar la victoria, pero siempre prometo luchar hasta el final"*

*Max Verstappen*

***Derian Pelagallo***

## DEDICATORIA

Este trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, quien ha sido mi fortaleza en cada momento de debilidad y mi guía a lo largo de este camino. En los días de cansancio, tu presencia fue el refugio que necesitaba para continuar. Con humildad y gratitud, dedico este logro a ti, porque sin tu bendición nada de lo que soy y lo que he alcanzado tendría sentido.

A mi padre, Manuel Rochina García, hombre de trabajo, esfuerzo y sacrificio incansable, cuyo ejemplo de vida me enseñó desde pequeño que los sueños se construyen con dedicación, honestidad y perseverancia. A mi madre, María Rochina Rochina, mujer de amor infinito y corazón generoso, cuyas palabras de aliento, oraciones y desvelos fueron el motor que impulsó cada paso de este proceso. Juntos forjaron en mí los valores que me permitieron llegar hasta aquí. Este logro no me pertenece solo a mí, es el resultado de años de sacrificio compartido, y por ello este título es tan suyo como mío.

A mis tres hermanos Beatriz, Jhonny y Norma, mis compañeros de vida desde el primer día, quienes con su cariño y su presencia constante me recordaron siempre que no estaba solo en este camino. En los momentos de mayor dificultad, una palabra suya bastaba para recuperar las fuerzas y seguir adelante. Crecer junto a ustedes ha sido uno de los mayores privilegios de mi vida, y este logro lo celebro con la misma emoción con la que espero celebrar cada uno de los suyos.

A María Alarcón Monar, mi compañera, mi apoyo incondicional en los momentos más exigentes de esta etapa. Gracias por estar presente cuando el cansancio pesaba más que las fuerzas, tu amor genuino y por creer firmemente en mí incluso cuando yo dudaba de mí mismo. Este logro lleva también tu nombre, porque sin ti el camino hubiera sido mucho más difícil.

***Neyser Rochina***

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por ser mi guía constante y brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar con éxito este importante objetivo académico.

A mis padres, Gerardo Pelagallo y Eliana Chora, por su amor incondicional, su sacrificio y por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi formación. Gracias por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la humildad. A mis hermanos y demás familiares, por su constante ánimo, comprensión y apoyo, que me impulsaron a no rendirme y a dar siempre lo mejor de mí.

Expreso mi más sincero reconocimiento al Ing. Juan Gaibor Chávez PhD, mi tutor de tesis, por su orientación, paciencia y compromiso durante todo el proceso de investigación. Sus valiosos consejos y su experiencia profesional fueron esenciales para el desarrollo exitoso de este trabajo.

A los pares lectores, Ing. Franz Verdezoto y Ing. Deysi Guanga, por el tiempo dedicado, sus observaciones y sugerencias que enriquecieron la calidad de esta investigación.

A los Laboratorios de Investigación de la Universidad Estatal de Bolívar, en especial al Laboratorio de Biomasa y al Laboratorio de Química Analítica, Ambiente, Agua y Suelos, por facilitar los recursos y equipos necesarios para la ejecución de los ensayos experimentales.

Finalmente, a mi gran amigo y compañero Neyser Rochina, con quien tuve el honor de compartir la elaboración de esta tesis. Gracias por su compañerismo, compromiso y apoyo constante a lo largo de todo el proceso.

Extiendo también mi gratitud a todos mis amigos de la carrera, por su amistad, apoyo y compañía durante este camino universitario. Gracias por compartir conmigo experiencias, aprendizajes y momentos que recordaré siempre con aprecio y gratitud.

***Derian Pelagallo***

## AGRADECIMIENTO

Mi gratitud más profunda a Dios, por brindarme salud, sabiduría y perseverancia durante toda mi formación académica. Gracias, Señor, por poner en mi camino a las personas correctas, por darme una familia que me sostiene y por permitirme culminar con éxito esta etapa tan importante de mi vida.

A la Universidad Estatal de Bolívar, institución que abrió sus puertas para formarme como profesional. A la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, y de manera especial a la Carrera de Agroindustrias, por brindarme los conocimientos, herramientas y valores necesarios para enfrentar con responsabilidad los retos del mundo profesional. A cada uno de los docentes que a lo largo de la carrera compartieron su experiencia y dedicación.

Al Laboratorio de Biomasa y al Laboratorio de Química Analítica, Ambiente, Agua y Suelos, mi más profundo agradecimiento por haber brindado el apoyo necesario para la realización de los análisis en el desarrollo de esta investigación. Gracias al respaldo técnico y al acceso a sus instalaciones y equipos, fue posible obtener resultados confiables que sustentaron el presente trabajo de tesis.

A mi padre Manuel y a mi madre María, el agradecimiento más grande de mi vida, porque sin su esfuerzo diario y su sacrificio constante este sueño jamás hubiera podido materializarse. Su apoyo económico y emocional fue el cimiento sobre el cual construí cada logro académico. Este título es la mejor forma que tengo de devolverles una pequeña parte de todo lo que han dado por mí, con amor, respeto y gratitud eterna.

A Beatriz, Jhonny y Norma, por su respaldo constante a lo largo de toda esta etapa universitaria. Cada llamada, cada visita y cada palabra de motivación fueron pequeños gestos que tuvieron un gran impacto en mi ánimo y en mi determinación para seguir adelante.

A mis tíos, tías, primos y primas, gracias por sus palabras de aliento, y sus buenos deseos fueron una fuente de energía que me acompañó durante toda la carrera. A mis amigos y vecinos, quienes, con su amistad sincera, sus bromas oportunas y sus

palabras de ánimo hicieron más llevadera la distancia y las exigencias de la vida universitaria.

A todos mis compañeros de clase a lo largo de la carrera, con quienes compartí aulas, risas, fracasos y aprendizajes que ningún libro podría haber enseñado. Cada uno de ellos dejó una huella importante en mi formación personal y profesional, y juntos construimos una etapa universitaria llena de experiencias que recordaré con cariño. A mi compañero Derian Pelagallo, con quien recorrí este exigente camino académico compartiendo no solo conocimientos, sino también esfuerzos, ideas y momentos que forjaron una amistad sólida. Su colaboración, su disposición para el trabajo y su compañerismo fue fundamentales durante el desarrollo de esta investigación.

A los pares lectores Ing. Franz Verdezoto Mendoza y a la Ing. Deysi Guanga, pares lectores de esta investigación, mi más sincero agradecimiento por el tiempo dedicado a la revisión de este trabajo y por sus valiosas observaciones. A la Doctora Patricia Iza por su gestión, su orientación y su apoyo durante el proceso de titulación. Al Doctor Juan Gaibor Chávez, tutor de esta investigación, mi más sincero reconocimiento. Su orientación académica, su rigor científico y su disposición fueron determinantes para la culminación exitosa de este trabajo. Su labor como docente e investigador es un ejemplo a seguir.

***Neyser Rochina***

## ÍNDICE DE CONTENIDO


| **CONTENIDO** | **Pág.** |
|---|---|
| CAPÍTULO I | 20 |
| 1.1 INTRODUCCIÓN | 20 |
| 1.2 PROBLEMA | 21 |
| 1.2.1 Planteamiento del problema | 21 |
| 1.2.2 Formulación del problema | 21 |
| 1.2.3 Sistematización del problema | 22 |
| 1.3 OBJETIVOS | 23 |
| 1.3.1 Objetivo general | 23 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 23 |
| 1.4 HIPÓTESIS | 24 |
| 1.4.1 Hipótesis nula (Ho) | 24 |
| 1.4.2 Hipótesis alterna (Hi) | 24 |
| CAPÍTULO II | 25 |
| 2 MARCO TEÓRICO | 25 |
| 2.1 Especies maderables que se utilizan como biomasa para biocombustibles sólidos | 25 |
| 2.2 Pino (*Pinus radiata d. don*) | 25 |
| 2.2.1 Caracterización del pino | 26 |
| 2.2.2 Contenido de humedad del pino | 26 |

2.2.3 Contenido de lignocelulósico 27

2.2.4 Residuos de poda del pino 27

2.3 Eucalipto (*Eucalyptus*) 28

2.3.1 Caracterización del eucalipto 28

2.3.2 Contenido de humedad del eucalipto 29

2.3.3 Contenido de material lignocelulósico 29

2.3.4 Residuos de poda de eucalipto 30

2.4 Caña de maíz suave *(*Zea mays *L.)* 30

2.4.1 Caracterización de la caña de maíz suave 30

2.4.2 Contenido de humedad de la caña de maíz de suave 31

2.4.3 Contenido material lignocelulósico 31

2.4.4 Residuos de caña de maíz suave 31

2.5 Biocombustibles 32

2.5.1 Biocombustibles líquidos 32

2.5.2 Biocombustibles gaseosos 32

2.5.3 Biocombustibles sólidos 33

2.6 Biomasa 33

2.6.1 Categorización de la biomasa 33

2.6.2 Clasificación de la biomasa según su origen 33

2.6.3 Clasificación de la biomasa según su aplicación 34

2.6.4 Ventajas y desventajas de la biomasa como residuos energéticos 34

2.6.5 Densificación de la biomasa 36

2.7 Pellet de biomasa 36

2.7.1 Caracterización de calidad de los pellets 36

2.7.2 Beneficios del uso del pellet 36

2.7.3 Características especiales de los pellets 37

2.7.4 Parámetros de calidad del pellet 37

2.8 Cocina tipo Rocket 38

CAPÍTULO III 39

3 MARCO METODOLÓGICO 39

3.1 Ubicación de la investigación 39

3.1.1. Localización de la investigación 39

3.1.2. Situación geográfica y climática 39

3.1.3. Zona de vida 40

3.2. Materiales 40

3.2.1. Material experimental 40

3.2.2. Material de campo 40

3.2.3. Material de laboratorio 40

3.2.4. Material de oficina 40

3.2.5. Reactivos 41

3.2.6. Equipos 41

3.3. Métodos 43

3.3.1. Factores de estudio 43

3.3.2. Tratamientos 44

3.3.3. Características del experimento 45

3.3.4. Variables de respuesta 45

3.3.5. Tipo de diseño experimental 46

3.3.6. Modelo de análisis de varianza (ANOVA) 46

3.4. Metodología experimental 47

3.4.1. Preparación de la materia prima 47

3.4.2. Caracterización de la materia prima 47

3.4.3. Descripción y diagrama de flujo 47

3.4.4. Pruebas en campo 51

3.5. Análisis termo gravimétrico 52

3.6. Construcción de la cocina Rocket 53

3.6.1. Materiales 53

3.6.2. Equipos y herramientas 53

3.6.3. Diseño de cocina Rocket 54

CAPÍTULO IV 55

4 RESULTADOS OBTENIDOS 55

4.1 Análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de las materias primas 55

4.1.1 Análisis proximal de las materias primas 55

4.1.2 Análisis elemental de las materias primas 56

4.1.3 Análisis estructural de las materias primas 57

4.1.4 Análisis de poder calorífico de las materias primas 59

4.2 Determinación del mejor tratamiento para la elaboración de pellets 60

4.2.1 Análisis de la variable porcentaje de lignina detergente ácida 61

4.2.2 Análisis de varianza de la variable porcentaje de lignina detergente ácida 62

4.2.3 Análisis de la variable porcentaje de celulosa 67

4.2.4 Análisis de varianza de la variable porcentaje de celulosa 68

4.2.5 Análisis de la variable porcentaje de hemicelulosa 73

4.2.6 Análisis de varianza de la variable porcentaje de Hemicelulosa 74

4.2.7 Análisis de la variable Poder Calorífico 80

4.2.8 Análisis de varianza de la variable Poder Calorífico 81

4.3 Análisis termogravimétrico de la mejor combinación 83

4.3.1 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (ceniza) 84

4.3.2 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (ceniza) 85

4.3.3 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (volátiles) 86

4.3.4 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (volátiles) 87

4.4 Implementación la cocina tipo Rocket para combustión de biocombustible sólido 89

4.4.1 Evaluación del proceso de combustión del biocombustible sólido 89

4.4.2 Tiempo de ignición y tiempo de propagación de llama 90

CAPÍTULO V 91

5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS 91

5.1 Hipótesis nula (Ho) 91

5.2 Hipótesis alterna (Hi) 91

5.3 Verificación de hipótesis 91

5.4 Conclusiones y recomendaciones 92

5.4.1 Conclusiones 92

5.4.2 Recomendaciones 95

BIBLIOGRAFÍA 96

ANEXOS 106

## ÍNDICE DE TABLAS


| N.º | Descripción | Pág. |
|---|---|---|
| 1. | Localización de la investigación | 39 |
| 2. | Aspectos generales de territorio | 39 |
| 3. | Equipos utilizados en la investigación | 41 |
| 4. | Factores de estudio | 44 |
| 5. | Combinación de tratamientos | 44 |
| 6. | Características del experimento | 45 |
| 7. | Variables respuestas | 45 |
| 8. | Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial $3^2$ | 46 |
| 9. | Caracterización proximal, elemental, estructural y calorífico. | 47 |
| 10. | Pruebas de combustión | 51 |
| 11. | Diseño experimental para la evaluación de los factores rampa de temperatura, flujo y tipo de atmósfera en la determinación de cenizas y volátiles con TGA | 52 |
| 12. | Análisis proximal de las materias primas | 55 |
| 13. | Análisis elemental de las materias primas | 56 |
| 14. | Análisis estructural de las materias primas | 58 |
| 15. | Análisis de poder calorífico de las materias primas | 59 |
| 16. | Análisis de a variable % de lignina | 61 |
| 17. | Análisis de varianza de la variable respuesta % lignina | 62 |

18. Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % lignina 62

19. Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % lignina 63

20. Análisis de a variable % de celulosa 67

21. Análisis de varianza de la variable respuesta % celulosa 68

22. Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % celulosa 69

23. Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % celulosa 69

24. Análisis de a variable % de hemicelulosa 73

25. Análisis de varianza de la variable respuesta % hemicelulosa 74

26. Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % hemicelulosa 75

27. Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % hemicelulosa 76

28. Análisis de a variable poder calorífico MJ/kg 80

29. Análisis de varianza de la variable respuesta poder calorífico MJ/kg 81

30. Pruebas de rangos múltiples del factor a para la variable poder calorífico 82

## ÍNDICE DE FIGURAS


| N.º | Descripción | Pág. |
|---|---|---|
| 1. | Diagrama de flujo del proceso de peletizado | 50 |
| 2. | Diseño estructural de la cocina tipo Rocket en “L” | 54 |
| 3. | Gráfico de medias de los niveles del factor A | 64 |
| 4. | Gráfico de medias de los niveles del factor B | 65 |
| 5. | Gráfico de interacciones del factor A | 66 |
| 6. | Gráfico de medias de los niveles del factor A | 70 |
| 7. | Gráfico de medias de los niveles del factor B | 71 |
| 8. | Gráfico de interacciones del factor A | 72 |
| 9. | Gráfico de medias de los niveles del factor A | 77 |
| 10. | Gráfico de medias de los niveles del factor B | 78 |
| 11. | Gráfico de interacciones | 79 |
| 12. | Gráfico de medias de los niveles del factor A | 83 |
| 13. | Análisis TGA rampa de 10°C | 84 |
| 14. | Análisis TGA rampa de 200°C | 85 |
| 15. | Análisis TGA rampa de 10°C | 86 |
| 16. | Análisis TGA rampa de 200°C | 87 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

**N.º** **Descripción**

1. Mapa de la ubicación de la investigación

2. Ubicación del laboratorio de investigación de la ueb

3. Resultados del análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de materias primas

4. Resultados del análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de los tratamientos

5. Resultados del análisis termogravimétrico (TGA)

6. Fotografías

7. Glosario de términos

## RESUMEN

La presente investigación abordó el aprovechamiento de residuos lignocelulósicos de la provincia de Bolívar (pino, eucalipto y caña de maíz), frecuentemente eliminados mediante quema a cielo abierto contribuyendo a la contaminación atmosférica. El objetivo fue elaborar biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetales maderables para su utilización en cocinas tipo Rocket. Se realizó caracterización proximal, elemental, estructural y calorífica de las materias primas, análisis termogravimétrico e implementación de cocina tipo Rocket. La investigación se desarrolló en la Universidad Estatal de Bolívar, se aplicó un diseño experimental un arreglo factorial $3^2$: Factor A (mezcla de materia prima: 50% pino-25% eucalipto-25% maíz, 50% eucalipto-25% pino-25% maíz, 50% maíz-25% pino-25% eucalipto) y Factor B (tamaño de partícula: >1mm, 0.5-1mm, <0.5mm), generando nueve tratamientos con dos repeticiones. Las biomasas leñosas presentaron contenidos de humedad óptimos (8.74-10.44%), cenizas bajas (0.31-0.48%) y poderes caloríficos superiores (17.38-17.81 MJ/kg), mientras la caña de maíz exhibió mayor humedad (15.41%) y cenizas (5.50%). El tratamiento óptimo T1 (50% Pino + 25% Eucalipto + 25% Maíz, partícula >1mm) presentó lignina (18.90%), celulosa (50.50%) y poder calorífico (17.10 MJ/kg) superiores. El análisis termogravimétrico identificó tres etapas: evaporación de humedad hasta 150°C, descomposición lignocelulósica entre 200-400°C con pico a 320°C, y degradación de lignina entre 400-550°C. La cocina tipo Rocket validó el desempeño con ignición de 3 minutos, combustión sostenida de 20 minutos (1.36 kg/h) permitiendo hervir 2 litros de agua en 10 minutos. Los pellets cumplen el estándar ISO 17225-2, confirmando viabilidad técnica para aplicaciones térmicas domésticas.



**Palabras clave:** biomasa lignocelulósica, pellets, pino, eucalipto, maíz suave, cocina Rocket, poder calorífico.

## SUMMARY

This research addressed the utilization of lignocellulosic residues from Bolivar province (pine, eucalyptus and corn cane), frequently eliminated through open-air burning contributing to atmospheric pollution. The objective was to produce solid biofuels from woody plant biomass for use in Rocket-type stoves. Proximal, elemental, structural and calorific characterization of raw materials, thermogravimetric analysis and implementation of Rocket-type stove were performed. The research was developed at Bolivar State University, an experimental design with a $3^2$ factorial arrangement was applied: Factor A (raw material mixture: 50% pine-25% eucalyptus-25% corn, 50% eucalyptus-25% pine-25% corn, 50% corn-25% pine-25% eucalyptus) and Factor B (particle size: >1mm, 0.5-1mm, <0.5mm), generating nine treatments with two replications. Woody biomasses presented optimal moisture contents (8.74-10.44%), low ash (0.31-0.48%) and superior calorific values (17.38-17.81 MJ/kg), while corn cane exhibited higher moisture (15.41%) and ash (5.50%). The optimal treatment T1 (50% Pine + 25% Eucalyptus + 25% Corn, particle >1mm) presented superior lignin (18.90%), cellulose (50.50%) and calorific value (17.10 MJ/kg). Thermogravimetric analysis identified three stages: moisture evaporation up to 150°C, lignocellulosic decomposition between 200-400°C with peak at 320°C, and lignin degradation between 400-550°C. The Rocket-type stove validated performance with ignition time of 3 minutes, sustained combustion of 20 minutes (1.36 kg/h) allowing 2 liters of water to boil in 10 minutes. The pellets comply with ISO 17225-2 standard, confirming technical viability for domestic thermal applications.



**Keywords:** lignocellulosic biomass, pellets, pine, eucalyptus, sweet corn, Rocket stove, calorific value.

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial del consumo energético mundial y la urgencia de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han impulsado la búsqueda de alternativas renovables que sustituyan los combustibles fósiles. Ecuador, en su Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025, ha establecido compromisos para reducir sus emisiones de $CO_2$, siendo el sector energético uno de los principales contribuyentes con aproximadamente 47% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero del país (MAE, 2025). El Atlas Bioenergético del Ecuador 2014 identificó un potencial energético de biomasa estimado en 12.700 GWh anuales, proveniente de recursos agrícolas, forestales y pecuarios, lo que representa una oportunidad significativa para la diversificación de la matriz energética nacional (MEER, 2015).

La provincia de Bolívar, caracterizada por su vocación agrícola y forestal, genera importantes volúmenes de residuos lignocelulósicos provenientes de cultivos de maíz y especies maderables como pino y eucalipto. Estos residuos, frecuentemente eliminados mediante quema a cielo abierto, contribuyen a la contaminación atmosférica y representan la pérdida de un recurso energético valioso (Gaibor-Chávez et al., 2016). La transformación de estos materiales en biocombustibles sólidos mediante procesos de peletización constituye una estrategia viable para la valorización energética de residuos, reducción de emisiones contaminantes y promoción del desarrollo sostenible en zonas rurales (Garcia et al., 2019).

La presente investigación se enfoca en desarrollar un proceso técnicamente viable para la elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable disponible en Guaranda, provincia de Bolívar, y evaluar su desempeño en cocinas tipo rocket. Este estudio contribuirá al aprovechamiento sostenible de residuos agroforestales locales, fortaleciendo la economía circular regional y proporcionando una alternativa energética renovable, al tiempo que se reducen los impactos ambientales asociados al uso tradicional de leña y la quema de residuos agrícolas.

## 1.2 PROBLEMA

### 1.2.1 Planteamiento del problema

La creciente preocupación por la degradación ambiental, el uso intensivo de combustibles fósiles y la presión sobre los recursos forestales ha impulsado la búsqueda de fuentes de energía renovables y sostenibles, especialmente en contextos rurales. En el cantón Guaranda, muchas familias aún dependen de la leña como principal fuente de energía para la cocción de alimentos. Esta realidad responde, en gran medida, a factores como los costos económicos y las condiciones de infraestructura. El uso prolongado de estos combustibles tradicionales está relacionado con impactos ambientales y sanitarios importantes, como la presión sobre los recursos forestales, la emisión de contaminantes atmosféricos y la exposición al humo en espacios cerrados, lo cual afecta de manera especial a mujeres y niños. Esta exposición constante puede contribuir al desarrollo de enfermedades respiratorias y disminuir la calidad de vida.

Según los resultados del INEC, (2022), Guaranda cuenta con aproximadamente 30.890 hogares, de los cuales el 32,8 % utiliza leña o carbón vegetal para cocinar. Esta cifra se eleva al 47,9 % en las zonas rurales, lo que revela la alta dependencia de recursos energéticos tradicionales. Se identifica una significativa disponibilidad de residuos agroforestales, como podas de pino y eucalipto y restos de cosecha de maíz suave, que actualmente no están siendo utilizados con fines energéticos. Esta situación refleja una oportunidad no utilizada en el aprovechamiento sostenible de los recursos locales.

### 1.2.2 Formulación del problema

Se formuló el problema de investigación mediante la siguiente pregunta:

¿Cómo aprovechar los residuos vegetales maderables de poda de pino, eucalipto y desperdicios de cosecha de caña seca de maíz suave, como fuente energética en la elaboración de biocombustibles?

### 1.2.3 Sistematización del problema

Se plantearon las siguientes preguntas específicas de investigación:

- ¿Cuáles son las características proximales, elementales, estructurales y caloríficas de las materias primas seleccionadas (residuos de maíz suave, poda de pino y eucalipto)?
- ¿Cuál es el mejor tratamiento para la elaboración de pellets en términos de calidad, eficiencia energética y viabilidad técnica?
- ¿Qué propiedades termo gravimétricas presenta el pellet obtenido a partir del tratamiento óptimo?
- ¿Cómo debe ser el diseño estructural y funcional de una cocina tipo Rocket adecuada para quemar los pellets elaborados?
- ¿Cuál es el desempeño de los pellets obtenidos al ser utilizados en la cocina tipo Rocket diseñada en esta investigación?

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo general

Elaborar biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetales maderables, para su utilización en cocinas tipo Rocket.

### 1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización proximal, elemental, estructural y calorífica de las materias primas en estudio.
- Determinar la mejor combinación en la elaboración del biocombustible sólido.
- Realizar el análisis termogravimétrico de la mejor combinación.
- Implementar la cocina tipo Rocket para combustión de biocombustible sólido.

## 1.4 HIPÓTESIS

### 1.4.1 Hipótesis nula (Ho)

La elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable de pino, eucalipto y caña seca de maíz suave, no permite elaborar pellets.

### 1.4.2 Hipótesis alterna (Hi)

La elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable de pino, eucalipto y caña seca de maíz suave, permite elaborar pellets.

# CAPÍTULO II

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Especies maderables que se utilizan como biomasa para biocombustibles sólidos

La demanda global de pellets de madera alcanzó aproximadamente 45 millones de toneladas métricas en 2024, consolidando a estas biomasas densificadas como alternativas energéticas estratégicas para la descarbonización de sistemas térmicos industriales y residenciales. Los pellets manufacturados a partir de especies forestales como *Pinus* spp., *Eucalyptus* spp., *Salix* spp. y *Populus* spp. cumplen con estándares internacionales ISO 17225-2, los cuales establecen requisitos de poder calorífico (≥16.5 MJ/kg), durabilidad mecánica (≥96.5%), contenido de cenizas (≤2.0%) y dimensiones estandarizadas (6-8 mm de diámetro) (skyquest, 2024).

La transformación termoquímica de residuos forestales mediante peletización incrementa la densidad energética hasta en 255%, facilitando operaciones logísticas de transporte y almacenamiento a escala comercial. Los análisis de ciclo de vida demuestran que los pellets derivados de residuos forestales reducen las emisiones de gases de efecto invernadero en 90% comparado con combustibles fósiles equivalentes, evidenciando su contribución a las metas de neutralidad carbónica establecidas para 2050 (de Souza et al., 2020).

### 2.2 Pino (*Pinus radiata d. don*)

*Pinus radiata* fue introducido en Ecuador en 1925, estableciéndose plantaciones experimentales en la provincia de Cotopaxi a altitudes entre 3,180-3,620 msnm, adaptándose a condiciones de páramo con precipitaciones de 800-1,300 mm anuales y temperaturas de 0-30°C. Las plantaciones ecuatorianas se concentran en provincias andinas como Cotopaxi (18% del total nacional), Chimborazo, Pichincha y Loja, alcanzando volúmenes de 214.85 $m^3$/ha en plantaciones comerciales de 20-25 años bajo esquemas de densidad de 1,111 plantas/ha con distanciamientos de 3x3 metros. Los incrementos medios anuales en diámetro alcanzan 1.9-2.04 cm/año

en condiciones óptimas de sitio (3,150 msnm), evidenciando productividades competitivas para abastecimiento industrial (Aguirre Mendoza et al., 2019).

Durante el período 2007-2010, la madera de pino autorizada para aprovechamiento representó parte del 58.5% proveniente de plantaciones forestales, siendo Chimborazo responsable del 19.43% del volumen total nacional procesado. Las limitaciones incluyen susceptibilidad a Diplodia pinea en condiciones de alta humedad atmosférica y efectos alelopáticos documentados que inhiben regeneración de flora nativa en ecosistemas de páramo (Castañeda et al., 2024).

### 2.2.1 Caracterización del pino

Las plantaciones de *P. radiata* en Ecuador se establecen preferentemente en suelos franco-arenosos de origen volcánico con pH 4.5-5.5, requiriendo micorrización con *Boletus logus* durante la fase de vivero para optimizar absorción de fósforo, boro y zinc en condiciones edáficas andinas. La densidad básica promedio registrada es de 0.40 g/cm³, clasificando la madera como blanda pero estructuralmente uniforme para aplicaciones en construcción, carpintería y producción de tableros aglomerados (Vinueza, 2024).

Las plantaciones ubicadas en la formación estepa espinosa montano bajo (2,755-2,929 msnm) presentan variabilidad productiva asociada a gradientes altitudinales, con volúmenes totales de 2.32 m³/árbol a menor altitud versus 0.25 m³/árbol en zonas superiores debido a limitaciones térmicas y edáficas. Los raleos se practican a los 12-15 años con intensidades del 30-40% bajo sistemas de corta final a los 25-30 años, generando residuos aprovechables estimados en 15-25 toneladas secas por hectárea incluyendo ramas, acículas y fustes no comerciales (Sánchez & Rodríguez, 2018).

### 2.2.2 Contenido de humedad del pino

La humedad de saturación en *P. radiata* recién cosechado en condiciones andinas ecuatorianas oscila entre 48-58% en base húmeda, requiriendo procesos de secado natural durante 16-24 semanas para alcanzar contenidos de equilibrio de 21-33% bajo exposición solar directa en períodos estivales (junio-septiembre). Las

condiciones climáticas de la Sierra ecuatoriana, caracterizadas por precipitaciones bimodales y humedad relativa promedio de 75-85%, prolongan los tiempos de desecación natural comparado con regiones de clima mediterráneo (Arroyo & Reina, 2019).

### 2.2.3 Contenido de lignocelulósico

La caracterización fisicoquímica de *P. radiata* cultivado en zonas andinas ecuatorianas (2,600-3,200 msnm) reporta contenidos de celulosa de 40.51%, hemicelulosa de 25.01% y lignina de 33.76% en árboles adultos (26-30 años), con extractivos de 2.68% principalmente resinas y terpenos volátiles. La composición lignocelulósica presenta variabilidad ontogénica, incrementando la proporción de lignina desde 28% en madera juvenil (<10 años) hasta 34% en madera madura, fenómeno atribuido a deposición de lignina guaiacílica en paredes celulares secundarias durante diferenciación xilemática (Cruz et al., 2020).

El poder calorífico superior determinado mediante calorimetría de bomba alcanza 18.5-20.2 MJ/kg en base seca, siendo competitivo para aplicaciones térmicas en sistemas de calefacción doméstica y calderas industriales. Los estudios de caracterización mediante espectroscopía FTIR evidencian índices de cristalinidad de celulosa del 45-50%, determinando recalcitrancia moderada para procesos de sacarificación enzimática en esquemas de producción de bioetanol celulósico (Velázquez et al., 2023).

### 2.2.4 Residuos de poda del pino

Los residuos silvícolas de *P. radiata* generados en plantaciones ecuatorianas incluyen biomasa de raleos intermedios (30-40% del volumen total), podas de formación realizadas a los 5-8 años, y desechos de aprovechamiento final que representan 12-18% de material no comercial por presencia de nudos, torceduras y defectos estructurales. Estudios realizados en zonas andinas de Chimborazo y Cotopaxi cuantifican disponibilidades de 15-25 toneladas secas de residuos por hectárea con poderes caloríficos inferiores de 17.5-19.2 MJ/kg y contenidos de

cenizas de 1.5-3.5%, influenciados por proporciones de corteza y material foliar en muestras compuestas (Velázquez et al., 2023).

Las tecnologías de valorización implementadas incluyen producción de astillas para calderas de biomasa (tamaño 5-50 mm), manufactura de pellets densificados (densidad aparente 650-750 kg/m³), y procesos de carbonización para generación de biocarbón utilizable como enmienda orgánica en suelos agrícolas degradados. El aprovechamiento de estos residuos se alinea con políticas nacionales de transición energética establecidas en la Agenda de Transformación Productiva 2010-2020 y el Plan Nacional de Eficiencia Energética (Posso et al., 2020).

## 2.3 Eucalipto (*Eucalyptus*)

El *Eucalyptus* fue introducido en Ecuador en 1865 por decreto presidencial, consolidándose como la especie forestal exótica más ampliamente distribuida con aproximadamente 53,750 hectáreas (43% de plantaciones nacionales) concentradas en provincias serranas como Pichincha, Cotopaxi, Chimborazo, Imbabura y Azuay. Las plantaciones se establecen desde 800 hasta 3,200 msnm en formaciones de matorral húmedo montano con precipitaciones de 800-1,500 mm anuales, alcanzando incrementos medios anuales de 40-50 m³/ha bajo turnos de rotación de 8-12 años (Velázquez et al., 2023).

### 2.3.1 Caracterización del eucalipto

Las plantaciones de *Eucalyptus* en Ecuador alcanzan alturas de 50-60 metros bajo condiciones óptimas de sitio (2,400-2,900 msnm), presentando densidades básicas de 0.50-0.60 g/cm³ que clasifican la madera como dura con resistencia mecánica adecuada para aplicaciones estructurales y energéticas. La caracterización edáfica de plantaciones en Chimborazo (Estación Experimental Tunshi, 37.62 ha) evidencia adaptación a suelos franco-arenosos con pH 5.5-6.5, contenidos de materia orgánica de 3.5-5.2% y capacidades de intercambio catiónico de 12-18 cmol(+)/kg, estableciendo correlaciones significativas ($p<0.05$) entre volumen maderable unitario y variables edáficas como nivel de boro subsuperficial y capacidad de intercambio catiónico (Guallpa et al., 2025).

Los rendimientos anuales fluctúan entre 40-50 m³/ha con producciones totales aprovechables de 250 m³/ha al turno final (10-12 años), superando productividades de coníferas exóticas bajo similares condiciones altitudinales. El sistema radicular profundo (3-5 metros) confiere resistencia a déficits hídricos estacionales pero genera controversias por extracciones de agua estimadas en 800-1,000 mm anuales que afectan disponibilidad para otros usos en cuencas hidrográficas andinas (Baselly et al., 2024).

### 2.3.2 Contenido de humedad del eucalipto

El contenido de humedad en *Eucalyptus* recién cosechado en plantaciones ecuatorianas varía entre 55-75% en base húmeda dependiendo de edad del árbol (juvenil >adulto), época de cosecha (húmeda >seca) y posición axial en el fuste (copa >base), requiriendo procesos de acondicionamiento térmico para alcanzar especificaciones normativas de pellets residenciales (12-15%). Los protocolos de secado implementados incluyen desecación pasiva en campo durante 45-60 días que reduce humedad hasta 30-40%, seguido de secado artificial en túneles o tambores rotatorios operando a 80-120°C durante 6-10 horas para alcanzar contenidos objetivo (Velázquez et al., 2023).

### 2.3.3 Contenido de material lignocelulósico

La matriz lignocelulósica de *Eucalyptus* cultivado en Ecuador comprende celulosa (46-52%), hemicelulosa (15-20%) y lignina (25-30%). Los estudios de caracterización fisicoquímica en plantaciones de Chimborazo y Pichincha reportan poderes caloríficos superiores de 19.5-21.2 MJ/kg en base seca, contenidos de cenizas de 0.8-1.5% y densidades energéticas volumétricas de 9.75-12.72 GJ/m³ considerando densidad básica de 0.50-0.60 g/cm³. Los tratamientos de torrefacción a 250-300°C incrementan poder calorífico hasta 22-24 MJ/kg mediante desvolatilización de hemicelulosas y concentración relativa de lignina, generando biomasas hidrofóbicas (humedad de equilibrio <5%) apropiadas para combustión en centrales termoeléctricas (Baselly et al., 2024).

### 2.3.4 Residuos de poda de eucalipto

Los residuos de manejo silvícola de eucalipto en Ecuador incluyen biomasa de raleos comerciales ejecutados a los 4-6 años (40-50% del material cosechado), podas de formación, y desechos industriales como corteza (12-18% del volumen procesado) y aserrín (8-12%) generados en aserraderos provinciales. La caracterización energética de estos materiales reporta poderes caloríficos inferiores de 18.2-20.5 MJ/kg y contenidos de cenizas de 1.2-2.8%, siendo la corteza el componente con mayor contenido mineral (3.5-5.2%) debido a acumulación de extractivos fenólicos (taninos condensados 15-25%) (Posso et al., 2020).

## 2.4 Caña de maíz suave *(Zea mays L.)*

El cultivo de maíz suave (*Zea mays* L.) en Ecuador ocupa aproximadamente 82,565 hectáreas con producción de 56,824 toneladas métricas de grano en 2022, concentrándose en provincias serranas como Bolívar (cantón San Miguel), Chimborazo, Azuay y Cotopaxi bajo sistemas de agricultura familiar a altitudes de 2,200-3,200 msnm. La biomasa residual generada post-cosecha incluye tallos, hojas y olotes que representan aproximadamente 1:1 en relación grano: rastrojo, estimándose disponibilidades de 20-35 toneladas de materia fresca por hectárea dependiendo de rendimientos de grano (2.5-4.5 t/ha) y prácticas agronómicas implementadas. El Atlas Bioenergético nacional estima potenciales energéticos aprovechables de residuos agrícolas incluyendo maíz duro y maíz suave en 3,200-4,500 GWh anuales, representando alternativas para diversificación de matriz energética rural (Smith et al., 2020).

### 2.4.1 Caracterización de la caña de maíz suave

El rastrojo de maíz suave ecuatoriano comprende tallos cilíndricos huecos de 15-25 mm de diámetro y 1.2-2.5 metros de longitud, hojas lanceoladas de 40-80 cm y olotes desgranados que representan 50%, 35% y 15% de la biomasa total respectivamente. La producción de biomasa en sistemas agrícolas de la zona central costera alcanza 20-26 toneladas por hectárea con índices de cosecha de 0.40-0.45, distribuyéndose el nitrógeno total en 1.32% en grano y 0.54% en rastrojo, lo que

representa extracciones de 78 kg N/ha susceptibles de pérdida mediante quema indiscriminada. Los contenidos de sílice alcanzan 4-8% en base de cenizas totales, elemento que forma agregados vítreos durante combustión a temperaturas >850°C causando ensuciamiento en equipos térmicos (Montúfar et al., 2021).

### 2.4.2 Contenido de humedad de la caña de maíz de suave

El contenido de humedad en rastrojo de maíz suave en condiciones de cosecha ecuatorianas oscila entre 40-55% en base húmeda cuando la recolección coincide con madurez fisiológica del grano (14-16% humedad en grano), requiriendo desecación pasiva en campo durante 3-6 semanas para alcanzar contenidos de 12-18% apropiados para almacenamiento aeróbico estable sin degradación microbiana. Las condiciones climáticas de la Sierra ecuatoriana, caracterizadas por precipitaciones bimodales (marzo-mayo y octubre-diciembre) y humedad relativa promedio de 70-85%, influyen en cinéticas de secado natural alcanzando velocidades de 1.5-2.5% de reducción de humedad por semana bajo exposición solar directa (Smith et al., 2020).

### 2.4.3 Contenido material lignocelulósico

La composición bioquímica del rastrojo de maíz suave ecuatoriano presenta celulosa (38-45%), hemicelulosa (22-28%) y lignina (16-24%). Los estudios de caracterización fisicoquímica reportan poderes caloríficos superiores de 16.5-18.2 MJ/kg en base seca, contenidos de cenizas de 4.5-6.5% y densidades energéticas volumétricas de 0.58-1.17 GJ/m³ en material sin densificar. Las hemicelulosas están dominadas por arabinoxilanos lineales con grados de sustitución de arabinosa de 0.45-0.60 y contenidos de ácido ferúlico de 2-3% que forman entrecruzamientos éster-éter con lignina, incrementando recalcitrancia estructural (Montúfar et al., 2021).

### 2.4.4 Residuos de caña de maíz suave

La gestión integral de residuos maiceros en Ecuador contempla múltiples rutas de valorización incluyendo producción de bioetanol celulósico (rendimientos teóricos 320-380 L/tonelada seca), digestión anaerobia para biometano con potenciales de

200-280 $m^3$ $CH_4$/tonelada de sólidos volátiles, y producción de pellets combustibles con densidades energéticas de 14-16 MJ/kg. La reducción de quemas agrícolas mediante valorización energética de rastrojos podría evitar emisiones de 1.2-1.8 millones de toneladas $CO_2$ equivalente anuales según proyecciones del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (Aghaei et al., 2022).

## 2.5 Biocombustibles

Los biocombustibles representan mezclas de sustancias orgánicas originadas mediante procesos biológicos, destinadas principalmente para su empleo en motores de combustión interna y sistemas de generación energética. La producción se ejecuta mediante diversas rutas tecnológicas que incluyen cultivos agrícolas ricos en carbohidratos, plantas oleaginosas, residuos forestales y subproductos industriales (Velázquez Martí, 2018).

### 2.5.1 Biocombustibles líquidos

Los biocombustibles líquidos constituyen aceites, alcoholes y compuestos químicos derivados de materia orgánica mediante procesos de fermentación, transesterificación o pirolisis. El bioetanol se produce mediante fermentación de azúcares presentes en cultivos como caña de azúcar, maíz y remolacha azucarera, representando la mayor proporción de producción mundial. El biodiésel se obtiene por transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con metanol, generando metilésteres de ácidos grasos que pueden utilizarse puros o mezclados con diésel mineral (Barrera et al., 2023).

### 2.5.2 Biocombustibles gaseosos

Comprenden principalmente biogás y biometano, resultantes de digestión anaerobia de materia orgánica mediante microorganismos en ausencia de oxígeno. El biogás presenta composición típica del 50-75% de metano y 25-45% de dióxido de carbono, empleándose para generación eléctrica, térmica o cogeneración. El biometano se obtiene mediante procesos de purificación que elevan el contenido de metano hasta 95%, permitiendo su inyección en redes gasistas (Álvarez, 2024).

### 2.5.3 Biocombustibles sólidos

Se producen a partir de materiales como madera, residuos forestales, residuos agrícolas y subproductos agroindustriales, transformados mediante procesos de secado, trituración y densificación. Son aquellos combustibles que mediante combustión directa o previa gasificación generan calor y electricidad. La norma internacional ISO 17225 establece especificaciones de calidad para pellets de madera (ISO 17225-2), briquetas (ISO 17225-3), astillas (ISO 17225-4), leña (ISO 17225-5) y pellets no leñosos (ISO 17225-6) (Carrillo et al., 2022).

## 2.6 Biomasa

La biomasa comprende toda materia orgánica originada en procesos biológicos, espontáneos o provocados, susceptible de utilización como fuente energética. La formación de biomasa vegetal ocurre mediante fotosíntesis, proceso donde plantas verdes captan energía solar transformando dióxido de carbono y agua en sustancias orgánicas y oxígeno. Representa más del 60% de la energía renovable consumida en la Unión Europea y aporta 12% de la energía primaria mundial (Velázquez Martí, 2018).

### 2.6.1 Categorización de la biomasa

La biomasa se clasifica principalmente según su origen en diferentes categorías: biomasa leñosa, que incluye tanto maderas duras como blandas; residuos agrícolas, como tallos y pajas de cultivos; residuos sólidos urbanos; lodos de depuradora; y plantas acuáticas. Los cultivos energéticos constituyen especies herbáceas o leñosas cultivadas específicamente para aprovechamiento energético (Velázquez Martí, 2018).

### 2.6.2 Clasificación de la biomasa según su origen

- Biomasa forestal: Proviene de trabajos de mantenimiento y limpieza de montes y bosques, incluyendo ramas, troncos, cortezas y hojas generadas en operaciones silvícolas (Velázquez Martí, 2018).

- Biomasa agrícola: Se subdivide en leñosa (podas de olivos, viñedos, frutales) y herbácea (restos de cosecha de cereales como paja, rastrojo, cañote de maíz) (Aguilar et al., 2021).
- Biomasa de industrias forestales: Comprende astillas, cortezas, serrín y virutas generados durante transformación maderera en aserraderos y fábricas de papel (González & Torres, 2025).
- Biomasa agroindustrial: Incluye subproductos como cáscaras de almendras, nueces, huesos de aceituna, bagazo de caña generados durante procesamiento de alimentos (Aguilar et al., 2021).
- Biomasa ganadera: Abarca estiércoles, purines, restos de camas de animales susceptibles de aprovechamiento energético mediante digestión anaerobia (Álvarez, 2024).
- Biomasa urbana: Comprende fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, restos de poda de parques y jardines, aceites domésticos usados (Mignogna et al., 2024).

### 2.6.3 Clasificación de la biomasa según su aplicación

La clasificación aplicativa diferencia biomasa para usos térmicos, eléctricos y transporte. La biomasa térmica directa utiliza combustión para generación de calor en aplicaciones domésticas (cocinas, estufas) e industriales (calderas, hornos, secadores), empleando principalmente leña, pellets, briquetas y astillas. La biomasa para generación eléctrica se procesa en centrales termoeléctricas mediante combustión directa o gasificación. Los biocombustibles para transporte incluyen bioetanol y biodiesel (Carrillo et al., 2020).

### 2.6.4 Ventajas y desventajas de la biomasa como residuos energéticos

**Ventajas**

- Renovabilidad: Balance neutro de emisiones de $CO_2$ cuando su obtención es sostenible, retiene durante crecimiento más carbono del liberado en combustión (Mignogna et al., 2024).

- Valorización de residuos: Contribuye a economía circular mediante aprovechamiento de residuos agrícolas, forestales y agroindustriales que representarían problemas ambientales (Aguilar et al., 2021).
- Reducción de dependencia: Disminuye dependencia de combustibles fósiles importados, diversifica matriz energética y fortalece economía local (Velázquez Martí, 2018).
- Generación de empleo: Crea oportunidades laborales descentralizadas en recolección, procesamiento y transporte en zonas rurales.
- Gestión forestal: Favorece gestión forestal sostenible y prevención de incendios mediante limpieza planificada de bosques (González & Torres, 2025).
- Autosuficiencia energética: Permite aprovechamiento de recursos locales promoviendo independencia energética en comunidades rurales.

**Desventajas**

- Menor densidad energética: Requiere mayores volúmenes de almacenamiento comparada con combustibles fósiles, necesitando aproximadamente tres veces más espacio (Velázquez Martí, 2018).
- Contenido variable de humedad: Afecta eficiencia de combustión, requiriendo secado previo para optimizar aprovechamiento energético (González & Torres, 2025).
- Infraestructuras específicas: Necesidad de equipamiento especializado para recolección, procesamiento y densificación del material biomásico.
- Estacionalidad: Disponibilidad variable según ciclos agrícolas puede afectar suministro continuo, requiriendo planificación de almacenamiento (González & Torres, 2025).
- Inversión inicial: Requiere inversión significativa en equipamiento (calderas, sistemas de alimentación automática, silos) (Mignogna et al., 2024).

### 2.6.5 Densificación de la biomasa

La densificación constituye proceso que transforma residuos biomásicos en materiales compactos con geometría definida, facilitando transporte, manipulación y almacenamiento. El proceso comprende pretriturado y molienda para reducción de tamaño de partícula hasta 2-5 mm, seguido de secado hasta niveles óptimos (8-15%). La compresión del material biomásico se realiza bajo presiones de 40-200 MPa y temperaturas de 60-120°C, aprovechando lignina natural como aglomerante termoplástico. El biocombustible resultante se denomina pellet (diámetro 6-25 mm) o briqueta (diámetro superior a 25 mm). El control de calidad comprende evaluación de densidad unitaria (600-750 kg/m³), durabilidad, poder calorífico y análisis proximal (González & Torres, 2025).

## 2.7 Pellet de biomasa

Los pellets constituyen biocombustibles sólidos cilíndricos obtenidos mediante prensado de serrín y restos de madera triturada, con diámetros típicos de 6-25 mm y longitudes de 10-40 mm. Son pequeños cilindros donde la materia prima se seca y prensa a alta presión sin añadir aditivos, debído a que la madera tiene lignina que actúa como aglomerante natural (Carrillo et al., 2020).

### 2.7.1 Caracterización de calidad de los pellets

La caracterización de calidad de pellets se rige por norma internacional ISO 17225-2:2021, que establece especificaciones y clases de combustibles para pellets de madera. Los parámetros físicos principales incluyen diámetro (6 ± 1 mm para uso doméstico), longitud (3,15-40 mm), humedad (inferior a 10%). Los parámetros químicos contemplan poder calorífico inferior (superior a 16,5 MJ/kg), contenido de cenizas (inferior a 0,7% para A1), nitrógeno, azufre, etc. (Fernández et al., 2023).

### 2.7.2 Beneficios del uso del pellet

El alto poder calorífico permite calefacción eficiente con menor consumo de combustible. La densidad energética elevada facilita almacenamiento compacto requiriendo 1/3 del espacio necesario para leña equivalente. El bajo contenido de

humedad (8-10%) garantiza combustión completa y eficiente, reduciendo emisiones de partículas y gases contaminantes. Ambientalmente presentan balance neutro de $CO_2$. Los pellets tienen resistencia adecuada para transporte sin desintegración excesiva cuando cumplen normas de durabilidad (Carrillo et al., 2020).

### 2.7.3 Características especiales de los pellets

Los pellets poseen características físicas y químicas distintivas que determinan su desempeño energético. La forma cilíndrica con relación longitud/diámetro de 4-6 proporciona resistencia mecánica adecuada para transporte sin desintegración excesiva. La lignina natural actúa como aglomerante termoplástico que se plastifica durante compresión (80-120°C) y solidifica al enfriarse. El contenido bajo de elementos alcalinos (potasio, sodio) reduce problemas de escorias en calderas. La composición lignocelulósica homogénea asegura combustión predecible y completa (Velázquez Martí, 2018).

### 2.7.4 Parámetros de calidad del pellet

- Contenido de cenizas: Un bajo contenido de cenizas (<1.5%) reduce residuos y mantenimiento es deseable para reducir la formación de residuos y facilitar el mantenimiento de los equipos de combustión (Kamperidou, 2022).
- Humedad: No debe exceder 10% (base húmeda) para asegurar combustión eficiente y evitar proliferación microbiana durante almacenamiento. Determinado según norma UNE-EN ISO 18134-1:2015 (González & Torres, 2025).
- Material volátil: Determinado según UNE-EN ISO 18123:2015, indica facilidad de ignición y comportamiento durante combustión, típicamente 70-80% para pellets de madera (González & Torres, 2025).
- Poder calorífico: El poder calorífico inferior debe ser superior a 16,5 MJ/kg (4,6 kWh/kg) para garantizar eficiencia energética adecuada (Kamperidou, 2022).

- Tamaño y forma: Diámetro de 6±1 mm para aplicaciones domésticas, longitud de 3,15-40 mm. Determinado según ISO 17829 (Kamperidou, 2022).
- Carbono fijo: Determinado por diferencia tras análisis proximal, típicamente 15-20% para pellets de madera (González & Torres, 2025).

## 2.8 Cocina tipo Rocket

Las cocinas tipo Rocket constituyen sistemas de combustión eficiente desarrollados inicialmente en 1982 por Larry Winiarski de Aprovecho Research Center para reducir consumo de leña y emisiones de humo en países en desarrollo. Una estufa rocket es aquella que quema leños de pequeño diámetro dentro de cámara simple de combustión de alta temperatura, que contiene chimenea vertical aislada garantizando combustión completa antes que las llamas alcancen la superficie de cocción. El diseño fundamental comprende cámara de combustión tipo "L" o "J" invertida, chimenea vertical aislada que genera tiro intenso, entrada de aire primario inferior bajo rejilla. Las cocinas rocket reducen consumo de leña hasta 50-60% comparado con fogones abiertos, alcanzan eficiencias de combustión del 25-35% (Díez Martínez, 2017).

# CAPÍTULO III

## 3 MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Ubicación de la investigación

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Ingeniería Agroindustrial, instalaciones del Departamento de Investigación.

#### 3.1.1. Localización de la investigación

**Tabla 1.**

*Localización de la investigación*

| Ubicación | Localidad |
|---|---|
| Provincia | Bolívar |
| Cantón | Guaranda |
| Sector campus | Laguacoto II |
| Dirección | Vía Guaranda – San Simón Km 1 ½ |

#### 3.1.2. Situación geográfica y climática

**Tabla 2**

*Aspectos generales de territorio*

| Parámetros | Valores |
|---|---|
| Altitud promedio | 2 630 msnm |
| Latitud | 01º 36´52´´S |
| Longitud | 78º 59´54´´W |
| Temperatura máxima | 21 ºC |
| Temperatura mínima | 7 ºC |
| Temperatura media | 14,4 ºC |
| Precipitación media anual | 980 mm |
| Humedad relativa | 70% |
| Heliofanía promedio | 900 horas/luz/año |
| Velocidad de viento | 6 m/s |

*Nota*. Tomado de Estación Meteorológica Laguacoto II. UEB 2019 y 2021.

### 3.1.3. Zona de vida

La investigación en estudio se encuentra en la zona de vida según Holdridge, L. bosque Seco Montano Bajo (bs-MB).

## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Material experimental

- Poda de pino (Pinus)
- Poda de eucalipto (Eucalyptus)
- Poda de caña seca de maíz suave (*Zea mays*)

### 3.2.2. Material de campo

- Saco de polietileno
- Barra de medición
- Guantes desechables
- Machete

### 3.2.3. Material de laboratorio

- Balón de aforo
- Pipeta
- Vasos de precipitación
- Materiales de plástico
- Papel aluminio
- Guantes
- Fundas de papel

### 3.2.4. Material de oficina

- Libreta de apuntes
- Computadora
- Calculadora
- Hojas A4

### 3.2.5. Reactivos

- Agua destilada tipo II ($H2O$)
- FN020-C
- Acetona
- Alfamilasa
- Sulfito de Sodio
- FAD20-C
- Ácido sulfúrico
- Pastillas de ácido benzoico

### 3.2.6. Equipos

A continuación, en la tabla 3 se muestra los equipos que se utilizara en la elaboración del pellet.

**Tabla 3**

*Equipos utilizados en la investigación*

| Equipo | Modelo | Función | Imagen |
|---|---|---|---|
| Mufla | FA7915 Thermo Scientific | Pruebas de altas temperaturas. Incineración de muestras orgánicas e inorgánicas. |  |
| Estufa | UN30 | Calentamiento, secado, regulación de la temperatura, ensayo, envejecimiento, esterilización, ensayo de envejecimiento. |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Molino de martillos | Producción nacional | Homogeneizar muestras<br>Triturar materias secas |  |
| Balanza analítica | DHAUS (0.001 g) | Pesar muestras |  |
| Analizador Elemental | 1922261 | Combina nuevas soluciones con técnicas probadas para facilitar la determinación simultánea de CHNS en muestras hasta el rango de gramos |  |
| Calorímetro | 6400 | Permite trazar y visualizar de forma instantánea los resultados estándar de los límites de alerta y control definidos por el usuario. |  |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Analizador estructural | A2000 | Analizador de fibra totalmente automático, para realizar análisis de fibra cruda, fibra detergente ácida y fibra detergente neutra. |  |
| Balanza termogravimétrica | Mettler Toledo | Mide cambios de masa de una muestra en función de la temperatura o el tiempo bajo un programa térmico controlado. Se usa para analizar descomposición, pérdida de humedad, y reacciones térmicas de materiales con alta precisión. |  |
| Zaranda | Producción Nacional | Tamizar a diferentes tamaños de partícula |  |

## 3.3. Métodos

### 3.3.1. Factores de estudio

Los factores considerados para el aprovechamiento de residuos biomásicos de poda de pino y eucalipto y caña de maíz suave, para la obtención de pellets fueron: Factor A: mezcla de materia prima y Factor B: Tamaño de partícula.

**Tabla 4**

*Factores de estudio*

| Factores | Código | Niveles |
|---|---|---|
| Mezcla de materia prima | A | a1: 50%P + 25%E + 25%Cm<br>a2: 33%P + 33%E + 34%Cm<br>a3: 25%P + 25%E + 50%Cm |
| Tamaño de partícula | B | b1: >1 mm<br>b2: 0,5 - 1 mm<br>b3: < 0,5 mm |

### 3.3.2. Tratamientos

Las combinaciones de niveles de cada factor constituyen los tratamientos y fueron:

**Tabla 5**

*Combinación de tratamientos*

| Tratamiento | Código | Descripción de los niveles | |
|---|---|---|---|
| | | Mezcla de materia prima | Tamaño de partícula |
| T1 | a1b1 | 50%P + 25%E + 25%Cm | >1 mm |
| T2 | a1b2 | 50%P + 25%E + 25%Cm | 0.5 - 1 mm |
| T3 | a1b3 | 50%P + 25%E + 25%Cm | <0.5 mm |
| T4 | a2b1 | 33%P + 33%E + 34%Cm | >1 mm |
| T5 | a2b2 | 33%P + 33%E + 34%Cm | 0.5 - 1 mm |
| T6 | a2b3 | 33%P + 33%E + 34%Cm | <0.5 mm |
| T7 | a3b1 | 25%P + 25%E + 50%Cm | >1 mm |
| T8 | a3b2 | 25%P + 25%E + 50%Cm | 0.5 - 1 mm |
| T9 | a3b3 | 25%P + 25%E + 50%Cm | <0.5 mm |

### 3.3.3. Características del experimento

**Tabla 6**

*Características del experimento*

| Características del diseño factorial | |
|---|---|
| Factores experimentales | 2 |
| Niveles Factor A | 3 |
| Niveles Factor B | 3 |
| Réplicas | 2 |
| Unidad Experimental | 18 |
| Tamaño de la muestra | 1000 g |
| Variables Respuesta | 4 |

Se realizará un total de 9 tratamientos con dos réplicas (total 18 tratamientos) más un testigo (el testigo será el análisis de pellets para su posterior comparación).

### 3.3.4. Variables de respuesta

Las variables de respuestas se detallan:

**Tabla 7**

*Variables respuestas*

| Parámetros | Método |
|---|---|
| Porcentaje de Lignina Detergente Ácida (ADL) | ANKOM Van Soest |
| Porcentaje de Celulosa | Calculado |
| Porcentaje de Hemicelulosa | Calculado |
| Poder Calorífico Superior | Norma Española UNE-EN ISO 18125 |

### 3.3.5. Tipo de diseño experimental

Se aplicó un diseño en arreglo factorial $3^k$ $(3^2)$ con 2 repeticiones, el modelo matemático es el siguiente:

**Modelo matemático del diseño**

$$Y_{ijl} = \mu + \gamma_i + \delta_j + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

*Donde:*

$\mu$ = media general.

$\alpha_i$ = efecto del factor A en su nivel $i$.

$\beta_j$ = efecto del factor B en su nivel $j$.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = efecto de interacción doble en los niveles $ij$.

$\varepsilon_{ijk}$ = error aleatorio en la combinación $ij$.

### 3.3.6. Modelo de análisis de varianza (ANOVA)

El modelo de análisis de varianza (ANOVA) es el siguiente:

**Tabla 8**

*Análisis de varianza (ANOVA) para el diseño factorial* $3^2$

| Fuente de Variación | GL (Grados de Libertad) | SC (Suma de Cuadrados) | CM (Cuadrado Medio) | F (Razón F) |
|---|---|---|---|---|
| Factor A | 2 | $SC_A$ | $CM_A$ | $\frac{CM_A}{CM_E}$ |
| Factor B | 2 | $SC_B$ | $CM_B$ | $\frac{CM_B}{CM_E}$ |
| Interacción A×B | 4 | $SC_{AB}$ | $CM_{AB}$ | $\frac{CM_{AB}}{CM_E}$ |
| Error | $3^2(n-1)$ | $SC_E$ | $CM_E$ | — |
| Total | $n3^2 - 1$ | $SC_T$ | — | — |

*Nota*. Tomado de Análisis y diseño de experimentos, por Gutiérrez & Salazar (2012).

## 3.4. Metodología experimental

### 3.4.1. Preparación de la materia prima

Se recolectaron podas de especies forestales del cantón Guaranda de la provincia de Bolívar. De acuerdo con la mayor producción de residuos que se produce de las podas de los árboles como pino y eucalipto.

### 3.4.2. Caracterización de la materia prima

**Tabla 9**

*Caracterización proximal, elemental, estructural y calorífico.*

| Análisis Proximal | | Análisis Elemental | | Análisis Estructural | | Poder Calorífico | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Parámetros | Método | Parámetros | Método | Parámetros | Método | Parámetros | Método |
| Humedad | Norma Europea UNE-EN 18134-3 | Carbono | | Fibra Detergente Neutra (NDF) | | Poder Calorífico Superior (PCS) | Poder Calorífico Superior (PCS) |
| Cenizas | Norma Europea UNE-EN 18122 | Nitrógeno | Norma Europea UNE-EN-ISO 16948 | Lignina Detergente Ácida (ADL) | | | |
| Volátiles Totales | Norma Europea UNE-EN 18123 | Hidrogeno | | Fibra Detergente Ácida (ADF) | Van Soest (SISTEMA ANKOM) | | |
| Carbono Fijo | 100-Cenizas-Volatiles | | | | | | |

### 3.4.3. Descripción y diagrama de flujo

En el proceso de la elaboración de biocombustible sólido, se realizan las siguientes actividades y etapas.

a. Recepción de materia prima
b. Trituración
c. Secado
d. Molienda
e. Mezclado
f. Peletizado
g. Enfriado de pellets
h. Tamizado
i. Empaquetado y almacenado

A continuación, se describe cada una de las etapas del proceso de elaboración de biocombustible sólido.

**1. Recepción de materia prima:** El proceso comienza con la recepción de residuos vegetales, principalmente tallos de maíz, ramas y hojas provenientes de la poda de árboles como pino y eucalipto. En esta etapa se realiza una inspección visual y mecánica para asegurar que el material esté libre de contaminantes físicos como piedras, metales, plásticos o tierra. También se mide el contenido de humedad inicial mediante sensores o métodos gravimétricos, ya que niveles superiores al 15% dificultan el secado y afectan la calidad del pellet.

**2. Trituración gruesa (pretriturado):** Una vez clasificado, el material pasa por una trituradora de cuchillas, tambor o molino de martillos. El objetivo es reducir el tamaño a partículas menores a 5 cm, especialmente en el caso de ramas leñosas que necesitan ser fragmentadas para facilitar su manipulación. Esta trituración también permite una mayor eficiencia en el secado y homogeneidad en el procesamiento posterior.

**3. Secado del material:** El material triturado ingresa a un sistema de secado (rotativo, de banda o túnel), donde se reduce la humedad hasta alcanzar un rango óptimo de 10–14%, ideal para el peletizado. Este secado puede realizarse mediante aire caliente generado por calderas de biomasa, gas natural o fuentes renovables como energía solar térmica. El control de la temperatura es crucial para evitar la degradación del material orgánico.

**4. Molienda fina (trituración secundaria):** Después del secado, el material pasa por una segunda etapa de molienda para obtener una granulometría fina y uniforme, con partículas de entre 2 y 4 mm. Este tamaño es ideal para asegurar una buena densificación en el peletizado, evitar bloqueos en la matriz de la peletizadora y mejorar la combustión del pellet final.

**5. Mezclado y acondicionamiento (opcional):** En esta etapa se pueden adicionar aglutinantes naturales como almidón, melaza, o minerales como cal agrícola, dependiendo del tipo de biomasa y los objetivos del producto final. También se puede aplicar vapor o humedad adicional para mejorar la cohesión. Esta etapa es opcional, pero útil para estabilizar mezclas con diferentes propiedades físicas.

**6. Peletizado:** La biomasa acondicionada se introduce en una peletizadora, que puede ser de matriz plana o anular. El material es presionado a través de orificios cilíndricos mediante rodillos giratorios. Durante esta compresión, la fricción eleva la temperatura a unos 70–90 °C, lo que permite que la lignina del material vegetal actúe como aglutinante natural. Se forman así pellets cilíndricos con diámetros entre 6 y 8 mm y una longitud variable.

**7. Enfriamiento:** Una vez expulsados de la peletizadora, los pellets están aún calientes, blandos y con humedad residual. Se enfrían mediante sistemas de flujo de aire forzado en enfriadores verticales o túneles horizontales. Esta etapa permite que los pellets adquieran dureza, bajen su temperatura a niveles ambientales y se reduzca su humedad a menos del 10%, asegurando estabilidad y durabilidad en el almacenamiento.

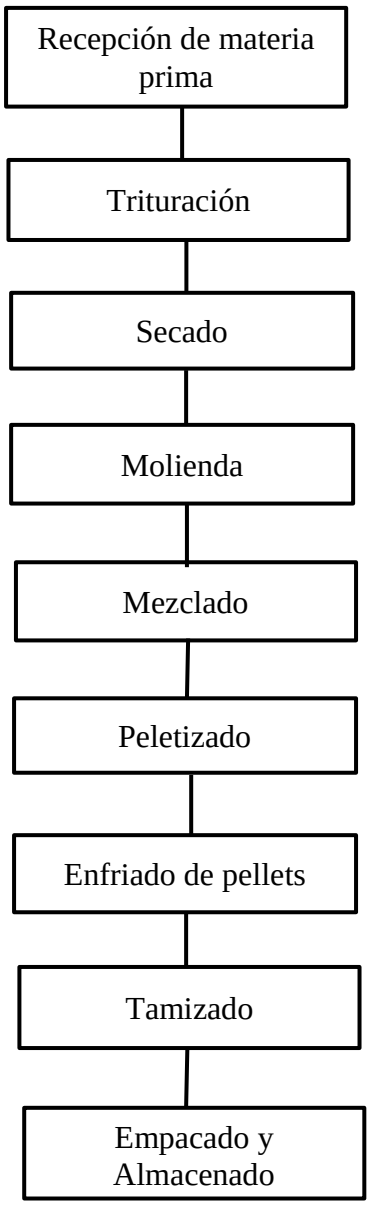
**8. Tamizado y clasificación:** Los pellets ya enfriados pasan a través de una criba vibratoria o rotativa, donde se eliminan partículas finas, polvo o pellets fracturados. El material recuperado puede reincorporarse al proceso desde la molienda. Solo los pellets completos y con dimensiones estándar continúan hacia el empacado.

**9. Empacado y almacenamiento:** Los pellets seleccionados se empacan en bolsas de polipropileno, sacos industriales o big bags para su transporte y venta. El almacenamiento debe realizarse en lugares secos, ventilados y protegidos de la intemperie, con control de humedad ambiental, para evitar el deterioro del biocombustible por absorción de agua o proliferación de hongos.

### 3.4.3.1. Diagrama de flujo del proceso de peletización.

**Figura 1**

*Diagrama de flujo del proceso de peletizado*



### 3.4.4. Pruebas en campo

Los resultados de la prueba de combustión pretenden verificar el comportamiento de los materiales mediante la evaluación del tiempo de ignición y el tiempo de propagación de la llama. Están normalizados por la norma UNE-EN 60695.

**Tabla 10**

*Pruebas de combustión*

| Materia Prima | Tiempo de Ignición (min) | Tiempo de propagación de la llama (min) |
|---|---|---|
| Pellets | 0,1 ± 0,30 | 2,0 ±3,0 |

#### 3.4.4.1. Tiempo de ignición

El tiempo de ignición se refiere al período transcurrido desde el inicio de la exposición de un material a una fuente de calor hasta el momento en que comienza a arder o a generar una llama sostenida. Es el lapso que tarda un material en alcanzar la temperatura crítica necesaria para iniciar su combustión cuando se expone a una fuente de ignición, como una llama o una superficie caliente. Se tomó como muestra un pellet y depositado en la flama de un mechero hasta ver que empiece la ignición, luego se tomó el tiempo con un cronómetro obteniendo como resultado referente al mejor tratamiento.

#### 3.4.4.2. Tiempo de propagación de la llama

El tiempo de propagación de la llama se refiere al intervalo de tiempo necesario para que una llama se extienda desde el punto inicial de ignición hasta alcanzar una distancia específica. Es una medida que evalúa la velocidad con la que se propaga el fuego a lo largo de una superficie o a través de un material. Se calcula con ayuda de un cronometro digital.

### 3.5. Análisis termo gravimétrico

El análisis termo gravimétrico evaluó la pérdida de peso de una muestra a medida que se incremente la temperatura en una atmósfera controlada. Este se ejecutó, mediante la aplicación de dos tipos de atmósfera: oxidante (aire) y atmósfera inerte (nitrógeno). Se evaluarán cuatro métodos con rampas de temperatura de 25 °C/min y 50 °C/min, alcanzando temperaturas de 550 °C y 900 °C. Esta evaluación se realizará utilizando una balanza termogravimétrica Mettler Toledo TGA-2 (Borja Velázquez, 2018).

**Tabla 11**

*Diseño experimental para la evaluación de los factores rampa de temperatura, flujo y tipo de atmósfera en la determinación de cenizas y volátiles con TGA*

| Número | Descripción |
|---|---|
| CR-10 | Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10°C/min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min |
| CR-200 | Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200 °C/min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min |
| VR-10 | Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10 °C/min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min |
| VR-200 | Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmosfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200 °C/min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min |

*Nota*. Diseño experimental TGA, de acuerdo a (Velázquez Martí et al., 2023)

## 3.6. Construcción de la cocina Rocket

### 3.6.1. Materiales

- Tubo metálico (hierro) de 4 pulgadas de diámetro, para la cámara de combustión y chimenea.
- Codos metálicos en forma de “L”
- Base metálica (placa) para soporte y estabilidad.
- Material para soldadura (varillas de soldar o alambre para soldadura MIG/MAG).
- Pintura resistente al calor (opcional, para protección contra la corrosión).

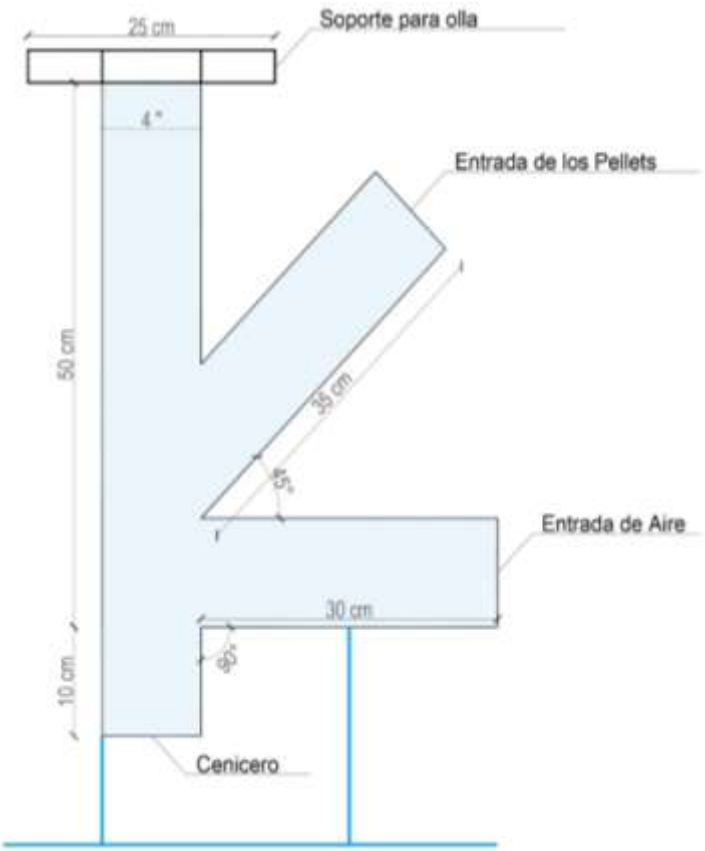
### 3.6.2. Equipos y herramientas

- Esmeril angular con disco de corte para metal (para cortar tubos).
- Amoladora con disco para desbarbar bordes.
- Guantes de protección para soldar y manipular metal.
- Gafas de seguridad para proteger los ojos de chispas y partículas.
- Marcador o tiza para marcar cortes en los tubos.
- Nivel para asegurar la correcta alineación durante el ensamblaje.
- Martillo
- Cepillo metálico para limpiar las superficies antes de soldar.

### 3.6.3. Diseño de cocina Rocket

**Figura 2**

*Diseño estructural de la cocina tipo Rocket en "L"*



# CAPÍTULO IV

## 4 RESULTADOS OBTENIDOS

### 4.1 Análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de las materias primas

Con el objetivo de cumplir con el primer objetivo, se realizó el análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de las tres materias primas (residuos biomásicos de poda de pino y eucalipto y caña de maíz suave). Se presenta a continuación los detalles.

#### 4.1.1 Análisis proximal de las materias primas

En la Tabla 12 se presenta el análisis proximal de las materias primas evaluadas.

**Tabla 12**

*Análisis proximal de las materias primas*

| Variables | Método | Materia primas | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Pino | Eucalipto | Caña de Maíz |
| Humedad (%) | UNE-EN-ISO 18134-3 | 10,44 | 8,74 | 15,41 |
| Ceniza (%) | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | 0,48 | 5,50 |
| Volatiles (%) | UNE-EN-ISO 18123 | 87,27 | 85,40 | 76,21 |
| Carbono fijo (%) | CALCULADO | 12,42 | 14,12 | 18,29 |

El contenido de humedad de las tres materias primas se encuentra dentro de rangos aceptables para la peletización. El eucalipto presenta el menor contenido con 8.74%, seguido del pino con 10.44%, mientras que la caña de maíz muestra el valor más alto con 15.41%. Chen et al., (2025) señalan que el contenido de humedad es el factor más significativo que impacta la calidad de los pellets, estableciendo que el rango óptimo recomendado para peletización está entre 10-12%, lo cual coincide con los valores de pino y eucalipto. El contenido de cenizas muestra diferencia marcada entre las biomasas leñosas y la herbácea, con el pino presentando 0.31% y el eucalipto 0.48%, valores excepcionalmente bajos, mientras que la caña de maíz

registra 5.50%, valor significativamente superior característico de biomasa herbácea.

Los tres materiales presentan contenidos elevados de material volátil, característicos de biomasas lignocelulósicas, con el pino mostrando el mayor contenido con 87.27%, seguido del eucalipto con 85.40% y la caña de maíz con 76.21%. Chen et al., (2025) indican que el material volátil afecta significativamente el comportamiento de descomposición térmica de los pellets, facilitando la ignición e incrementando la reactividad térmica.

El carbono fijo, calculado por diferencia, muestra tendencia inversa al material volátil, con la caña de maíz presentando el mayor contenido con 18.29%, seguida del eucalipto con 14.12% y el pino con 12.42%. Limusina et al., (2024) reportan valores de 12.11% para eucalipto y 20.13% para residuos de maíz, señalando que el carbono fijo está directamente relacionado con el poder calorífico del combustible, implicando mayor densidad energética, combustión más prolongada y mejor formación de brasas.

### 4.1.2 Análisis elemental de las materias primas

En la Tabla 13 se presenta el análisis elemental de las materias primas estudiadas.

**Tabla 13**

*Análisis elemental de las materias primas*

| Materias prima | Elemento | | | | | Método |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nitrógeno (%) | Carbono (%) | Hidrógeno (%) | Relación C/N (%) | Relación C/H (%) | |
| Pino | 0,13 | 50,65 | 4,47 | 372,95 | 8,77 | UNE-EN ISO 16948 |
| Eucalipto | 0,10 | 49,53 | 4,42 | 525,79 | 9,01 | |
| Caña de maiz | 0,59 | 48,60 | 3,73 | 81,15 | 8,30 | |

El contenido de carbono es el parámetro más crítico para determinar el poder calorífico de los biocombustibles, con las tres materias primas presentando contenidos similares y elevados: pino 50.65%, eucalipto 49.53% y caña de maíz

48.60%. Limusina et al., (2024) reportan valores de 47.16% de carbono para eucalipto y 39.54% para residuos de maíz, señalando que la madera típicamente comprende entre 49-50% de carbono y que el contenido de carbono está directamente correlacionado con el poder calorífico, implicando mayor liberación de energía durante la combustión y mejor eficiencia de conversión térmica.

El hidrógeno es el segundo elemento más importante en la determinación del poder calorífico, con las biomasas leñosas mostrando 4.47% para pino y 4.42% para eucalipto, mientras que la caña de maíz presenta 3.73%. Tumuluru et al., (2022) señalan que el hidrógeno influye significativamente en el valor calorífico de las biomasas y que la madera generalmente contiene alrededor del 6% de hidrógeno, sugiriendo que las muestras analizadas podrían haber experimentado deshidratación o envejecimiento previo. El nitrógeno es elemento crítico desde el punto de vista ambiental, relacionado con la formación de óxidos de nitrógeno durante la combustión, con las biomasas leñosas presentando contenidos excepcionalmente bajos: pino 0.13% y eucalipto 0.10%, mientras que la caña de maíz presenta contenido moderado de 0.59%. Limo et al., 2024 indican que la madera contiene típicamente entre 0.1-0.3% de nitrógeno, reportando 0.08% en eucalipto y 1.38% para residuos de maíz. La relación C/N es indicador fundamental de calidad del combustible y estabilidad durante almacenamiento, con resultados extraordinariamente favorables: pino 372.95, eucalipto 525.79 y caña de maíz 81.15. Tumuluru et al., (2022) señalan que para aplicaciones energéticas directas relaciones C/N altas son preferibles, indicando que estas relaciones extremadamente altas garantizan excelente estabilidad durante almacenamiento, mínimo riesgo de degradación microbiana y combustión más limpia con menores emisiones de Nitrógeno ($NO_x$).

### 4.1.3 Análisis estructural de las materias primas

En la Tabla 14 se presenta el análisis estructural de las materias primas evaluadas en diferentes tamaños de partícula.

**Tabla 14**

*Análisis estructural de las materias primas*

| Materia prima | Tamaño de partícula | Propiedades | | | Método |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Hemicelulosa | Celulosa | Lignina | |
| Pino | >1 mm | 12,15 | 49,76 | 27,64 | ANKOM Van Soest |
| | 0.5 - 1 mm | 12,69 | 49,25 | 26,73 | |
| | <0.5 mm | 12,89 | 47,95 | 25,76 | |
| Eucalipto | >1 mm | 14,68 | 59,64 | 12,55 | |
| | 0.5 - 1 mm | 14,46 | 57,93 | 12,68 | |
| | <0.5 mm | 14,46 | 57,38 | 12,23 | |
| Caña de maíz | >1 mm | 18,20 | 33,64 | 4,86 | |
| | 0.5 - 1 mm | 18,36 | 31,89 | 4,15 | |
| | <0.5 mm | 18,27 | 31,66 | 4,09 | |

El contenido de hemicelulosa muestra diferencias significativas entre las biomasas leñosas y la herbácea, con el pino presentando promedio de 12.58%, el eucalipto 14.53% y la caña de maíz 18.28%, siendo este último valor característico de las biomasas herbáceas. Zhang, C. et al., (2023) señalan que la hemicelulosa es el primer componente principal en descomponerse durante procesos térmicos, afectando significativamente las propiedades de los pellets, lo cual implica que el alto contenido de hemicelulosa en la caña de maíz genera mayor reactividad térmica durante la peletización a temperaturas elevadas. El contenido de celulosa presenta patrón inverso al de la hemicelulosa, con el pino registrando promedio de 49.32%, el eucalipto 58.32% y la caña de maíz 32.38%. Harun & Afzal, (2016) indican que la celulosa cristalina es responsable de la resistencia mecánica de las fibras vegetales y contribuye significativamente a la durabilidad de los pellets, sugiriendo que el contenido excepcionalmente alto de celulosa en eucalipto proporcionará excelente resistencia mecánica.

El contenido de lignina varía considerablemente entre las tres materias primas, con el pino presentando promedio de 26.71%, el eucalipto 12.53% y la caña de maíz 4.37%. Zhang, C. et al., (2023) reportan que la lignina actúa como aglutinante natural durante la peletización, especialmente cuando se plastifica bajo condiciones de temperatura y presión elevadas, señalando que el alto contenido de lignina del

pino lo convierte en excelente material base para peletización con capacidad de autoaglomeración.

La relación lignina/celulosa proporciona información sobre las propiedades de enlace durante la peletización, con el pino presentando 0.54, el eucalipto 0.21 y la caña de maíz 0.13. Harun & Afzal, (2016) indican que relaciones lignina/celulosa mayores a 0.3 generalmente resultan en pellets con mejor durabilidad mecánica debido a mayor disponibilidad de aglutinante natural, justificando que el bajo contenido de lignina en la caña de maíz representa limitación importante para su peletización individual y requiere mezclas con materiales leñosos ricos en lignina para alcanzar propiedades mecánicas aceptables.

### 4.1.4 Análisis de poder calorífico de las materias primas

En la Tabla 15 se presenta el poder calorífico superior de las materias primas evaluadas en diferentes tamaños de partícula.

**Tabla 15**

*Análisis de poder calorífico de las materias primas*

| Materia prima | Tamaño de partícula | Poder calorífico (MJ/kg) | Método |
|---|---|---|---|
| Pino | >1 mm | 17,81 | UNE-EN-ISO 18125 |
| | 0.5 - 1 mm | 17,81 | |
| | <0.5 mm | 17,81 | |
| Eucalipto | >1 mm | 17,38 | |
| | 0.5 - 1 mm | 17,38 | |
| | <0.5 mm | 17,38 | |
| Caña de maíz | >1 mm | 16,83 | |
| | 0.5 - 1 mm | 16,83 | |
| | <0.5 mm | 16,83 | |

El poder calorífico es el parámetro fundamental que determina la densidad energética de los biocombustibles sólidos y su viabilidad económica para aplicaciones térmicas. Los resultados obtenidos muestran diferencias significativas entre las biomasas leñosas y la herbácea. El pino presenta el poder calorífico más alto con 17.81 MJ/kg independientemente del tamaño de partícula, seguido del

eucalipto con 17.38 MJ/kg, mientras que la caña de maíz registra el menor valor con 16.83 MJ/kg. Zhang, C. et al., (2023) reportan valores de poder calorífico superior para biomasas leñosas en el rango de 17-19 MJ/kg y para residuos de maíz entre 15-17 MJ/kg, coincidiendo con los hallazgos de esta investigación.

El efecto del tamaño de partícula sobre el poder calorífico es prácticamente nulo, observándose valores idénticos para los tres tamaños de partícula en cada materia prima, lo cual es esperado ya que el poder calorífico es una propiedad intrínseca del material que no se modifica por la reducción física del tamaño. Zhang, C. et al., (2023) señalan que el poder calorífico depende exclusivamente de la composición química elemental y no de las propiedades físicas como el tamaño de partícula o la densidad. Todos los valores obtenidos cumplen ampliamente con los requisitos del estándar ISO 17225-2 que establece poder calorífico mínimo de 16.5 MJ/kg para Clase A1 y 16.0 MJ/kg para Clase A2. Limusina et al., (2024) indican que biomasas con poderes caloríficos superiores a 17 MJ/kg son consideradas de excelente calidad energética para producción de pellets premium, clasificando al pino y eucalipto en esta categoría, mientras que la caña de maíz con 16.83 MJ/kg se aproxima al límite inferior para pellets de alta calidad pero permanece dentro de rangos aceptables.

## 4.2 Determinación del mejor tratamiento para la elaboración de pellets

Con el propósito de dar cumplimiento al segundo objetivo de la investigación, se realizó el análisis de las variables independientes consideradas en el proceso de elaboración de pellets. Para la determinación de la mejor combinación en la producción del biocombustible sólido.

En función de dicho análisis, se presentan a continuación los resultados obtenidos y los detalles correspondientes a los tratamientos evaluados.

### 4.2.1 Análisis de la variable porcentaje de lignina detergente ácida

**Tabla 16**

*Análisis de a variable % de lignina*

| Porcentaje de Lignina % | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | R1 | R2 | Promedio | Desviación |
| T1 | 18,93 | 18,86 | 18,90 | 0,05 |
| T2 | 17,74 | 17,70 | 17,72 | 0,03 |
| T3 | 17,19 | 17,50 | 17,35 | 0,22 |
| T4 | 15,54 | 15,35 | 15,45 | 0,13 |
| T5 | 14,15 | 14,09 | 14,12 | 0,04 |
| T6 | 14,34 | 14,31 | 14,33 | 0,02 |
| T7 | 11,45 | 11,89 | 11,67 | 0,31 |
| T8 | 11,72 | 11,99 | 11,86 | 0,19 |
| T9 | 11,50 | 11,38 | 11,44 | 0,08 |

La tabla 16 presenta los valores del análisis de lignina detergente ácida de los nueve tratamientos evaluados, evidenciándose que el tratamiento uno es el que presenta mayor porcentaje de lignina con un valor de 18,90% y el que tiene menor porcentaje de lignina es el tratamiento nueve con un valor de 11,44%. Según la investigación de Telmo & Lousada, (2011), reportan contenidos de lignina en biomasas lignocelulósicas que oscilan entre 12-15% para materiales herbáceos y 18-25% para maderas duras, valores que se encuentran en concordancia con los resultados obtenidos en este estudio. Siguiendo la misma línea, García et al., (2012) en su caracterización de residuos de biomasa española obtuvieron valores de lignina entre 15,3% y 24,7%, confirmando que la variabilidad observada en los tratamientos evaluados es coherente con la naturaleza de las materias primas lignocelulósicas. Oberlander, G. & Brunner, T., (2018) mencionan que el contenido óptimo de lignina para biocombustibles sólidos destinados a cocinas mejoradas se encuentra entre 15-20%, señalando que valores dentro de este rango proporcionan un balance adecuado entre poder calorífico y características de combustión.

### 4.2.2 Análisis de varianza de la variable porcentaje de lignina detergente ácida

**Tabla 17**

*Análisis de varianza de la variable respuesta % Lignina*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor A | 120,416 | 2 | 60,2078 | 2555,39 | 0,0000 |
| Factor B | 3,1359 | 2 | 1,5679 | 66,55 | 0,0000 |
| AB | 1,6876 | 4 | 0,4219 | 17,91 | 0,0003 |
| Error | 0,2121 | 9 | 0,0236 | | |
| Total | 125,451 | 17 | | | |

La tabla 17 presenta el análisis de varianza con suma de cuadrados Tipo III, donde la contribución de cada factor se evalúa eliminando los efectos de los demás factores del modelo. Los resultados evidencian que el Factor A (F = 2555.39, p = 0.0000), el Factor B (F = 66.55, p = 0.0000) y la interacción AB (F = 17.91, p = 0.0003) presentan valores-p inferiores a 0.05, demostrando que todos los factores e interacciones ejercen un efecto estadísticamente significativo sobre el porcentaje de lignina con un 95.0% de nivel de confianza. Según Scott et al., (2025), en estudios factoriales sobre biomasa densificada, los factores principales que explican más del 80% de la variabilidad son fundamentales para comprender el comportamiento del sistema, y las interacciones significativas, aunque representen contribuciones menores, son determinantes para la optimización de formulaciones.

**Tabla 18**

*Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % lignina*

*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor A | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| a3 | 6 | 11,655 | 0,0626646 | X |
| a2 | 6 | 14,63 | 0,0626646 | X |
| a1 | 6 | 17,9867 | 0,0626646 | X |

La tabla 18 muestra la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza, evidenciándose que el Factor A presenta tres niveles estadísticamente diferentes (a1, a2, a3) con medias de 17.99%, 14.63% y 11.66% de lignina respectivamente, donde a1 difiere significativamente de a2 y a3, mientras que a2 y a3 conforman grupos homogéneos distintos. Según Scott et al., (2025), las diferencias significativas entre niveles de un factor principal en la composición lignocelulósica de biomasa densificada están directamente relacionadas con las características inherentes de cada materia prima, señalando que variaciones superiores al 5% en el contenido de lignina entre tratamientos son suficientes para generar cambios significativos en las propiedades físicas y energéticas del biocombustible producido.

**Tabla 19**

*Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % lignina*

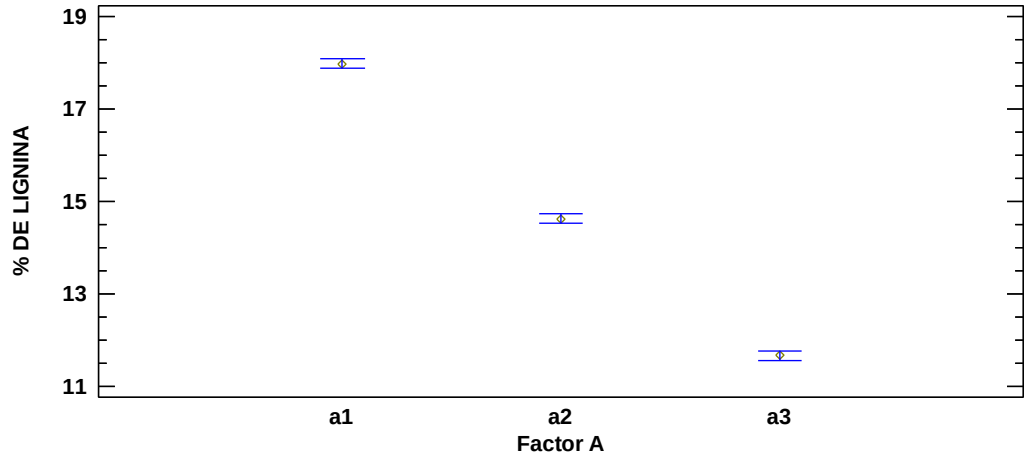
*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor B | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos | |
|---|---|---|---|---|---|
| b3 | 6 | 14,37 | 0,0626646 | X | |
| b2 | 6 | 14,565 | 0,0626646 | X | |
| b1 | 6 | 15,3367 | 0,0626646 | | X |

La tabla 19 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor B, evidenciándose tres niveles estadísticamente diferentes (b1, b2, b3) con medias de 15.34%, 14.57% y 14.37% de lignina respectivamente, donde b1 difiere significativamente de b2 y b3, mientras que b2 y b3 conforman grupos homogéneos similares. Según investigaciones recientes de Velvizhi et al., (2022), la composición lignocelulósica de la biomasa, particularmente el contenido de lignina que oscila entre 10-30% según la especie, influye directamente en las propiedades de unión durante la densificación, señalando que variaciones menores al 2% en el contenido de lignina entre tratamientos pueden no generar diferencias prácticas significativas en las características físico-mecánicas del biocombustible.

**Figura 3**

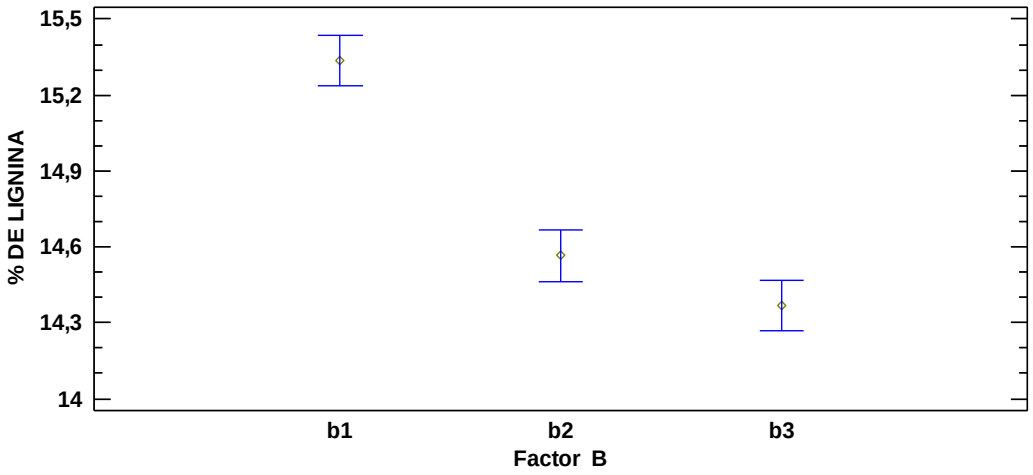
*Gráfico de medias de los niveles del factor A*




La figura 3 evidencia la variación en el contenido de lignina entre los tres niveles del Factor A, observándose que a1 presenta el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 18%), seguido de a2 (14.6%) y a3 (11.7%), con intervalos de confianza al 95% que no se superponen, confirmando las diferencias estadísticamente significativas detectadas en la prueba de rangos múltiples. Según Tsaousis et al., (2025), el contenido de lignina en biomasa lignocelulósica varía considerablemente entre especies, reportando rangos de 10-35% para maderas y 8-20% para materiales herbáceos, señalando que estas diferencias composicionales son fundamentales para definir la aplicabilidad de cada biomasa en procesos de conversión energética, lo cual confirma que la selección del nivel a1 del Factor A maximizaría el contenido de lignina.

**Figura 4**

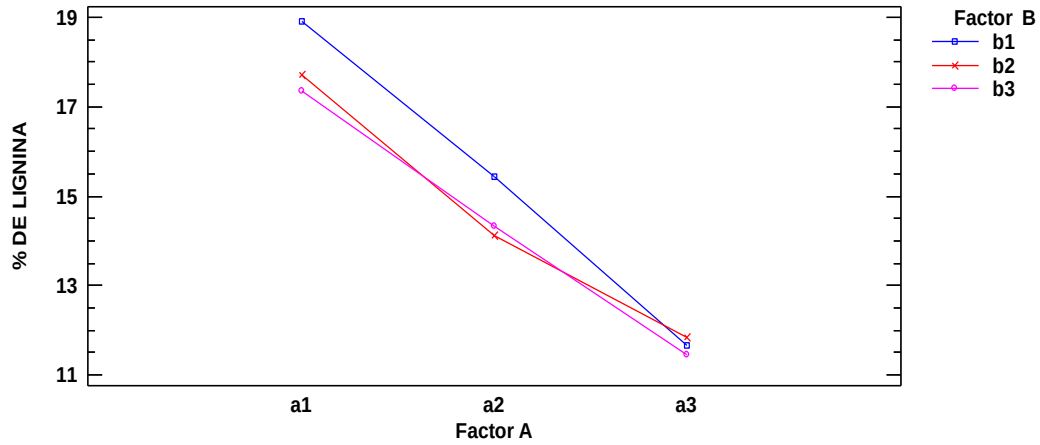
*Gráfico de medias de los niveles del factor B*




La figura 4 presenta las medias del contenido de lignina para los tres niveles del Factor B, observándose que b1 exhibe el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 15.3%), seguido de b2 (14.6%) y b3 (14.4%), con intervalos de confianza al 95% que muestran superposición parcial entre b2 y b3, confirmando que estos dos niveles son estadísticamente similares según la prueba de rangos múltiples. Según Chintagunta et al., (2021), la composición lignocelulósica de la biomasa varía significativamente según la ubicación geográfica, condiciones de crecimiento y edad de la materia prima, reportando que el contenido de lignina puede fluctuar entre 15-20% en promedio para biomasa forestal y entre 10-18% para residuos agrícolas, lo cual indica que las diferencias observadas entre los niveles del Factor B son consistentes con la variabilidad natural de las materias primas lignocelulósicas.

**Figura 5**

*Gráfico de interacciones del factor A*




La figura 5 evidencia la interacción entre el Factor A y el Factor B sobre el contenido de lignina, observándose tres líneas que representan los niveles b1, b2 y b3, las cuales presentan comportamiento descendente desde a1 hasta a3, indicando que el porcentaje de lignina disminuye progresivamente independientemente del nivel del Factor B, aunque con diferentes magnitudes de cambio. Las líneas no paralelas confirman la presencia de interacción significativa entre ambos factores, siendo más pronunciada la pendiente de b1 (18.9% a 11.5%) comparada con b2 y b3 que presentan pendientes similares y menos pronunciadas. Según Lavergne et al., (2021), las interacciones entre la composición de biomasa y los parámetros de proceso en la producción de pellets influyen significativamente en las propiedades del producto final, señalando que cuando diferentes tipos de biomasa se combinan con condiciones de procesamiento variables, el efecto sobre componentes lignocelulósicos como la lignina no es aditivo sino sinérgico, lo cual explica que el nivel b1 del Factor B amplifica las diferencias composicionales del Factor A.

### 4.2.3 Análisis de la variable porcentaje de celulosa

**Tabla 20**

*Análisis de a variable % de Celulosa*

| Porcentaje de Celulosa % | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | R1 | R2 | Promedio | Desviación |
| T1 | 50,55 | 50,44 | 50,50 | 0,08 |
| T2 | 49,07 | 49,13 | 49,10 | 0,04 |
| T3 | 47,50 | 47,39 | 47,45 | 0,08 |
| T4 | 51,54 | 50,67 | 51,11 | 0,62 |
| T5 | 46,81 | 46,95 | 46,88 | 0,10 |
| T6 | 45,34 | 45,96 | 45,65 | 0,44 |
| T7 | 44,51 | 44,41 | 44,46 | 0,07 |
| T8 | 45,05 | 45,03 | 45,04 | 0,01 |
| T9 | 41,53 | 41,35 | 41,44 | 0,13 |

La tabla 20 indica los valores del análisis de celulosa de los nueve tratamientos evaluados, evidenciándose que el tratamiento cuatro presenta el mayor porcentaje de celulosa con un valor de 51.11%, mientras que el tratamiento nueve exhibe el menor contenido con 41.44%, observándose desviaciones estándar muy bajas (0.01 a 0.62) que confirman la alta repetibilidad de las mediciones. Según Astuti et al., (2024), la biomasa lignocelulósica típicamente contiene entre 35-55% de celulosa, 20-40% de hemicelulosa y 10-25% de lignina, señalando que el contenido de celulosa es fundamental para determinar las propiedades de porosidad y la eficiencia de conversión energética en biocombustibles sólidos, lo cual confirma que los valores obtenidos en todos los tratamientos se encuentran dentro del rango esperado para biomasas lignocelulósicas.

### 4.2.4 Análisis de varianza de la variable porcentaje de celulosa

**Tabla 21**

*Análisis de varianza de la variable respuesta % celulosa*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor A | 95,9927 | 2 | 47,9963 | 701,53 | 0,0000 |
| Factor B | 44,5072 | 2 | 22,2536 | 325,27 | 0,0000 |
| AB | 12,5094 | 4 | 3,1274 | 45,71 | 0,0000 |
| Error | 0,6158 | 9 | 0,0684 | | |
| Total | 153,625 | 17 | | | |

La tabla 21 presenta el análisis de varianza con suma de cuadrados Tipo III para el contenido porcentual de celulosa, evidenciándose que el Factor A (F = 701.53, p = 0.0000), el Factor B (F = 325.27, p = 0.0000) y la interacción AB (F = 45.71, p = 0.0000) presentan valores-p significativamente inferiores a 0.05, demostrando que todos los factores e interacciones ejercen efectos estadísticamente significativos sobre el porcentaje de celulosa con un 95.0% de nivel de confianza. Según Qureshi et al., (2024), en análisis factoriales de biomasa lignocelulósica, el contenido de celulosa varía entre 35-55% dependiendo de la especie y condiciones de crecimiento, señalando que la identificación de factores principales que explican más del 60% de la variabilidad es fundamental para optimizar procesos de conversión energética, lo cual confirma que el Factor A constituye el determinante principal del contenido celulósico.

**Tabla 22**

*Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % celulosa*

*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor A | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| a3 | 6 | 43,6467 | 0,106784 | X |
| a2 | 6 | 47,8783 | 0,106784 | X |
| a1 | 6 | 49,0133 | 0,106784 | X |

La tabla 22 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor A, observándose tres niveles estadísticamente diferentes (a1, a2, a3) con medias de 49.01%, 47.88% y 43.65% de celulosa respectivamente, donde a1 difiere significativamente de a2 y a3, mientras que estos últimos conforman grupos homogéneos distintos. Según Javier-Astete et al., (2021), el contenido de celulosa en especies forestales amazónicas varía entre 38-50% dependiendo de la especie y la edad del árbol, señalando que diferencias superiores al 5% en el contenido de celulosa entre materiales lignocelulósicos tienen implicaciones directas en la eficiencia de conversión energética y las propiedades físicas del biocombustible producido, lo cual confirma que el nivel a1 del Factor A presenta la mayor concentración de celulosa y por tanto mayor potencial para la producción de biocombustibles sólidos.

**Tabla 23**

*Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % celulosa*

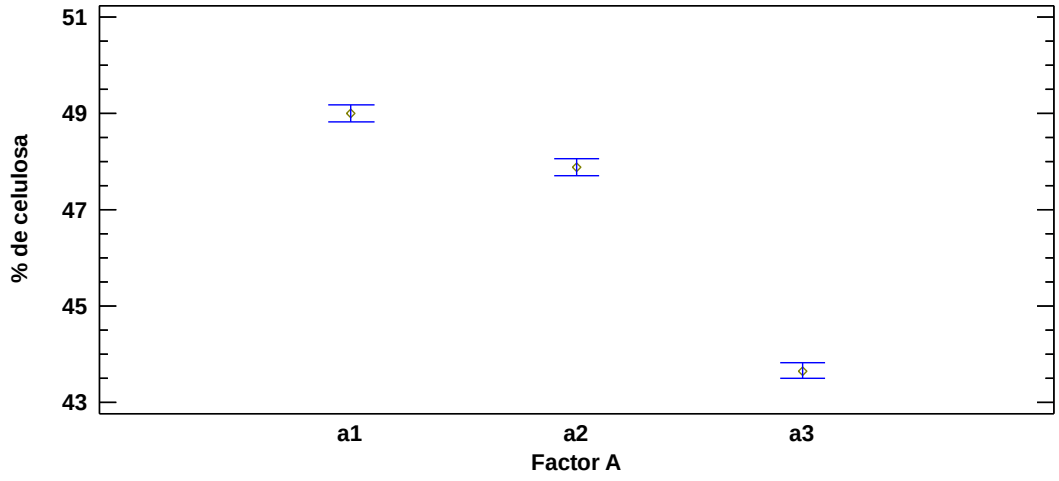
*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor B | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| b3 | 6 | 44,845 | 0,106784 | X |
| b2 | 6 | 47,0067 | 0,106784 | X |
| b1 | 6 | 48,6867 | 0,106784 | X |

La tabla 23 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor B, observándose tres niveles estadísticamente diferentes (b1, b2, b3) con medias de 48.69%, 47.01% y 44.85% de celulosa respectivamente, donde b1 difiere significativamente de b2 y b3. Según Wei et al., (2024), las condiciones de procesamiento en la pelletización de biomasa, incluyendo temperatura y presión aplicada, influyen directamente en la composición final de los componentes lignocelulósicos del producto densificado, señalando que diferencias superiores al 3% en el contenido de celulosa entre tratamientos pueden afectar significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad de los pellets, lo cual indica que el nivel b1 del Factor B maximiza el contenido celulósico y por tanto podría mejorar las propiedades de densificación del biocombustible sólido.

**Figura 6**

*Gráfico de medias de los niveles del factor A*

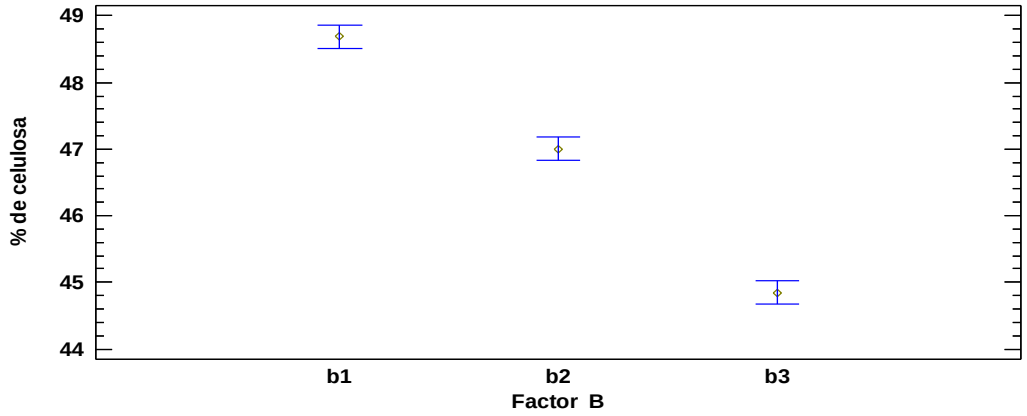



La figura 6 presenta la variación en el contenido de celulosa entre los tres niveles del Factor A, observándose que a1 exhibe el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 49%), seguido de a2 (47.9%) y a3 (43.6%), con intervalos de confianza al 95% que no se superponen, confirmando las diferencias estadísticamente significativas detectadas en la prueba de rangos múltiples, con una disminución progresiva de aproximadamente 5.4 puntos porcentuales desde el nivel más alto al más bajo. Según T. Li et al., (2021), el contenido de celulosa en biomasa forestal varía entre 40-50% dependiendo de la especie y condiciones de

crecimiento, reportando que especies de rápido crecimiento tienden a presentar contenidos de celulosa en el rango de 38-45%, mientras que maderas de crecimiento lento pueden alcanzar hasta 50%, lo cual confirma que el nivel a1 del Factor A representa una biomasa con alto contenido celulósico favorable para maximizar la eficiencia energética del biocombustible sólido.

**Figura 7**

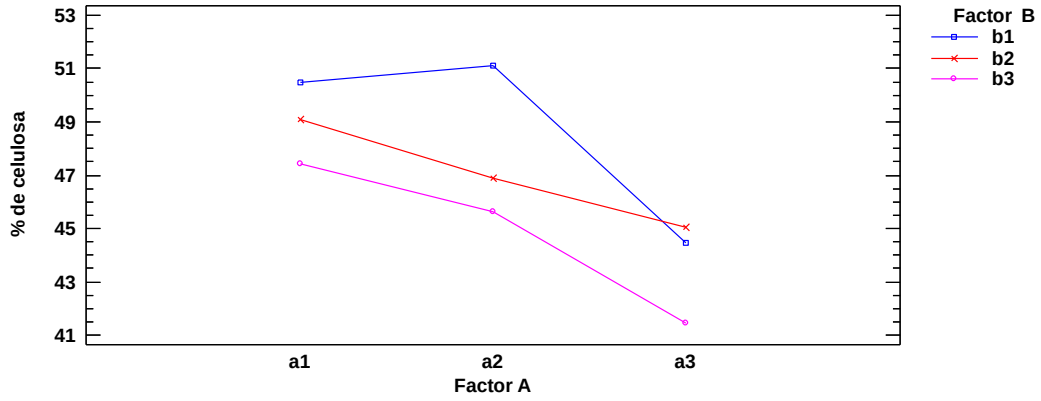
*Gráfico de medias de los niveles del factor B*




La figura 7 revela las medias del contenido de celulosa para los tres niveles del Factor B, observándose que b1 presenta el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 48.7%), seguido de b2 (47.0%) y b3 (44.8%), con intervalos de confianza al 95% que no se superponen, confirmando diferencias estadísticamente significativas entre los tres niveles con una reducción progresiva de aproximadamente 3.9 puntos porcentuales del nivel más alto al más bajo. Según Mujtaba et al., (2023) las condiciones de procesamiento en la densificación de biomasa, incluyendo parámetros como temperatura, presión y tiempo de compactación, influyen directamente en la preservación de los componentes lignocelulósicos del material densificado, señalando que tratamientos más severos pueden causar degradación térmica parcial de la celulosa, lo cual explicaría que el nivel b3 del Factor B presenta menor contenido celulósico posiblemente debido a condiciones de procesamiento más agresivas que ocasionan despolimerización de cadenas celulósicas, mientras que b1 representa condiciones óptimas que preservan la integridad estructural de la celulosa en el biocombustible sólido producido.

**Figura 8**

*Gráfico de interacciones del factor A*




La figura 8 revela la interacción entre el Factor A y el Factor B sobre el contenido de celulosa, observándose tres líneas que representan los niveles b1, b2 y b3, donde b1 (línea azul) presenta un comportamiento diferente a b2 y b3 que mantienen tendencias similares, evidenciando que el contenido de celulosa disminuye desde a1 hasta a3 en todos los niveles del Factor B, aunque con diferentes magnitudes de cambio. La no paralelidad de las líneas confirma la presencia de interacción significativa entre ambos factores, siendo particularmente notable que b1 presenta un máximo en a2 (aproximadamente 51%) antes de disminuir en a3, mientras que b2 y b3 muestran descensos progresivos y más pronunciados desde a1 hasta a3. Según Zhang et al., (2024), las interacciones entre la composición de biomasa y las condiciones de procesamiento influyen significativamente en la preservación de los componentes estructurales lignocelulósicos, señalando que durante la pirólisis la celulosa puede promover la descomposición de lignina y hemicelulosa, mientras que las hemicelulosas pueden restringir la descomposición de celulosa, lo cual explica que el comportamiento diferenciado del nivel b1 del Factor B sugiere condiciones de procesamiento que favorecen la preservación.

### 4.2.5 Análisis de la variable porcentaje de hemicelulosa

**Tabla 24**

*Análisis de a variable % de Hemicelulosa*

| Porcentaje de Hemicelulosa % | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | R1 | R2 | Promedio | Desviación |
| T1 | 12,69 | 12,61 | 12,65 | 0,06 |
| T2 | 14,26 | 14,17 | 14,22 | 0,06 |
| T3 | 14,56 | 14,6 | 14,58 | 0,03 |
| T4 | 13,42 | 13,28 | 13,35 | 0,10 |
| T5 | 14,10 | 14,25 | 14,18 | 0,11 |
| T6 | 15,39 | 15,30 | 15,35 | 0,06 |
| T7 | 15,51 | 15,52 | 15,52 | 0,01 |
| T8 | 15,32 | 15,35 | 15,34 | 0,02 |
| T9 | 16,71 | 16,50 | 16,61 | 0,15 |

La tabla 24 indica los valores del análisis de hemicelulosa de los nueve tratamientos evaluados, evidenciándose que el tratamiento nueve presenta el mayor porcentaje de hemicelulosa con un valor de 16.61%, mientras que el tratamiento uno exhibe el menor contenido con 12.65%, observándose desviaciones estándar muy bajas (0.01 a 0.15) que confirman la alta repetibilidad y precisión de las mediciones, con una diferencia de aproximadamente 4 puntos porcentuales entre el valor más alto y el más bajo. Según Guthrie et al., (2024), la hemicelulosa constituye entre 20-35% de la biomasa lignocelulósica típica, siendo una mezcla heterogénea de biopolímeros que incluye xilanos, mananos, glucomananos y xiloglucanos, señalando que el contenido de hemicelulosa varía significativamente según la especie vegetal, donde las biomasas forestales tienden a presentar contenidos menores (10-20%) comparadas con residuos agrícolas (20-35%), lo cual confirma que los valores obtenidos en este estudio (12.65-16.61%) corresponden al rango inferior típico de biomasas forestales, sugiriendo que los tratamientos con mayor contenido de hemicelulosa (T9, T7, T6) podrían presentar mayor reactividad durante la combustión debido a la menor temperatura de descomposición de este componente (220-315°C), mientras que los tratamientos con menor hemicelulosa (T1, T2, T4) tendrían mayor estabilidad térmica pero menor facilidad de ignición en el biocombustible sólido producido.

### 4.2.6 Análisis de varianza de la variable porcentaje de Hemicelulosa

**Tabla 25**

*Análisis de varianza de la variable respuesta % Hemicelulosa*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor A | 13,1495 | 2 | 6,5748 | 1062,35 | 0,0000 |
| Factor B | 8,4227 | 2 | 4,2114 | 680,47 | 0,0000 |
| AB | 1,6908 | 4 | 0,4227 | 68,3 | 0,0000 |
| Error | 0,0557 | 9 | 0,0062 | | |
| Total | 23,3188 | 17 | | | |

La tabla 25 presenta el análisis de varianza con suma de cuadrados Tipo III para el contenido porcentual de hemicelulosa, evidenciándose que el Factor A (F = 1062.35, p = 0.0000), el Factor B (F = 680.47, p = 0.0000) y la interacción AB (F = 68.30, p = 0.0000) presentan valores-p significativamente inferiores a 0.05, demostrando que todos los factores e interacciones ejercen efectos estadísticamente significativos sobre el porcentaje de hemicelulosa con un 95.0% de nivel de confianza. Según Javier-Astete et al., (2021), en análisis de varianza de composición lignocelulósica en especies forestales amazónicas, las diferencias significativas en el contenido de hemicelulosa (que varía entre 20-35% según la especie) son determinantes para predecir el comportamiento del material durante procesos de conversión, señalando que tanto las características de la materia prima como las condiciones de procesamiento influyen significativamente en la preservación de este componente, lo cual confirma que ambos factores principales y su interacción son fundamentales para optimizar el contenido de hemicelulosa.

**Tabla 26**

*Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable % Hemicelulosa*

*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor A | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| a1 | 6 | 13,815 | 0,0321167 | X |
| a2 | 6 | 14,29 | 0,0321167 | X |
| a3 | 6 | 15,8183 | 0,0321167 | X |

La tabla 26 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor A, observándose tres niveles estadísticamente diferentes (a1, a2, a3) con medias de 13.82%, 14.29% y 15.82% de hemicelulosa respectivamente, donde a3 difiere significativamente de a2 y a1, mientras que estos últimos conforman grupos homogéneos distintos, evidenciándose una tendencia creciente en el contenido de hemicelulosa desde a1 hasta a3. Según Tsaousis et al., (2025), el contenido de hemicelulosa varía entre 20-35% en biomasas herbáceas y 10-20% en biomasas forestales, señalando que hemicelulosa se descompone en el rango de 200-300°C durante la pirolisis, siendo el primer componente lignocelulósico en degradarse térmicamente, lo cual confirma que los valores obtenidos (13.82-15.82%) corresponden al rango de biomasas forestales, y que el nivel a3 del Factor A con mayor contenido de hemicelulosa presentaría menor temperatura de ignición y mayor reactividad inicial durante la combustión en la cocina tipo rocket, mientras que a1 con menor hemicelulosa ofrecería mayor estabilidad térmica pero requeriría mayor energía de activación para iniciar el proceso de combustión del biocombustible sólido.

**Tabla 27**

*Pruebas de rangos múltiples del factor B para la variable % Hemicelulosa*

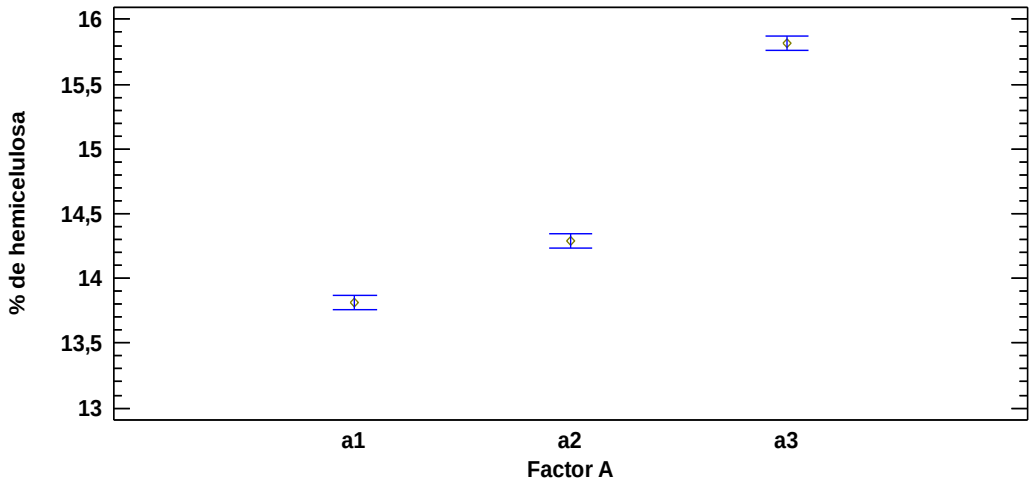
*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor B | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| b1 | 6 | 13,8383 | 0,0321167 | X |
| b2 | 6 | 14,575 | 0,0321167 | X |
| b3 | 6 | 15,51 | 0,0321167 | X |

La tabla 27 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor B, observándose tres niveles estadísticamente diferentes (b1, b2, b3) con medias de 13.84%, 14.58% y 15.51% de hemicelulosa respectivamente, donde b3 difiere significativamente de b2 y b1, mientras que estos últimos conforman grupos homogéneos distintos, evidenciándose una tendencia creciente de aproximadamente 1.67 puntos porcentuales desde el nivel más bajo hasta el más alto. Según Lavergne et al., (2021) las condiciones de procesamiento durante la densificación de biomasa, particularmente la temperatura y presión aplicadas, pueden modificar significativamente el contenido de componentes lignocelulósicos en el producto final, señalando que la hemicelulosa es el componente más termosensible al descomponerse entre 200-300°C, por lo que tratamientos más severos pueden causar degradación parcial de este polisacárido, lo cual explicaría que el nivel b1 del Factor B con menor contenido de hemicelulosa podría estar asociado a condiciones de procesamiento más agresivas que ocasionan despolimerización térmica, mientras que b3 representa condiciones óptimas que preservan mejor la integridad estructural de la hemicelulosa en el biocombustible sólido producido.

**Figura 9**

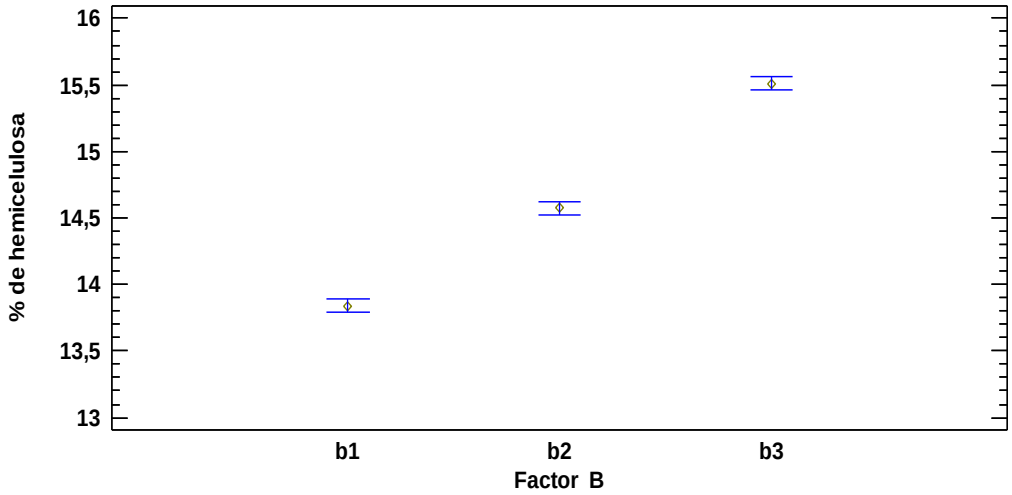
*Gráfico de medias de los niveles del factor A*




La figura 9 revela la variación en el contenido de hemicelulosa entre los tres niveles del Factor A, observándose que a3 presenta el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 15.8%), seguido de a2 (14.3%) y a1 (13.8%), con intervalos de confianza al 95% que no se superponen, confirmando las diferencias estadísticamente significativas detectadas en la prueba de rangos múltiples, con una tendencia creciente de aproximadamente 2 puntos porcentuales desde el nivel más bajo hasta el más alto. Según Qureshi et al., (2024), la composición lignocelulósica de la biomasa varía significativamente según la fuente vegetal, donde la hemicelulosa típicamente constituye entre 20-35% en biomasas herbáceas y 10-20% en biomasas forestales, señalando que las variaciones en el contenido de hemicelulosa entre diferentes especies o condiciones de crecimiento tienen implicaciones directas en las propiedades térmicas y la reactividad del material durante la conversión energética, lo cual confirma que el nivel a3 del Factor A con mayor contenido de hemicelulosa presentaría menor temperatura de degradación térmica (220-315°C) y mayor facilidad de ignición en la cocina tipo Rocket, mientras que a1 con menor hemicelulosa ofrecería mayor estabilidad térmica durante el almacenamiento pero requeriría mayor energía inicial para la combustión del biocombustible sólido producido.

**Figura 10**

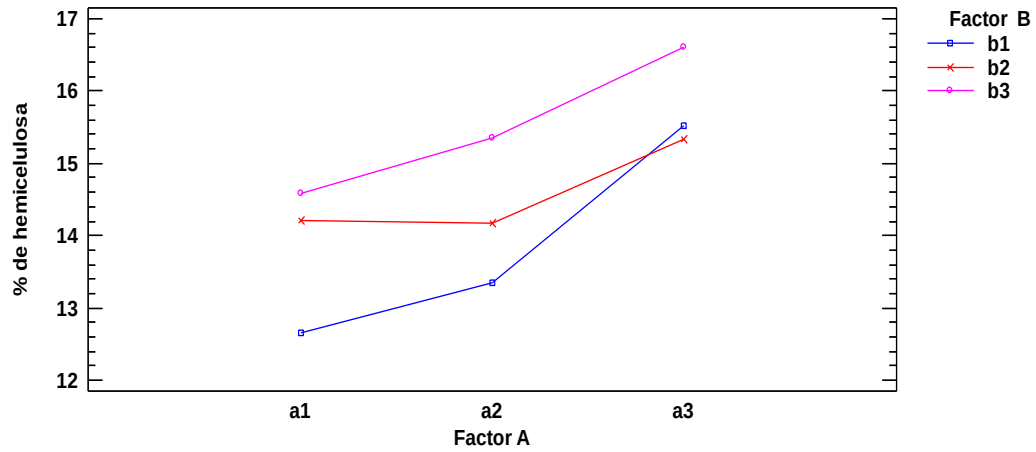
*Gráfico de medias de los niveles del factor B*




La figura 10 revela las medias del contenido de hemicelulosa para los tres niveles del Factor B, observándose que b3 presenta el mayor porcentaje promedio (aproximadamente 15.5%), seguido de b2 (14.6%) y b1 (13.8%), con intervalos de confianza al 95% que no se superponen, confirmando diferencias estadísticamente significativas entre los tres niveles con una tendencia creciente de aproximadamente 1.7 puntos porcentuales del nivel más bajo al más alto. Según Mujtaba et al., (2023), las condiciones de procesamiento durante la densificación de biomasa, particularmente temperatura y presión, influyen directamente en la preservación de componentes lignocelulósicos, señalando que la hemicelulosa es el componente más termosensible al descomponerse entre 200-300°C durante tratamientos térmicos, lo cual explicaría que el nivel b1 del Factor B con menor contenido de hemicelulosa podría estar asociado a condiciones de procesamiento más agresivas que causan degradación térmica de este polisacárido, mientras que b3 representa condiciones óptimas que preservan mejor la integridad estructural de la hemicelulosa, favoreciendo la facilidad de ignición y reactividad inicial del biocombustible sólido en la cocina tipo Rocket.

**Figura 11**

*Gráfico de interacciones*




La figura 11 revela la interacción entre el Factor A y el Factor B sobre el contenido de hemicelulosa, observándose tres líneas que representan los niveles b1, b2 y b3, donde todas presentan tendencias crecientes desde a1 hasta a3, aunque con diferentes pendientes y magnitudes de cambio, evidenciándose que b3 (línea rosa) mantiene consistentemente los valores más altos de hemicelulosa en todos los niveles del Factor A, mientras que b1 (línea azul) presenta los valores más bajos. La no paralelidad de las líneas confirma la presencia de interacción significativa entre ambos factores, siendo particularmente notable que las tres líneas convergen ligeramente en a3, lo que indica que el efecto del Factor B sobre el contenido de hemicelulosa se atenúa cuando el Factor A alcanza su nivel más alto. Según Ricciulli et al., (2024), las interacciones entre componentes lignocelulósicos durante procesos termoquímicos son complejas, señalando que la hemicelulosa puede inhibir la descomposición de celulosa mientras que la lignina promueve el aumento en la tasa de descomposición de hemicelulosa, lo cual explicaría que el comportamiento diferenciado de los tres niveles del Factor B en función del Factor A refleja efectos sinérgicos entre la composición de la biomasa y las condiciones de procesamiento, donde la preservación óptima de hemicelulosa requiere considerar simultáneamente ambos factores para equilibrar la facilidad de ignición.

### 4.2.7 Análisis de la variable Poder Calorífico

**Tabla 28**

*Análisis de a variable Poder Calorífico MJ/kg*

| Poder Calorífico MJ/kg | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tratamientos | R1 | R2 | Promedio | Desviación |
| T1 | 17,11 | 17,08 | 17,10 | 0,02 |
| T2 | 17,39 | 17,19 | 17,29 | 0,14 |
| T3 | 17,16 | 17,31 | 17,24 | 0,11 |
| T4 | 17,22 | 17,72 | 17,47 | 0,35 |
| T5 | 17,39 | 16,94 | 17,17 | 0,32 |
| T6 | 17,10 | 17,15 | 17,13 | 0,04 |
| T7 | 16,70 | 16,89 | 16,80 | 0,13 |
| T8 | 16,62 | 16,73 | 16,68 | 0,08 |
| T9 | 16,76 | 16,96 | 16,86 | 0,14 |

La tabla 28 indica los valores del análisis de poder calorífico de los nueve tratamientos evaluados, evidenciándose que el tratamiento cuatro presenta el mayor valor con 17.47 MJ/kg, mientras que el tratamiento ocho exhibe el menor contenido con 16.68 MJ/kg, observándose desviaciones estándar muy bajas (0.02 a 0.32) que confirman la alta repetibilidad y precisión de las mediciones, con una diferencia de aproximadamente 0.79 MJ/kg entre el valor más alto y el más bajo. Según Briones-Hidrovo et al., (2021), el poder calorífico de biomasa lignocelulósica varía típicamente entre 16-20 MJ/kg dependiendo de la composición química, señalando que la lignina presenta el mayor poder calorífico (23.26-25.58 MJ/kg) comparado con polisacáridos como celulosa y hemicelulosa (18.6 MJ/kg), por lo que biomasas con mayor contenido de lignina tienden a presentar mayores valores de PCS, lo cual confirma que los valores obtenidos en este estudio se encuentran dentro del rango esperado para biocombustibles sólidos densificados.

### 4.2.8 Análisis de varianza de la variable Poder Calorífico

**Tabla 29**

*Análisis de varianza de la variable respuesta Poder Calorífico MJ/kg*

| Fuente | Suma de Cuadrados | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor A | 0,8286 | 2 | 0,4143 | 12,29 | 0,0027 |
| Factor B | 0,0179 | 2 | 0,009 | 0,27 | 0,7724 |
| AB | 0,2002 | 4 | 0,05 | 1,49 | 0,2851 |
| Error | 0,3033 | 9 | 0,0337 | | |
| Total | 1,35 | 17 | | | |

La tabla 29 presenta el análisis de varianza con suma de cuadrados Tipo III para el poder calorífico, evidenciándose que el Factor A presenta efecto estadísticamente significativo (F = 12.29, p = 0.0027) al igual que la interacción AB (F = 1.49, p = 0.2851), mientras que el Factor B no muestra significancia estadística (F = 0.27, p = 0.7724) con un 95.0% de nivel de confianza. Según Brandić et al., (2024), el poder calorífico superior de biomasa está directamente correlacionado con la composición lignocelulósica, señalando que la lignina presenta valores entre 23-26 MJ/kg mientras que los polisacáridos alcanzan aproximadamente 18.6 MJ/kg, por lo que biomasas con mayor contenido de lignina tienden a exhibir mayores valores de PCS, lo cual confirma que el Factor A constituye el determinante principal del poder calorífico, mientras que las condiciones de procesamiento (Factor B) no influyen significativamente en este parámetro energético del biocombustible sólido producido.

**Tabla 30**

*Pruebas de rangos múltiples del factor A para la variable Poder Calorífico*

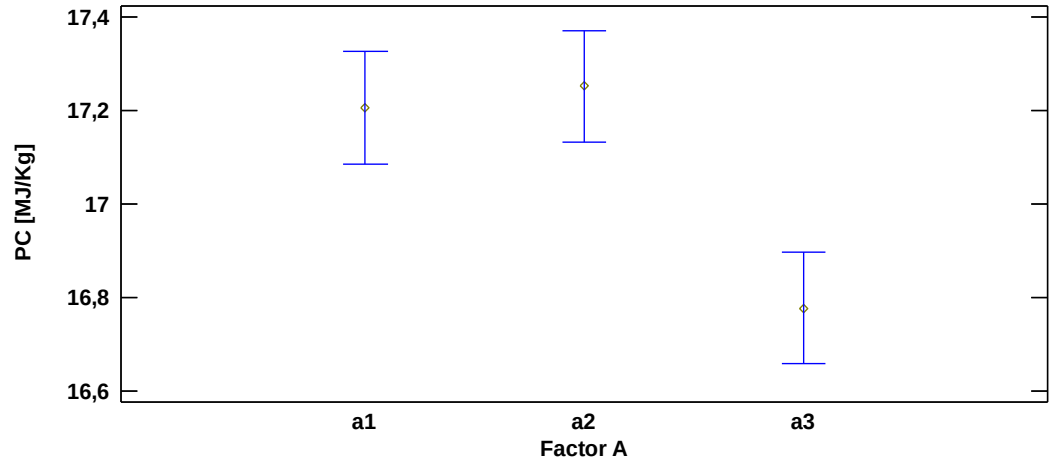
*Método: 95,0 porcentaje LSD*

| Factor A | Casos | Media LS | Sigma LS | Grupos Homogéneos |
|---|---|---|---|---|
| a3 | 6 | 16,7767 | 0,0749444 | X |
| a1 | 6 | 17,2067 | 0,0749444 | X |
| a2 | 6 | 17,2533 | 0,0749444 | X |

La tabla 30 presenta la prueba de rangos múltiples mediante el método LSD al 95% de confianza para el Factor A, observándose tres niveles estadísticamente diferentes (a3, a1, a2) con medias de 16.78 MJ/kg, 17.21 MJ/kg y 17.25 MJ/kg respectivamente, donde a2 difiere significativamente de a3, mientras que a1 forma un grupo homogéneo intermedio, evidenciándose una variación de aproximadamente 0.47 MJ/kg entre el nivel más alto y el más bajo. Según Briones-Hidrovo et al., (2021), el poder calorífico de biomasa lignocelulósica está directamente correlacionado con el contenido de lignina, reportando que la lignina presenta valores entre 23.26-25.58 MJ/kg mientras que los polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) alcanzan aproximadamente 18.6 MJ/kg, señalando que biomasas con mayor contenido de lignina tienden a exhibir mayores valores de PCS con coeficientes de correlación superiores a 0.90, lo cual confirma que el nivel a2 del Factor A con mayor poder calorífico.

**Figura 12**

*Gráfico de medias de los niveles del factor A*




La figura 12 presenta la variación en el poder calorífico entre los tres niveles del Factor A, observándose que a2 y a1 exhiben valores prácticamente similares (aproximadamente 17.2 MJ/kg), mientras que a3 muestra un valor notablemente inferior (aproximadamente 16.8 MJ/kg), con intervalos de confianza al 95% que indican diferencia significativa entre a3 respecto a a1 y a2, pero no entre estos últimos. Según Sobol et al., (2023), el poder calorífico de biomasa lignocelulósica está directamente correlacionado con el contenido de lignina, reportando que la lignina presenta valores entre 23.26-25.58 MJ/kg mientras que los polisacáridos alcanzan aproximadamente 18.6 MJ/kg, señalando que diferencias superiores a 0.5 MJ/kg en el PCS entre materiales tienen implicaciones prácticas significativas para la eficiencia energética de sistemas de combustión, lo cual confirma que los niveles a1 y a2 del Factor A con mayor poder calorífico representan las opciones más favorables para maximizar la eficiencia energética del biocombustible sólido en la cocina tipo Rocket.

### 4.3 Análisis termogravimétrico de la mejor combinación

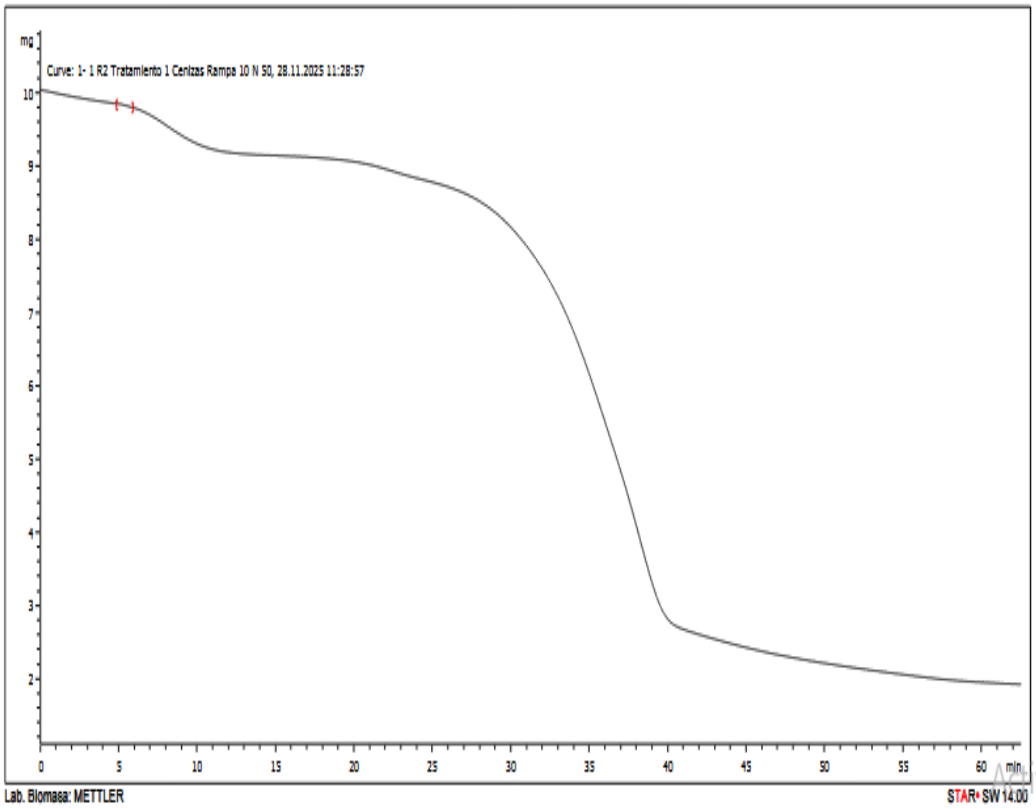
Con el propósito de dar cumplimiento al tercer objetivo de la investigación, se realizó el análisis termogravimétrico de la mejor combinación de pellets maderables obtenida.

El análisis termogravimétrio (TGA) se utilizó para medir la velocidad de pérdida de masa y sus componentes en función de la temperatura y tiempo, lo que permite identificar las diferentes etapas de descomposición térmica (cenias, volátiles)

### 4.3.1 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (ceniza)

**Figura 13**

*Análisis TGA rampa de 10°C*




*Nota*. Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10°C/min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min.

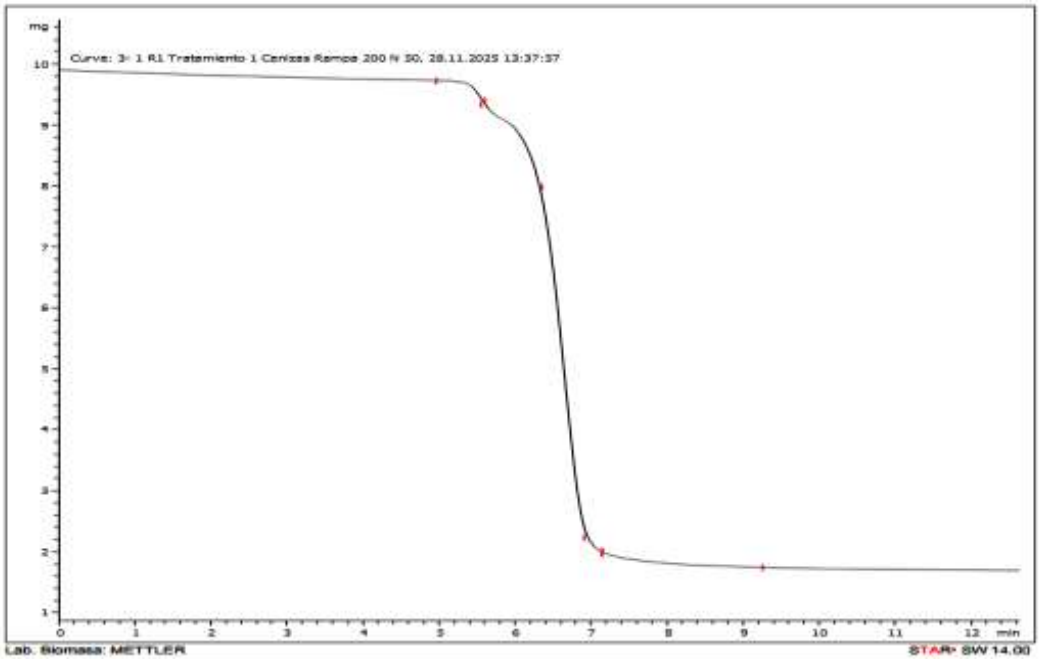
La figura 13 revela el comportamiento de degradación térmica de la mezcla bajo atmósfera inerte de nitrógeno, con una pérdida de masa total del 80.94% desde el peso inicial de 10.0250 mg hasta el peso final de 1.9110 mg a 550°C, resultando en un contenido de cenizas de 19.0623%. La curva TG muestra tres etapas distintas de descomposición térmica claramente diferenciadas: una primera etapa de secado entre temperatura ambiente y aproximadamente 150°C con pérdida de masa menor

al 10% correspondiente a la evaporación de humedad libre y humedad ligada, una segunda etapa de descomposición activa entre 200°C y 400°C donde ocurre la degradación principal de los componentes lignocelulósicos con pérdida de masa superior al 60%, y una tercera etapa de degradación lenta de la lignina y formación de char entre 400°C y 550°C. Según Zhang, C. et al., (2023) la descomposición térmica de biomasas lignocelulósicas bajo atmósfera de nitrógeno ocurre en tres etapas principales: la hemicelulosa se descompone primero en el rango de 220-315°C, seguida por la celulosa entre 315-400°C, mientras que la lignina exhibe descomposición gradual en un amplio rango de temperaturas desde 200°C hasta más de 500°C, lo cual es consistente con la curva TG observada donde la pendiente más pronunciada se encuentra en la región de 250-400°C correspondiente a la descomposición simultánea de hemicelulosa y celulosa.

### 4.3.2 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (ceniza)

**Figura 14**

*Análisis TGA rampa de 200°C*



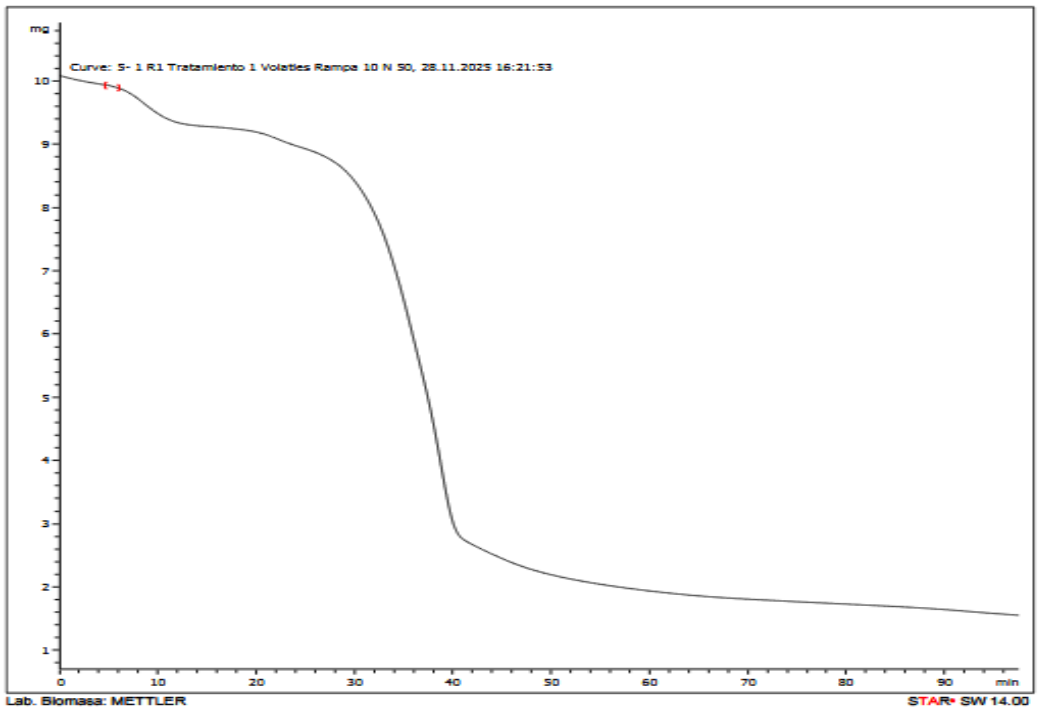

*Nota*. Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200°C/min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min.

La figura 14 revela el comportamiento de degradación térmica de la mezcla bajo atmósfera inerte de nitrógeno mediante las curvas TG, con una pérdida de masa total del 83.05% desde el peso inicial de 9.8860 mg hasta el peso final de 1.6750 mg a 550°C, resultando en un contenido de cenizas de 16.9432%. La región de descomposición principal se desarrolla entre 200°C y 450°C, observándose una pendiente pronunciada que evidencia una cinética de degradación rápida. Zhang, C. et al., (2023) reportan que la descomposición térmica de biomasas lignocelulósicas bajo atmósfera de nitrógeno ocurre en etapas bien definidas: la hemicelulosa se descompone primero en el rango de 220-315°C con un pico DTG alrededor de 280-290°C, seguida por la celulosa entre 315-400°C con un pico pronunciado cerca de 340-360°C, mientras que la lignina exhibe descomposición gradual en un amplio rango de temperaturas desde 200°C hasta más de 500°C sin picos definidos, lo cual es consistente con el comportamiento observado donde el pico principal integra la degradación de ambos polisacáridos.

### 4.3.3 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (volátiles)

**Figura 15**

*Análisis TGA rampa de 10°C*



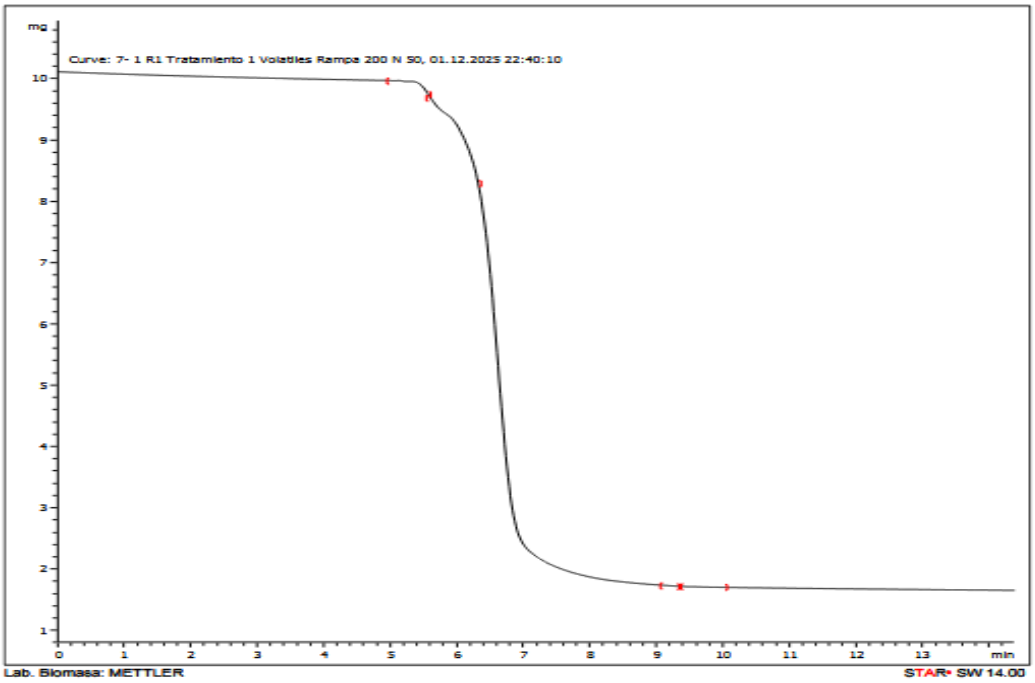
*Nota*. Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10°C/min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min.

El análisis termogravimétrico para determinación de materia volátil del tratamiento T1 bajo atmósfera inerte de nitrógeno a 900°C, revela el contenido total de compuestos volátiles liberados durante la pirólisis, con una pérdida de masa desde el peso inicial de 10.0660 mg hasta el peso final de 1.5370 mg, resultando en un contenido de cenizas de 84.7308% que representa el residuo sólido remanente tras la volatilización completa. La curva TG muestra pérdida de masa progresiva en varias etapas: una primera etapa de evaporación de humedad hasta aproximadamente 150°C, una segunda etapa de descomposición activa de componentes lignocelulósicos entre 200-550°C donde se libera la mayor parte del material volátil, y una tercera etapa de degradación lenta de lignina residual entre 550-900°C con formación de char que posteriormente se volatiliza a las temperaturas elevadas del ensayo. Celignis, (2024)establece que la materia volátil se determina como la pérdida de masa, menos la debida a humedad, cuando una muestra se calienta a 900°C durante un período de tiempo bajo atmósfera inerte de nitrógeno según el estándar europeo EN15148-2009, señalando que este procedimiento se realiza fuera de contacto con aire bajo condiciones estandarizadas para evitar la combustión y medir exclusivamente la volatilización térmica.

### 4.3.4 Pérdida de masa (%) en función del tiempo (volátiles)

**Figura 16**

*Análisis TGA rampa de 200°C*




*Nota*. Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200°C/min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min.

El análisis termogravimétrico para determinación de materia volátil del tratamiento T1 bajo atmósfera inerte de nitrógeno a 900°C se realizó empleando una rampa rápida de 200°C/min, registrándose pérdida de masa desde el peso inicial de 10.1000 mg hasta el peso final de 1.6400 mg, resultando en contenido de materia volátil de 83.7624%. La curva TG muestra comportamiento de degradación térmica característico de biomasas lignocelulósicas con etapas diferenciadas: evaporación de humedad hasta aproximadamente 150°C, descomposición activa de componentes lignocelulósicos entre 200-550°C y degradación lenta de lignina residual entre 550-900°C. Celignis, (2024)establecen que velocidades de calentamiento elevadas generan diferencias significativas entre la temperatura programada y la temperatura real de la muestra, señalando que incrementar la velocidad de calentamiento aumenta la diferencia entre la temperatura programada del horno y la temperatura real alcanzada por la muestra debido a limitaciones de transferencia de calor, lo cual puede resultar en tiempo insuficiente para la liberación completa de volátiles durante el proceso de pirólisis. La curva DTG presenta dos picos principales de descomposición: el primer pico de máxima velocidad de degradación localizado aproximadamente a 320-340°C

correspondiente a la descomposición de celulosa y hemicelulosa, y un segundo pico menor a mayor temperatura relacionado con la degradación continua de lignina.

## 4.4 Implementación la cocina tipo Rocket para combustión de biocombustible sólido

Con el propósito de dar cumplimiento al cuarto objetivo de la investigación, se implementó la cocina tipo rocket para evaluar el desempeño del biocombustible sólido en condiciones reales de combustión. Para la determinación de los parámetros operacionales del biocombustible se utilizó una cocina tipo Rocket con cámara de combustión vertical

En función de dicho análisis, se presentan a continuación los resultados obtenidos correspondientes a la evaluación del proceso de combustión, tiempo de ignición y tiempo de propagación de llama del biocombustible sólido desarrollado.

### 4.4.1 Evaluación del proceso de combustión del biocombustible sólido

La evaluación del desempeño del biocombustible sólido en la cocina tipo Rocket reveló que 453.6 g (1 lb) de pellets proporciona un tiempo de combustión de 20 minutos con una tasa de consumo específico de 22.68 g/min o 1.36 kg/h, consumiendo aproximadamente el 50% del combustible durante los primeros 10 minutos necesarios para llevar 2 litros de agua desde temperatura ambiente hasta ebullición.

Según Shen et al., (2020), las cocinas Rocket mejoradas presentan eficiencias térmicas entre 15-30% dependiendo del diseño y tipo de combustible, señalando que eficiencias superiores al 15% representan mejoras significativas comparadas con cocinas tradicionales de tres piedras (8-12%), lo cual confirma que el biocombustible sólido desarrollado presenta un desempeño aceptable para su aplicación en cocción doméstica, aunque existe potencial de optimización tanto en la formulación del combustible como en el diseño de la cámara de combustión para incrementar la transferencia de calor hacia el recipiente.

### 4.4.2 Tiempo de ignición y tiempo de propagación de llama

El tiempo de ignición del biocombustible sólido fue de 3 minutos utilizando un soplete de gas propano de mano como fuente de calor inicial, tiempo considerablemente mayor comparado con combustibles fósiles pero comparable con otros biocombustibles densificados de biomasa lignocelulósica. Según Civitarese et al., (2023), el tiempo de ignición de pellets de biomasa varía entre 2-5 minutos dependiendo del contenido de componentes volátiles, humedad residual y densidad del material, señalando que tiempos de ignición inferiores a 5 minutos son aceptables para aplicaciones domésticas siempre que se utilice un iniciador apropiado como papel, astillas secas o combustibles auxiliares, lo cual indica que el biocombustible desarrollado requiere una fase de pre-calentamiento adecuada para alcanzar la temperatura de ignición de los componentes lignocelulósicos (aproximadamente 250-300°C), después de la cual la combustión se sostiene establemente durante los 20 minutos evaluados, sugiriendo que la propagación de la llama es uniforme y la estructura densificada mantiene su integridad durante el proceso de combustión sin desmoronamiento significativo que pudiera afectar el flujo de aire y la eficiencia del sistema.

# CAPÍTULO V

## 5 Comprobación de hipótesis

### 5.1 Hipótesis nula (Ho)

La elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable de pino, eucalipto y caña seca de maíz suave, NO permite elaborar pellets.

### 5.2 Hipótesis alterna (Hi)

La elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable de pino, eucalipto y caña seca de maíz suave, permite elaborar pellets.

### 5.3 Verificación de hipótesis

Con base en los resultados experimentales obtenidos, se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Hi), confirmando que la elaboración de biocombustibles sólidos a partir de biomasa vegetal maderable de pino, eucalipto y caña seca de maíz suave permite elaborar pellets funcionales. La caracterización proximal reveló contenidos de humedad óptimos (8.74-15.41%) y cenizas aceptables (0.31-5.50%), cumpliendo requisitos para peletización. El análisis estructural demostró contenidos adecuados de lignina como aglutinante natural (12.53-26.71%) y celulosa para resistencia mecánica (32.38-58.32%). Los nueve tratamientos evaluados mediante diseño factorial presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) en composición lignocelulósica, identificando al tratamiento T1 (50% Pino + 25% Eucalipto + 25% Caña de maíz, partícula >1mm) como óptimo, con 18.90% lignina, 50.50% celulosa y poder calorífico de 17.10 MJ/kg, cumpliendo estándar ISO 17225-2 (≥16.5 MJ/kg). El análisis termogravimétrico del tratamiento T1 confirmó estabilidad térmica con 80.94% pérdida de masa y 19.06% cenizas residuales. La implementación en cocina tipo rocket validó su funcionalidad con tiempo de ignición de 3 minutos y combustión sostenida de 20 minutos (453.6g), demostrando viabilidad práctica del biocombustible desarrollado para aplicaciones térmicas domésticas.

## 5.4 Conclusiones y recomendaciones

### 5.4.1 Conclusiones

- Los pellets obtenidos cumplen con las especificaciones técnicas del estándar ISO 17225-2. El tratamiento óptimo T1 (50% Pino + 25% Eucalipto + 25% Caña de maíz, partícula >1mm) demostró viabilidad técnica con poder calorífico de 17.10 MJ/kg, tiempo de combustión de 20 minutos y tasa de consumo de 1.36 kg/h, lo cual confirma la sinergia entre biomasas leñosas ricas en lignina (26.71% en pino) y biomasa herbácea, lo que proporciona propiedades físico-químicas y energéticas adecuadas para aplicaciones térmicas domésticas en sistemas de combustión eficiente.

- La caracterización proximal, elemental, estructural y calorífica de las tres materias primas presenta diferencias composicionales significativas que determinan su aptitud para peletización. Las biomasas leñosas (pino y eucalipto) presentaron contenidos de humedad óptimos (8.74-10.44%), cenizas excepcionalmente bajas (0.31-0.48%), alto contenido de lignina (12.53-26.71%) como aglutinante natural, y poderes caloríficos superiores (17.38-17.81 MJ/kg), mientras que la caña de maíz exhibió mayor humedad (15.41%), elevado contenido de cenizas (5.50%) característico de biomasa herbácea, bajo contenido de lignina (4.37%) y menor poder calorífico (16.83 MJ/kg). El análisis elemental confirmó relaciones C/N extraordinariamente favorables (81.15-525.79) garantizando estabilidad durante almacenamiento y combustión limpia, mientras que el contenido de carbono elevado (48.60-50.65%) explica los altos valores energéticos obtenidos, demostrando que la caracterización integral constituye fundamento indispensable para optimizar formulaciones de biocombustibles sólidos.

- Los factores A y B, y su interacción ejercen efectos estadísticamente significativos ($p<0.0000$) sobre la composición lignocelulósica y poder calorífico de los pellets. El tratamiento T1 (nivel a1, b1) presentó el mayor contenido de lignina (18.90%), celulosa (50.50%) y poder calorífico (17.10 MJ/kg), superando significativamente al tratamiento T9 con menores

valores (11.44% lignina, 41.44% celulosa, 16.86 MJ/kg). El análisis de varianza demostró que el Factor A (composición de mezcla) explica más del 80% de la variabilidad en lignina (F=2555.39) y celulosa (F=701.53), mientras que el Factor B (tamaño de partícula) influye moderadamente, confirmando que la proporción 50% pino + 25% eucalipto + 25% caña de maíz con partícula >1mm optimiza el balance entre aglutinante natural, resistencia mecánica y densidad energética del biocombustible sólido producido.

- El análisis termogravimétrico (TGA) del tratamiento óptimo T1 caracterizó completamente su comportamiento de degradación térmica bajo atmósfera inerte, identificando tres etapas diferenciadas: evaporación de humedad hasta 150°C (<10% pérdida), descomposición activa de componentes lignocelulósicos entre 200-400°C (>60% pérdida) con pico máximo a 320°C correspondiente a degradación simultánea de hemicelulosa y celulosa, y degradación lenta de lignina entre 400-550°C. La pérdida de masa total del 80.94% (rampa 10°C/min) y contenido de cenizas de 19.06% confirman estabilidad térmica adecuada, mientras que el contenido de materia volátil de 83.76% (900°C) explica la facilidad de ignición observada. La comparación entre rampas de calentamiento (10°C vs 200°C/min) reveló que velocidades elevadas generan diferencias temperatura programada-real afectando la liberación completa de volátiles, demostrando que el biocombustible desarrollado presenta perfil termogravimétrico característico de biomasas lignocelulósicas con potencial energético aprovechable mediante combustión controlada.

- La implementación de la cocina tipo Rocket validó experimentalmente el desempeño del biocombustible sólido en condiciones reales de combustión doméstica, demostrando funcionalidad práctica con parámetros operacionales aceptables. El tiempo de ignición de 3 minutos utilizando soplete de propano como iniciador se encuentra dentro del rango esperado para pellets de biomasa lignocelulósica (2-5 minutos según literatura), mientras que la combustión sostenida de 20 minutos con 453.6 g de pellets

(tasa de consumo 22.68 g/min o 1.36 kg/h) permitió llevar 2 litros de agua desde temperatura ambiente hasta ebullición en los primeros 10 minutos, consumiendo aproximadamente el 50% del combustible. Estos resultados confirman que el biocombustible desarrollado presenta características de combustión estable, propagación uniforme de llama y mantenimiento de integridad estructural durante el proceso, validando su aplicabilidad en sistemas de cocción.

### 5.4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la adquisición de una tamizadora a diferentes tamaños de ojo de malla, que facilite la realización de futuros estudios.
- Se recomienda la adquisición de una peletizadora a nivel de laboratorio y piloto, que facilitaría la elaboración de pellets en futuros estudios.
- Se recomienda que, la carrera de Agroindustria realice la continuidad de estos tipos de estudios, orientados a la contribución de soluciones en comunidades rurales donde se utiliza todavía biocombustibles directamente.
- Se recomienda que en futuros estudios incluyan la medición de emisiones contaminantes (CO, material particulado y humo visible).
- Se recomienda la implementación de una cámara que permita, el ingreso de aire primario en la base de la cámara de combustión, lo cual facilitaría una oxigenación suficiente del pellet sin generar enfriamiento excesivo de la zona de combustión.

**Bibliografía**


Aghaei, S., Karimi Alavijeh, M., Shafiei, M., & Karimi, K. (2022). A comprehensive review on bioethanol production from corn stover: Worldwide potential, environmental importance, and perspectives. *Biomass and Bioenergy*, *161*, 106447. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106447

Aguilar, D. R. C. G., Guevara, D. G. J. L., & Taboada, M. R. E. H. (2021). Biocombustibles mediante residuos agroindustriales: Por un mejor cuidado del medio ambiente del planeta. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, *5*(6), 14443-14468. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1410

Aguirre Mendoza, Z., Díaz Ordoñez, E., Muñoz Chamba, J., & Muñoz Chamba, L. (2019). Sucesión natural bajo plantaciones de Pinus radiata D. Don (Pinaceae) y Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae), en el sur del Ecuador. *Revista del Museo de Historia Natural. Arnaldoa*, *26*(3), 943-964.

Álvarez, L. H. (2024). Biocombustibles gaseosos mediante digestión anaerobia, una alternativa para la demanda energética. *Revista CienciaUANL*, *27*(125), 8-15. https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.125-1

Arroyo, J. S., & Reina, W. S. (2019). Aprovechamiento del recurso biomasa a partir de los desechos de madera para una caldera de vapor. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (16), 20-29.

Astuti, W., Sulistyaningsih, T., Prastiyanto, D., Rusiyanto, Lanjar, Riayanti, F. I., Astuti, A. W., Wibowo, W. T., Handayani, A. D., & Wulandari, D. A. (2024). Influence of lignocellulosic composition in biomass waste on the microstructure and dye adsorption characteristics of microwave-assisted ZnCl2 activated carbon. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*(14), 16681-16697. https://doi.org/10.1007/s13399-023-04281-y

Barrera, G. M., López, M. M., & López, A. T. (2023). Bioetanol, biodiésel y biogás: Materias primas, procesos de producción y aplicaciones. *Cienciacierta*, *1974*(74), 116-146.

Baselly, J. R., Marcelo-Bazán, F. E., Goycochea-Casas, G., Lozano-Lozano, A. I., Castedo-Dorado, F., Álvarez-Álvarez, P., Baselly-Villanueva, J. R., Marcelo-Bazán, F. E., Goycochea-Casas, G., Lozano-Lozano, A. I., Castedo-Dorado, F., & Álvarez-Álvarez, P. (2024). Relationship of environmental factors with the productivity of Eucalyptus globulus in the northern Peruvian Andes. *Bosque (Valdivia)*, *45*(1), 103-118. https://doi.org/10.4067/s0717-92002024000100103

Borja Velázquez, M. (2018). *CARACTERIZACIÓN COMPLETA DE LOSRESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL DELLECHERO COMO MATERIA PRIMAPARA BIOCOMBUSTIBLE* (p. 115). Universidad Politecnica de Valencia. https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:YQmLlSvhp44J:scholar.google.com/+borja+velazquez-marti+thermogravimetric&hl=es&as_sdt=0,5

Brandić, I., Pezo, L., Voća, N., Matin, A., Brandić, I., Pezo, L., Voća, N., & Matin, A. (2024). Biomass Higher Heating Value Estimation: A Comparative Analysis of Machine Learning Models. *Energies*, *17*(9). https://doi.org/10.3390/en17092137

Briones-Hidrovo, A., Copa, J., Tarelho, L. A. C., Gonçalves, C., Pacheco da Costa, T., & Dias, A. C. (2021). Environmental and energy performance of residual forest biomass for electricity generation: Gasification vs. combustion. *Journal of Cleaner Production*, *289*, 125680. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125680

Carrillo, A., Contreras-Trejo, J. C., Pompa-García, M., Pulgarín-Gámiz, M. Á., Rutiaga-Quiñones, J. G., Pámanes-Carrasco, G., & Ngangyo-Heya, M. (2020). Agro-Pellets from Oil Palm Residues/Pine Sawdust Mixtures:

Relationships of Their Physical, Mechanical and Energetic Properties, with the Raw Material Chemical Structure. *Applied Sciences*, *10*(18). https://doi.org/10.3390/app10186383

Carrillo, A., Rutiaga-Quiñones, J. G., Ríos-Saucedo, J. C., Ruiz-García, V. M., Ngangyo-Heya, M., Nava-Berumen, C. A., & Núñez-Retana, V. D. (2022). Quality of Pellet Made from Agricultural and Forestry Waste in Mexico. *BioEnergy Research, 15*(2), 977-986. https://doi.org/10.1007/s12155-021-10327-8

Castañeda, E. P. S., Tomarema, J. I. P., Calva, M. Á. G., & Reinoso, F. M. R. (2024). Factor de forma de la especie Pinus radiata D. Don en una plantación forestal comercial ubicada en la parroquia Sicalpa, cantón Colta, provincia de Chimborazo. *Polo del Conocimiento, 9*(4), 2939-2956. https://doi.org/10.23857/pc.v9i4.7134

Celignis. (2024). *Analysis of Volatile Matter, Volatile Matter Content of Biomass.* Celignis Biomass Analysis Laboratory. https://www.celignis.com/analyte.php?value=24

Chen, Zhuoying, Ma, Z., Chen, Zhongjia, Li, Z., & Yuan, X. (2025). Optimization of pine sawdust densified biofuel: Effects of process parameters on fuel quality and temperature distribution. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, *22*(6), 60-72. https://doi.org/10.36922/AJWEP025240195

Chintagunta, A. D., Zuccaro, G., Kumar, M., Kumar, S. P. J., Garlapati, V. K., Postemsky, P. D., Kumar, N. S. S., Chandel, A. K., & Simal-Gandara, J. (2021). Biodiesel Production From Lignocellulosic Biomass Using Oleaginous Microbes: Prospects for Integrated Biofuel Production. *Frontiers in Microbiology, 12*. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.658284

Civitarese, V., Acampora, A., Sperandio, G., Bassotti, B., Latterini, F., & Picchio, R. (2023). A Comparison of the Qualitative Characteristics of Pellets Made from Different Types of Raw Materials. *Forests*, *14*(10). https://doi.org/10.3390/f14102025

Cruz, N., Bustos, C., Aguayo, M. G., Cloutier, A., & Castillo, R. (2020). Impact of the Chemical Composition of Pinus radiata Wood on its Physical and Mechanical Properties Following Thermo-Hygromechanical Densification. *BioResources*, *13*. https://doi.org/10.15376/biores.13.2.2268-2282

de Souza, H. J. P. L., Arantes, M. D. C., Vidaurre, G. B., Andrade, C. R., Carneiro, A. de C. O., de Souza, D. P. L., & Protásio, T. de P. (2020). Pelletization of eucalyptus wood and coffee growing wastes: Strategies for biomass valorization and sustainable bioenergy production. *Renewable Energy*, *149*, 128-140. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.12.015

Díez Martínez, A. (2017, febrero). *Estudio comparativo de la eficiencia térmica y de las emisiones de cocinas de biomasa en Senegal* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I. Industriales (UPM). (east=-14.452361999999994; north=14.497401; name=Senegal). https://oa.upm.es/49757/

Fernández, M., Tapias, R., Camacho, V., & Alaejos, J. (2023). Quality of the Pellets Obtained with Wood and Cutting Residues of Stone Pine (Pinus pinea L.). *Forests*, *14*(5). https://doi.org/10.3390/f14051011

Gaibor-Chávez, J., Pérez-Pacheco, S., Velázquez-Martí, B., Niño-Ruiz, Z., & Domínguez-Narváez, V. (2016). Dendrometric characterization of corn cane residues and drying models in natural conditions in Bolivar Province (Ecuador). *Renewable Energy*, *86*, 745-750. https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.009

Garcia, A., Salvachúa, D., Martínez, M. J., Diaz, L. F., & Zamorano, M. (2019). Analysis of the relation between the cellulose, hemicellulose and lignin content and the thermal behavior of residual biomass from olive trees. *Waste Management*, *33*(11), 2245-2249. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.07.010

García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, *103*(1), 249-258. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004

González, O., & Torres, L. O. (2025). Use of Invasive Acacia Biomass to Produce Biochar and Solid Biofuels. *Applied Sciences*, *15*(10). https://doi.org/10.3390/app15105755

Guallpa, M., Rosero, S., Samaniego, M., & Cevallos, E. (2025). (PDF) Caracterización edáfica y dasométrica de una plantación de Eucalyptus globulus Labill y propuesta de manejo en la zona estepa espinosa Montano Bajo, Riobamba, Ecuador. *ResearchGate*. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.103

Guthrie, J. D., Rowell, C. E. R., Anyaeche, R. O., Alzarieni, K. Z., & Kenttämaa, H. I. (2024). Characterization of the degradation products of lignocellulosic biomass by using tandem mass spectrometry experiments, model compounds, and quantum chemical calculations. *Mass Spectrometry Reviews*, *43*(2), 369-408. https://doi.org/10.1002/mas.21832

Gutiérrez, H. P., & Salazar, R. de la V. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (Tercera). McGRAW-HILL.

Harun, N., & Afzal, M. (2016). Effect of Particle Size on Mechanical Properties of Pellets Made from Biomass Blends. *Procedia Engineering*, *148*, 93-99. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445

INEC. (2022). *Población y Demografía*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Javier-Astete, R., Jimenez-Davalos, J., & Zolla, G. (2021). Determination of hemicellulose, cellulose, holocellulose and lignin content using FTIR in Calycophyllum spruceanum (Benth.) K. Schum. And Guazuma crinita Lam. *PLOS ONE*, *16*(10), e0256559. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0256559

Kamperidou, V. (2022). Quality Analysis of Commercially Available Wood Pellets and Correlations between Pellets Characteristics. *Energies*, *15*(8). https://doi.org/10.3390/en15082865

Lavergne, S., Larsson, Sylvia. H., Da Silva Perez, D., Marchand, M., Campargue, M., & Dupont, C. (2021). Effect of process parameters and biomass composition on flat-die pellet production from underexploited forest and agricultural biomass. *Fuel*, *302*, 121076. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121076

Li, T., Chen, C., Brozena, A. H., Zhu, J. Y., Xu, L., Driemeier, C., Dai, J., Rojas, O. J., Isogai, A., Wågberg, L., & Hu, L. (2021). Developing fibrillated cellulose as a sustainable technological material. *Nature*, *590*(7844), 47-56. https://doi.org/10.1038/s41586-020-03167-7

Limusina, L. K., Madara, D. S., & Ochola, J. (2024). Characterization of Corn Stover and Eucalyptus Sawdust for Pellet Production. *European Journal of Energy Research*, *4*(2), 1-5. https://doi.org/10.24018/ejenergy.2024.4.2.135

MAE, M. del A. del. (2025). *Estrategia Nacional de Cambio Climático del Ecuador: ENCC 2012 - 2025*. Quito : Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE). http://hdl.handle.net/10469/24195

MEER. (2015). *Atlas Bioenergetico Del Ecuador | PDF | Biomasa | Biocombustible. Ministerio de electricidad y energia renovable* [Ministerio de electricidad y energia renovable]. Scribd. https://es.scribd.com/document/384245282/Atlas-Bioenergetico-Del-Ecuador

Mignogna, D., Szabó, M., Ceci, P., & Avino, P. (2024). Biomass Energy and Biofuels: Perspective, Potentials, and Challenges in the Energy Transition. *Sustainability*, *16*(16). https://doi.org/10.3390/su16167036

Montúfar, G. H. V., Acosta, L. A. C., Zamora, D. V. V., & Mora, F. D. S. (2021). Producción de biomasa en cultivos de maíz: Zona central de la costa de Ecuador. *Revista de Ciencias Sociales (Ve)*, *27*(Esp.3), 417-431.

Mujtaba, M., Fernandes Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espírito Santo Pereira, A., Mancini, S. D., Lipponen, J., & Vilaplana, F. (2023). De la biomasa lignocelulósica a partir de residuos agrícolas a la economía circular: *Una revisión centrada en biocombustibles, biocompuestos y bioplásticos*. *Journal of Cleaner Production*, *402*, 136815. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815

Oberlander, G. & Brunner, T. (2018). Effect of fuel quality classes on the emissions of a residential wood pellet stove. *Fuel*, *211*, 269-277. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.09.017

Posso, F., Siguencia, J., & Narváez, R. (2020). Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador. *International Journal of Hydrogen Energy, XVIII Mexican H2 Congress*, *45*(26), 13717-13725. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.235

Qureshi, S. S., Nizamuddin, S., Xu, J., Vancov, T., & Chen, C. (2024). Cellulose nanocrystals from agriculture and forestry biomass: Synthesis methods, characterization and industrial applications. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*(49), 58745-58778. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35127-3

Ricciulli, M. O., Arce, G. L. A. F., Vieira, E. C., & Ávila, I. (2024). Interaction among lignocellulosic biomass components in thermochemical processes. *Biomass and Bioenergy*, *182*, 107073. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107073

Sánchez, F., & Rodríguez, R. (2018). (PDF) CAPÍTULO.- SELVICULTURA DE PINUS RADIATA. En *Selvicultura de Pinus radiata en condiciones andinas* (Vol. 12, pp. 145-162).

https://www.researchgate.net/publication/268871938_CAPITULO-_SELVICULTURA_DE_PINUS_RADIATA

Scott, C., Desamsetty, T. M., & Rahmanian, N. (2025). Unlocking Power: Impact of Physical and Mechanical Properties of Biomass Wood Pellets on Energy Release and Carbon Emissions in Power Sector. *Waste and Biomass Valorization*, *16*(1), 441-458. https://doi.org/10.1007/s12649-024-02669-z

Shen, X., Wang, P., Zhang, X., Cao, X., Shi, Y., Li, X., Yao, X., & Yao, Z. (2020). Real-time measurements of black carbon and other pollutant emissions from residential biofuel stoves in rural China. *Science of The Total Environment*, *727*, 138649. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138649

skyquest. (2024). *Wood Pellets Market Size, Share, and Growth Analysis*. Skyquest. https://www.skyquestt.com/report/wood-pellets-market

Smith, W. A., Wendt, L. M., Bonner, I. J., & Murphy, J. A. (2020). Effects of Storage Moisture Content on Corn Stover Biomass Stability, Composition, and Conversion Efficacy. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, *8*. https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00716

Sobol, Ł., Sabat, D., Dyjakon, A., Sobol, Ł., Sabat, D., & Dyjakon, A. (2023). Assessment of Bark Properties from Various Tree Species in Terms of Its Hydrophobicity and Energy Suitability. *Energies*, *16*(18). https://doi.org/10.3390/en16186586

Telmo, C., & Lousada, J. (2011). Heating values of wood pellets from different species. *Biomass and Bioenergy*, *35*(7), 2634-2639. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.043

Tsaousis, P. C., Sarafidou, M., Soto Beobide, A., Mathioudakis, G. N., Filippi, K., Bartzialis, D., Andrikopoulos, K. S., Giannoulis, K. D., Danalatos, N. G., Koutinas, A. A., & Voyiatzis, G. A. (2025). Quantification of plant biomass composition via a single FTIR absorption spectrum supported by reference component extraction/isolation protocols. *Biomass Conversion and*

*Biorefinery*, *15*(18), 25273-25288. https://doi.org/10.1007/s13399-025-06858-1

Tumuluru, J. S., Rajan, K., Hamilton, C., Pope, C., Rials, T. G., McCord, J., Labbé, N., & André, N. O. (2022). Pilot-Scale Pelleting Tests on High-Moisture Pine, Switchgrass, and Their Blends: Impact on Pellet Physical Properties, Chemical Composition, and Heating Values. *Frontiers in Energy Research*, *9*. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.788284

Velázquez, B., Gaibor, J., Rodríguez, J., & López, I. (2023). Biomass Identification from Proximate Analysis: Characterization of Residual Vegetable Materials in Andean Areas. *Agronomy*, *13*(9). https://doi.org/10.3390/agronomy13092347

Velázquez Martí, B. (2018). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. Editorial Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/handle/10251/113122

Velázquez Martí, B., Gaibor-Chavez, J., López Cortés, I., & Olivares Aguilar, L. E. (2023). Evaluation of the Intermediate Values of the TGA Curves as Indicators of the Proximal Analysis of Biomass. *Agronomy*, *13*(10), 2552. https://doi.org/10.3390/agronomy13102552

Velvizhi, G., Balakumar, K., Shetti, N. P., Ahmad, E., Kishore Pant, K., & Aminabhavi, T. M. (2022). Integrated biorefinery processes for conversion of lignocellulosic biomass to value added materials: Paving a path towards circular economy. *Bioresource Technology*, *343*, 126151. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126151

Vinueza, M. (2024). *Ficha Técnica No. 13 Pino (Pinus radiata)*. Ecuador Forestal. https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-13-pino-pinus-radiata/

Wei, Z., Cheng, Z., & Shen, Y. (2024). Recent development in production of pellet fuels from biomass and polyethylene (PE) wastes. *Fuel*, *358*, 130222. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.130222

Zhang, C., Chen, W-H., Ho, S-H., Park, Y-K, Wang, C., & Zhang, Y. (2023). Pelletization property analysis of raw and torrefied corn stalks for industrial application to achieve agricultural waste conversion. *Energy*, *285*, 129463. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129463

Zhang, S., Mei, Y., & Lin, G. (2024). Pyrolysis interaction of cellulose, hemicellulose and lignin studied by TG-DSC-MS. *Journal of the Energy Institute*, *112*, 101479. https://doi.org/10.1016/j.joei.2023.101479

**ANEXOS**

Anexo 1 Mapa de la ubicación de la investigación



Anexo 2 Ubicación del laboratorio de investigación de la UEB



Anexo 3 Resultados del análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de materias primas

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador. | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 418-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de pino mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1068 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa - Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base recibida |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1068 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,44 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 87,27 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 12,42 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,13 | 0,12 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,65 | 45,35 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,47 | 5,17 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 372,95 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,77 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,81 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,88 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 88,93 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 76,78 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 49,76 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,15 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 27,64 |
| INV – 1068 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,47 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 86,97 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 12,72 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,12 | 0,11 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,79 | 45,48 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,40 | 5,11 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 414,11 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,90 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,97 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 15,04 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 88,94 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 76,75 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 50,16 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,19 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 27,40 |




Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**




Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**




Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 419-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de pino de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1069 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1069 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,44 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 87,27 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 12,42 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,13 | 0,12 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,65 | 45,35 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,47 | 5,17 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 372,95 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,77 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,81 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,88 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 86,66 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 75,77 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 49,25 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,69 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 26,73 |
| INV – 1069 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,47 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 86,97 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 12,72 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,12 | 0,11 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,79 | 45,48 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,40 | 5,11 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 414,11 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,90 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,97 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 15,04 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 89,01 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 76,11 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 49,61 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,90 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 26,99 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 420-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de pino menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1070 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1070 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,44 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 87,27 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 12,42 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,13 | 0,12 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,65 | 45,35 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,47 | 5,17 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 372,95 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,77 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,81 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,88 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 86,31 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 73,72 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 47,95 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,89 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 25,76 |
| INV – 1070 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,47 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 86,97 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 12,72 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,12 | 0,11 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,79 | 45,48 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,40 | 5,11 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 414,11 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,90 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,97 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 15,04 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 85,91 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 72,72 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 48,13 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,59 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 25,84 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 421-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de eucalipto mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1071 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1071 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,74 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,48 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,40 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 14,12 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,10 | 0,09 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,53 | 45,17 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,42 | 5,01 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 525,79 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,01 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,38 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,81 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 84,19 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 70,50 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 59,64 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,68 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,55 |
| INV – 1071 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,67 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,40 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,62 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 13,98 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,09 | 0,08 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,45 | 45,09 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,28 | 4,89 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 552,26 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,22 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,36 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,82 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 85,60 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 70,85 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 59,06 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,76 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,32 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 422-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de eucalipto de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1072 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1072 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,74 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,48 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,40 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 14,12 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,10 | 0,09 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,53 | 45,17 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,42 | 5,01 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 525,79 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,01 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,38 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,81 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 85,04 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 70,58 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 57,93 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,46 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,68 |
| INV – 1072 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,67 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,40 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,62 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 13,98 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,09 | 0,08 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,45 | 45,09 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,28 | 4,89 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 552,26 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,22 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,36 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,82 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 85,43 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 70,73 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 57,81 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,70 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,77 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 423-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de eucalipto menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1073 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1073 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,74 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,48 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,40 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 14,12 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,10 | 0,09 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,53 | 45,17 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,42 | 5,01 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 525,79 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,01 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,38 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,81 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 82,66 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 69,61 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 57,38 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,46 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,23 |
| INV – 1073 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 8,67 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 0,40 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,62 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 13,98 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,09 | 0,08 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,45 | 45,09 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,28 | 4,89 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 552,26 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,22 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,36 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,82 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 83,97 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 68,92 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 57,17 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,21 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 12,23 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 424-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1074 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD– Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1074 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 15,41 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,50 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,21 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 18,29 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,59 | 0,50 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,60 | 40,86 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,73 | 4,92 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 81,15 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,30 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,83 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,14 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 56,80 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 38,29 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 33,64 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,20 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,86 |
| INV – 1074 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 16,43 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,55 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,31 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 18,13 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,63 | 0,53 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,07 | 41,26 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,59 | 4,80 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 78,53 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,60 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,72 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,03 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 56,83 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 38,52 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 33,66 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,03 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,88 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 425-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de caña de maíz suave de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1075 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD– Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1075 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 15,41 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,50 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,21 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 18,29 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,59 | 0,50 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,60 | 40,86 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,73 | 4,92 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 81,15 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,30 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,83 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,14 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 54,70 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 36,27 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 31,89 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,36 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,15 |
| INV – 1075 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 16,43 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,55 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,31 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 18,13 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,63 | 0,53 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,07 | 41,26 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,59 | 4,80 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 78,53 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,60 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,72 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,03 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 54,38 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 36,02 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 31,91 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,35 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,13 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 426-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | Residuos biomásicos de caña de maíz suave menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1076 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1076 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 15,41 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,50 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,21 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 18,29 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,59 | 0,50 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,60 | 40,86 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,73 | 4,92 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 81,15 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,30 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,83 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,14 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 53,09 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 35,02 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 31,66 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,27 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,09 |
| INV – 1076 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 16,43 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 5,55 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 76,31 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 18,13 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,63 | 0,53 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,07 | 41,26 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,59 | 4,80 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 78,53 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,60 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,72 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,03 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 54,01 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 35,69 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 31,55 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 18,32 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 4,03 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

Anexo 4 Resultados del análisis proximal, elemental, estructural y calorífico de los tratamientos

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 427-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T1, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1077 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1077 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,43 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,31 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 84,54 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 14,15 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,23 | 0,21 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,72 | 44,53 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,25 | 4,97 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 209,20 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,95 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,11 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,30 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 83,32 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 69,90 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 50,55 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,69 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 18,93 |
| INV – 1077 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,44 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,10 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 83,90 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 15,01 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,15 | 0,13 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,92 | 44,71 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,31 | 5,03 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 349,47 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,,89 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,08 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,27 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 81,91 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 69,30 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 50,44 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 12,61 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 18,86 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 428-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T2, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1078 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1078 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,03 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,01 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,74 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,25 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,22 | 0,20 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,78 | 45,26 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,25 | 5,01 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 224,02 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,04 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,39 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,47 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 80,77 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 66,87 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 49,07 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,26 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 17,74 |
| INV – 1078 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 10,71 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,05 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 83,15 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 15,80 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,19 | 0,17 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,91 | 44,48 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,26 | 5,01 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 256,20 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,,87 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,19 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,29 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 80,49 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 66,33 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 49,13 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,17 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 17,70 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 429-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T3, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1079 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1079 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,04 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,32 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,62 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,06 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,19 | 0,17 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,44 | 43,96 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,09 | 4,88 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 264,35 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,01 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,16 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,26 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 79,61 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 65,01 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 47,50 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,56 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 17,19 |
| INV – 1079 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,13 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,48 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,33 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 16,19 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,19 | 0,15 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,44 | 44,84 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,09 | 4,94 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 291,77 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,09 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,31 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,37 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 79,67 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 65,30 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 47,39 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,60 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 17,50 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 430-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T4, mezcla 33% pino, 33% eucalipto y 34% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1080 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1080 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,26 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,60 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 85,03 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,06 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,24 | 0,21 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 47,24 | 41,79 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,92 | 4,76 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 202,95 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,78 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,22 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,25 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 80,50 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 67,08 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 51,54 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 13,42 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 15,54 |
| INV – 1080 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,83 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,17 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 84,90 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 12,94 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,26 | 0,23 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,38 | 44,56 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,22 | 5,02 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 194,88 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,87 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,72 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,64 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 77,45 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 63,66 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 50,67 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 13,28 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 15,35 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 431-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T5, mezcla 33% pino, 33% eucalipto y 34% caña de maíz suave de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1081 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1081 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,37 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,54 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,63 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 15,83 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,17 | 0,15 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,25 | 44,54 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,24 | 5,03 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 290,84 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,85 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,39 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,38 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 76,18 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 61,10 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 46,81 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,10 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 14,15 |
| INV – 1081 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,87 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 1,76 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 83,05 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 15,19 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,12 | 0,11 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 50,37 | 44,64 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,17 | 4,97 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 390,65 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,99 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,94 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,99 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 74,86 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 60,61 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 46,95 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 14,25 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 14,09 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 432-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T6, mezcla 33% pino, 33% eucalipto y 34% caña de maíz suave menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1082 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1082 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,91 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,16 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,45 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 15,40 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,28 | 0,25 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,47 | 43,56 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,14 | 4,98 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 177,15 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,74 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,10 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,03 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 74,19 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 58,51 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 45,34 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,39 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 14,34 |
| INV – 1082 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 12,00 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,07 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,87 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 15,06 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,18 | 0,16 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,02 | 42,28 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,71 | 4,61 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 258,88 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,18 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 17,15 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 14,15 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 75,69 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 60,39 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 45,96 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,30 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 14,31 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 433-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T7, mezcla 25% pino, 25% eucalipto y 50% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1083 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1083 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 12,07 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,33 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,28 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 15,38 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,30 | 0,26 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,18 | 42,35 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,84 | 4,73 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 161,13 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,95 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,70 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,71 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 71,48 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 55,97 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 44,51 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,51 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,45 |
| INV – 1083 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 12,14 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,26 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 82,04 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 15,70 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,32 | 0,28 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 51,04 | 44,86 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,19 | 5,04 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 161,99 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,90 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,89 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,81 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 71,83 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 56,31 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 44,41 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,52 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,89 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 2 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 434-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T8, mezcla 25% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave de 0,5 a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1084 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1084 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,67 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,84 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 81,16 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,00 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,27 | 0,24 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 49,53 | 43,74 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,02 | 4,86 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 181,53 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 9,01 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,62 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,68 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 72,69 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 57,36 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 45,05 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,32 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,72 |
| INV – 1084 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,69 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,76 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 81,24 | — |
| | Carbono fijo | | CALCULADO | 16,00 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,31 | 0,27 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 48,69 | 43,00 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 3,94 | 4,78 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 161,32 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,99 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,73 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,79 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 72,36 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 57,02 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 45,03 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 15,35 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,99 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

**INFORME DE ENSAYOS Nº 435-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T9, mezcla 25% pino, 25% eucalipto y 50% caña de maíz suave menor a 0,5 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1085 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Humedad - Cenizas –Volátiles – Carbono fijo – Nitrógeno – Carbono – Hidrogeno – C/N - C/H – Poder calorífico superior – Poder calorífico inferior – FDN – FAD – Celulosa – Hemicelulosa – Lignina |
| **Fecha de recepción** | 29 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 30 de septiembre al 10 de noviembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 26 de noviembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR - MIPV |

**RESULTADOS OBTENIDOS**

| Matriz de ensayo | Parámetro | Unidad | Método | Resultado Base Seca | Resultado Base Fresca |
|---|---|---|---|---|---|
| INV – 1085 R1 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,72 |
| | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 2,92 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 80,55 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,53 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,34 | 0,30 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 51,34 | 45,30 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,29 | 5,10 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 152,36 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,88 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,76 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,74 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 69,34 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 52,84 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 41,53 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 16,71 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,50 |
| INV – 1085 | Humedad | % | UNE-EN-ISO 18134-3 | — | 11,80 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| R2 | Cenizas | % | UNE-EN-ISO 18122 | 3,01 | — |
| | Volátiles | % | UNE-EN-ISO 18123 | 80,56 | — |
| | Carbono fijo | % | CALCULADO | 16,44 | — |
| | Nitrógeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 0,23 | 0,20 |
| | Carbono | % | UNE-EN-ISO 16948 | 52,29 | 46,14 |
| | Hidrogeno | % | UNE-EN-ISO 16948 | 4,42 | 5,21 |
| | C/N | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 235,04 |
| | C/H | % | UNE-EN-ISO 16948 | — | 8,85 |
| | Poder calorífico superior (PCS) | MJ/Kg | UNE-EN-ISO 18125 | — | 16,96 |
| | Poder calorífico inferior (PCI) | MJ/Kg | CALCULADO | — | 13,89 |
| | Fibra Detergente Neutra (NDF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 69,73 |
| | Fibra Detergente Acida (ADF) | % | ANKOM - Van Soest | — | 54,00 |
| | Celulosa | % | Calculado | — | 41,35 |
| | Hemicelulosa | % | Calculado | — | 16,50 |
| | Lignina Detergente Acida (ADL) | % | ANKOM - Van Soest | — | 11,38 |

MANUELA ISABEL PAREDES VILLENA

Blga. Isabel Paredes Villena
**Técnica Docente DIVIUEB**
**ELABORADO**

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

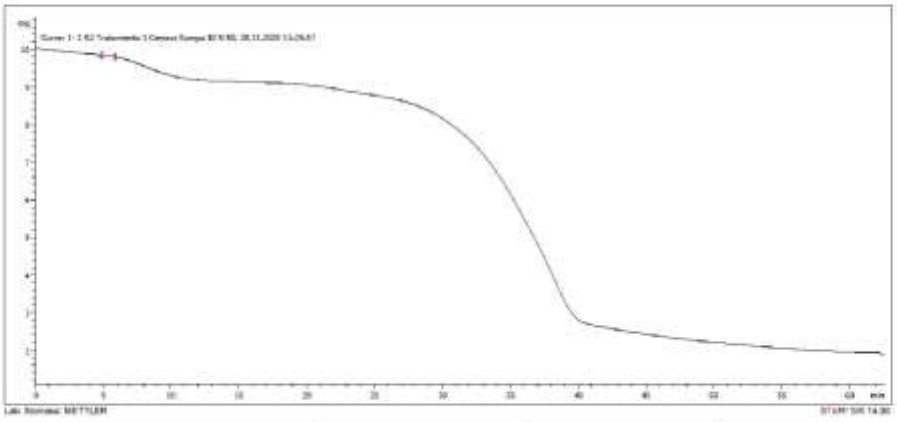
Anexo 5 Resultados del análisis termogravimétrico (TGA)

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR \| DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 1 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 721-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T1, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1077 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Análisis termogravimétrico (TGA) |
| **Fecha de recepción** | 28 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 28 de noviembre al 08 de diciembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 09 de diciembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR |

**RESULTADOS OBTENIDOS**



| Método | Peso inicial (mg) | Peso final (mg) | Cenizas (%) |
|---|---|---|---|
| Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10°C /min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min | 10,0250 | 1,9110 | 19,0623 |

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

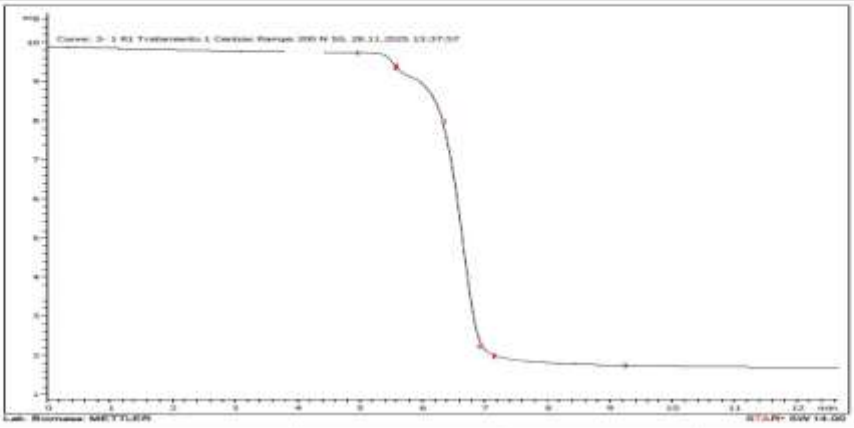
Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 1 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 722-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T1, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1077 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Análisis termogravimétrico (TGA) |
| **Fecha de recepción** | 28 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 28 de noviembre al 08 de diciembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 09 de diciembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR |

**RESULTADOS OBTENIDOS**



| Método | Peso inicial (mg) | Peso final (mg) | Cenizas (%) |
|---|---|---|---|
| Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200 °C /min hasta 550°C manteniendo una isoterma durante 5 min | 9,8860 | 1,6750 | 16,9432 |

ERIKA CAROLINA CORTES ROJAS

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

ISIDRO FAVIAN BAYAS MOREJON

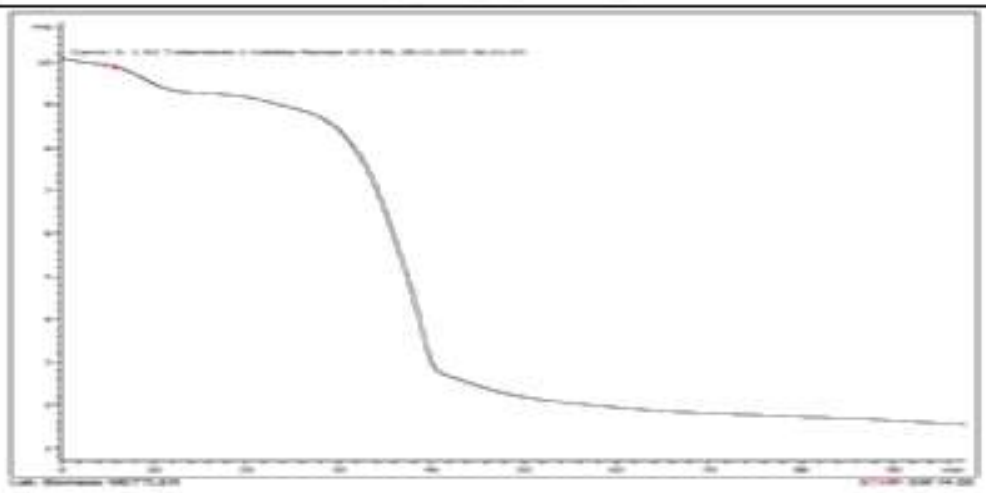
Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

| UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR \| DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN | LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN<br>Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador | Código | FPG12-01 |
|---|---|---|---|
| | | Versión | 1 |
| | INFORME DE RESULTADOS | Año | 2025 |
| | | Pagina | Página 1 de 1 |

**INFORME DE ENSAYOS Nº 723-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T1, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1077 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Análisis termogravimétrico (TGA) |
| **Fecha de recepción** | 28 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 28 de noviembre al 08 de diciembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 09 de diciembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR |

**RESULTADOS OBTENIDOS**



| Método | Peso inicial (mg) | Peso final (mg) | Volátiles (%) |
|---|---|---|---|
| Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 10 °C /min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min | 10,0660 | 1,5370 | 84,7308 |

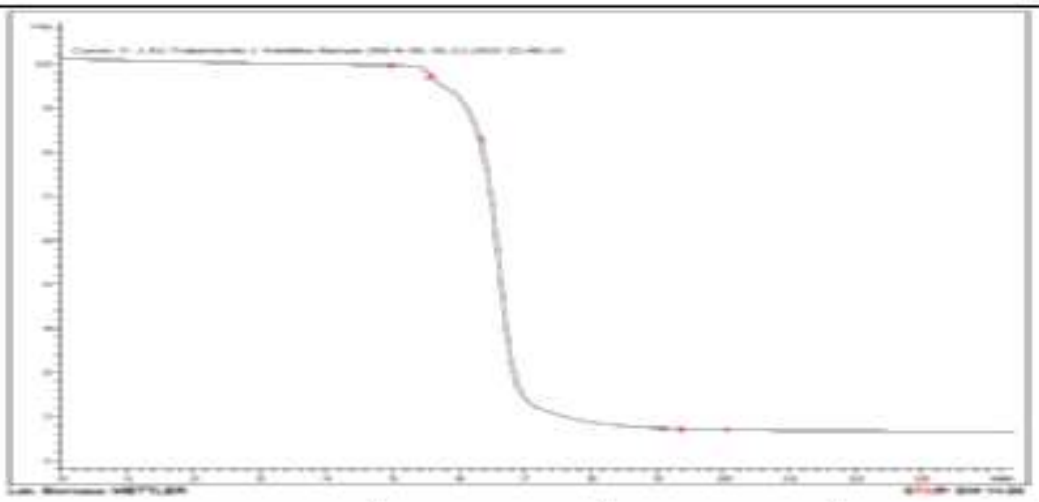
Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

**INFORME DE ENSAYOS N° 724-2025**

| Descripción de la muestra | |
|---|---|
| **Solicitantes** | Derian Andres Pelagallo Chora – Neyser Abel Rochina Rochina |
| **Muestra** | T1, mezcla 50% pino, 25% eucalipto y 25% caña de maíz suave mayor a 1 mm de diámetro |
| **Código asignado UEB** | INV 1077 |
| **Estado de la muestra** | Sólido |
| **Envase de recepción** | Bolsa de papel con aprox. 70 g de contenido de muestra |
| **Análisis requerido(s)** | Análisis termogravimétrico (TGA) |
| **Fecha de recepción** | 28 de septiembre de 2025 |
| **Fecha de análisis** | 28 de noviembre al 08 de diciembre de 2025 |
| **Fecha de informe** | 09 de diciembre de 2025 |
| **Técnico asignado** | ECCR |

**RESULTADOS OBTENIDOS**



| Método | Peso inicial (mg) | Peso final (mg) | Volátiles (%) |
|---|---|---|---|
| Isoterma a 25°C durante 5 min en una atmósfera de nitrógeno a 50 ml/min, aumento posterior de la temperatura de 200 °C /min hasta 900°C manteniendo una isoterma durante 5 min | 10,1000 | 1,6400 | 83,7624 |

Ing. Erika Cortés Rojas MSc.
**Técnica de Laboratorio DIVIUEB**
**ELABORADO**

Ing. Favian Bayas Morejón PhD.
**Director DIVIUEB**
**REVISADO**

Anexo 6 Fotografías




Foto 1. Pesaje de materias primas



Foto 2. Molienda



Foto 3. Tamizado



Foto 4. Análisis proximal



Foto 5. Análisis elemental



Foto 6. Análisis estructural



Foto 7. Análisis calorífico



Foto 8. Análisis termogravimétrico



Foto 9. Pellets




Foto 10. Diámetro de pellet



Foto 11. Construcción cocina Rocket



Foto 12. Implementación de la cocina

Anexo 7 Glosario de términos

**Biomasa.** Material orgánico de origen biológico, utilizado como recurso energético mediante procesos de conversión termoquímica o bioquímica.

**Pellet.** Biocombustible sólido cilíndrico, densificado por extrusión, elaborado a partir de partículas lignocelulósicas secas y compactadas sin aglutinantes sintéticos.

**Contenido de humedad.** Proporción de agua presente en la biomasa (%), que influye en la eficiencia térmica, combustión y densificación del material.

**Lignocelulosa.** Complejo estructural vegetal compuesto por celulosa, hemicelulosa y lignina, que confiere rigidez y capacidad energética a la biomasa.

**Residuo agroforestal**. Subproducto leñoso o herbáceo de actividades agrícolas o forestales, valorizable como recurso energético renovable.

**Termo gravimetría (TGA)**. Técnica analítica que evalúa la pérdida de masa de un material en función de la temperatura y el tiempo.

**Celulosa.** Polisacárido estructural compuesto por cadenas lineales de glucosa, principal componente de la pared celular vegetal y responsable de la resistencia mecánica.

**Hemicelulosa.** Heteropolisacárido ramificado que interconecta fibras de celulosa, térmicamente menos estable que la celulosa y lignina.

**Lignina.** Polímero aromático tridimensional que proporciona rigidez estructural y resistencia a la degradación microbiana en tejidos vegetales leñosos.

**Aglutinante.** Sustancia que facilita cohesión entre partículas durante densificación; la lignina actúa como aglutinante natural.

**Durabilidad mecánica.** Resistencia de los pellets a la abrasión y fragmentación durante manipulación y transporte, expresada en porcentaje.

**Biocombustible.** Combustible producido a partir de biomasa mediante procesos físicos, químicos o biológicos, utilizable para generación de energía.

**Eficiencia térmica.** Relación porcentual entre energía útil transferida y energía total contenida en el combustible durante combustión.

**Tiempo de ignición.** Intervalo temporal requerido desde la aplicación de calor hasta que el combustible alcanza temperatura de auto-ignición y comienza combustión sostenida, medido en segundos o minutos.