

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**RENDIMIENTO Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE BRIQUETAS Y CARBÓN
VEGETAL OBTENIDO A PARTIR DE LA MAZORCA DE *Theobroma cacao L.*
(CACAO)**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Presentado por:

ATAUCUSI FLORES PIERINA LISBETH

Tingo María – Perú

2023



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 006-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de diciembre de 2023, a horas 2:30 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“RENDIMIENTO Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE BRIQUETAS Y
CARBÓN VEGETAL OBTENIDO A PARTIR DE LA MAZORCA DE
Theobroma cacao L. (CACAO)”**

Presentado por la Bachiller: **ATAUCUSI FLORES, PIERINA LISBETH** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“EXCELENTE”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 18 de enero de 2024


Dr. LUIS EDUARDO ORE CIERTO
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
MIEMBRO


Ing. M. Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO




Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
ASESOR



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 049 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

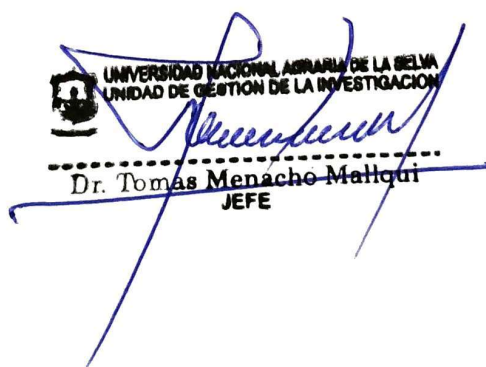
Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

| | | | |
|-------|---|------------------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de Suficiencia Profesional | |
|-------|---|------------------------------------|--|

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE DE SIMILITUD |
|---|------------------------------------|-------------------------|
| RENDIMIENTO Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE BRIQUETAS Y CARBÓN VEGETAL OBTENIDO A PARTIR DE LA MAZORCA DE <i>Theobroma cacao</i> L. (CACAO) | ATAUCUSI FLORES PIERINA LISBETH | 11 % Once |

Tingo María, 14 de febrero de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



RENDIMIENTO Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE BRIQUETAS Y CARBÓN VEGETAL OBTENIDO A PARTIR DE LA MAZORCA DE *Theobroma cacao L.* (CACAO)

| | |
|----------------------------------|---|
| Autor | : Ataucusi Flores, Pierina Lisbeth |
| Asesor | : Dr. Beteta Alvarado, Víctor Manuel |
| Programa de Investigación | : Tecnologías Limpias |
| Línea de Investigación | : Ciencia y Tecnologías Ambientales |
| Eje temático | : Generación de Energía |
| Lugar de ejecución | : Laboratorio de Calidad del Aire UNAS |
| Duración | : Fecha Inicio : 15 de Marzo 2022 : Fecha Termino : 18 de Diciembre 2022 |
| Financiamiento | : Propio |

Tingo María – Perú, 2023

DEDICATORIA

La presente representa mi gratitud hacia aquellas personas que hicieron posible este logro:

A mi padre **Edgar Ataucusi**, mi madre **Mercedes Flores**, y mi hermano **Christian Ataucusi**, quienes a través del tiempo lograron darme la fortaleza y apoyo para formarme como persona y profesional. Los consejos, apoyo incondicional y amor, lograron darme las fuerzas y motivación necesaria para seguir adelante luchando por mis sueños a pesar de los obstáculos presentados, ellos son sin lugar a duda mi motor y motivo para dar por concluido una de las etapas más representativas en mi vida.

A mi prima **Cintya Flores** quien con sus consejos y motivación en un momento clave de mi vida me dieron las fuerzas para poder desarrollarme profesionalmente.

A mi tío **Roger Ataucusi** quien confió y apostó por mi persona y lo que podía conseguir, su apoyo económico y consejos me dieron las fuerzas para no rendirme y motivar a mis primos y sobrinos menores a lograr perseguir y cumplir sus sueños.

A mi asesor **Víctor Beteta** quien vio en mí el potencial profesional que tenía por desarrollar. Sus consejos y constantes seguimientos al desarrollo del presente proyecto de investigación hicieron posible la culminación del mismo.

A aquellas **amistades** las cuales fueron llegando a mi vida indistintamente del tiempo, y formaron parte importante de la ejecución del presente proyecto de investigación, agradecerles por su presencia y tiempo dedicado.

AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater Universidad Nacional Agraria de la Selva y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme los recursos y conocimiento mediante su plana docente y laboratorios; y poder así lograr ser una profesional de primer nivel, competente y poder competir a nivel nacional e internacional con profesionales de otras universidades de prestigio.
- A mi asesor Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, quien con sus conocimientos e instalaciones de los laboratorios a cargo pudo guiarme y apoyar en la ejecución de la presente investigación.
- A los Sres. Celedonio Yacha del laboratorio de Química, Concepción Ariza del laboratorio de Análisis de alimentos por brindarme acceso a las instalaciones del laboratorio y las facilidades para el desarrollo de análisis.
- Al Ing. José Trujillo del laboratorio central de investigación UNAS por el apoyo en la elaboración de análisis necesarios en la ejecución de la tesis.
- Al Ing. Mendis Paredes por permitirme recopilar las muestras de mazorcas de cacao del Fundo La Alborada.
- En general, agradecer a todas las personas que me apoyaron ya sea un corto o largo tiempo en el desarrollo de la presente tesis, sé que me dejaron buenos consejos, conocimientos y/o aprendizajes que me sirvieron para la culminación de la investigación, GRACIAS por su presencia en uno de los momentos más importantes de mi vida.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 2 |
| 1.1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.1.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Antecedentes | 3 |
| 2.1.1. Antecedentes Internacionales | 3 |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales..... | 5 |
| 2.1.3. Antecedentes locales | 6 |
| 2.2. Marco teórico | 7 |
| 2.2.1. <i>Theobroma cacao</i> L. (Cacao)..... | 7 |
| 2.2.2. Aglutinante | 10 |
| 2.2.3. Biomasa | 11 |
| 2.2.4. Potencial energético de los residuos agrícolas | 15 |
| 2.2.5. Briqueta | 18 |
| 2.2.6. Carbón vegetal..... | 20 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 25 |
| 3.1. Lugar de ejecución | 25 |
| 3.1.1. Ubicación política | 25 |
| 3.1.2. Geográfica | 25 |
| 3.1.3. Aspectos ambientales | 25 |
| 3.1.4. Zona de vida | 26 |
| 3.2. Material y métodos | 26 |
| 3.2.1. Materiales y equipos..... | 26 |
| 3.2.2. Metodología | 26 |
| 3.3. Tipo de investigación | 41 |
| 3.3.1. Variables en estudio | 42 |
| 3.3.2. Diseño de investigación | 43 |
| 3.3.3. Análisis estadístico | 43 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 44 |
| 4.1. Caracterización fisicoquímica de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 44 |
| 4.2. Producción de briquetas y carbón a partir de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 48 |
| 4.2.1. Producción de briquetas de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 48 |
| 4.2.2. Producción de carbón vegetal de mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 50 |
| 4.3. Determinación del rendimiento de producción de briquetas y | |
| carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 52 |
| 4.4. Evaluar el contenido energético de las briquetas y carbón obtenidos | |
| a partir de la mazorca de T. cacao (Cacao). | 59 |
| V. CONCLUSIONES | 68 |
| VI. RECOMENDACIONES..... | 69 |
| VII. REFERENCIAS..... | 70 |
| ANEXOS..... | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|--|---------------|
| 1. Tipos de biomasa..... | 12 |
| 2. Componentes estructurales | 12 |
| 3. Parámetros de caracterización de la biomasa para el aprovechamiento energético..... | 16 |
| 4. Análisis elemental..... | 17 |
| 5. Componentes del análisis inmediato..... | 18 |
| 6. Propiedades de carbón vegetal..... | 22 |
| 7. Productos del proceso de carbonización – pirólisis | 24 |
| 8. Muestras por tipo de acondicionamiento de la mazorca de Theobroma cacao..... | 27 |
| 9. Análisis inmediato o proximal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 27 |
| 10. Análisis elemental de la mazorca de Theobroma cacao..... | 29 |
| 11. Condiciones de producción de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao..... | 30 |
| 12. Medida de moldes cuadrilaterales..... | 34 |
| 13. Medida de moldes con circunferencia | 34 |
| 14. Condiciones de pirólisis para la producción de carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 37 |
| 15. Análisis inmediato o proximal de briquetas y carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 38 |
| 16. Descripción de los tratamientos de estudio..... | 43 |
| 17. Análisis inmediato / proximal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 44 |
| 18. Análisis final de la mazorca de Theobroma cacao..... | 45 |
| 19. Producción de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao..... | 48 |
| 20. Análisis proximal de briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 49 |
| 21. Producción de carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 50 |
| 22. Análisis proximal de carbón de la mazorca de Theobroma cacao..... | 50 |
| 23. Rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao | 52 |
| 24. Estadísticas descriptivas del rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao | 53 |
| 25. Prueba de hipótesis del rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao | 53 |
| 26. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao - Equipos..... | 53 |
| 27. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao – Mano de obra..... | 54 |
| 28. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao - Materiales | 54 |
| 29. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao - Transporte..... | 54 |
| 30. Análisis de venta en la producción de carbón vegetal de mazorca de Theobroma cacao..... | 55 |

| | | |
|-----|--|----|
| 31. | Rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao..... | 55 |
| 32. | Estadísticas descriptivas del rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 56 |
| 33. | Prueba de hipótesis del rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 56 |
| 34. | Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de Theobroma cacao - Equipos..... | 57 |
| 35. | Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de Theobroma cacao – Mano de obra..... | 57 |
| 36. | Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de Theobroma cacao - Materiales..... | 57 |
| 37. | Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de Theobroma cacao - Transporte..... | 58 |
| 38. | Análisis de venta en la producción de briquetas de mazorca de Theobroma cacao..... | 58 |
| 39. | Contenido energético de las mazorcas de cacao, briquetas y carbón vegetal | 59 |
| 40. | Estadísticas descriptivas del contenido energético de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 60 |
| 41. | Prueba de hipótesis del contenido energético de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 60 |
| 42. | Estadísticas descriptivas del contenido energético del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 61 |
| 43. | Prueba de hipótesis del contenido energético de las briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 61 |
| 44. | Termogravimetría TGA y DTG de la briketa de mazorca de Theobroma cacao | 62 |
| 45. | Calorimetría Diferencial de Barrido de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao.. | 63 |
| 46. | Termogravimetría TGA y DTG del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 65 |
| 47. | Calorimetría Diferencial de Barrido del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|---------------|
| 1. Tipología de la agricultura en Huánuco | 8 |
| 2. Composición de la cáscara de cacao | 9 |
| 3. Procesos de conversión de biomasa en energía..... | 13 |
| 4. Productos de la reacción de carbonización – Pirólisis | 21 |
| 5. Ubicación geográfica del Distrito de Rupa Rupa-Tingo María. | 25 |
| 6. Briquetas de la mazorca de Theobroma cacao obtenidas..... | 31 |
| 7. Diseño 3D de la maquina briquetadora..... | 32 |
| 8. Impresión 3D de maquina briquetadora..... | 32 |
| 9. Maquina briquetadora de prensado | 33 |
| 10. Horno pirolítico para la elaboración de Carbón vegetal | 36 |
| 11. Carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao obtenido..... | 38 |
| 12. Proceso de acondicionamiento de las briquetas y carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 39 |
| 13. Diseño experimental..... | 43 |
| 14. Análisis proximal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 44 |
| 15. Análisis final de la mazorca de Theobroma cacao..... | 46 |
| 16. Análisis especial de la mazorca de Theobroma cacao | 47 |
| 17. Análisis proximal de briquetas de mazorca de Theobroma cacao | 49 |
| 18. Análisis proximal del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 51 |
| 19. Termogramas TGA de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao..... | 63 |
| 20. Termogramas DTG de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao..... | 64 |
| 21. Termogramas DSC de briquetas de la mazorca de Theobroma cacao | 64 |
| 22. Termogramas TGA del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 67 |
| 23. Termogramas DTG del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao..... | 67 |
| 24. Termogramas DSC del carbón vegetal de la mazorca de Theobroma cacao | 67 |
| 25. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la..... mazorca de cacao - 1 | 78 |
| 26. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la | 79 |
| mazorca de cacao - 2 | |
| 27. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la..... mazorca de cacao - 3 | 80 |
| 28. Resultados de análisis especial de la mazorca de cacao | 81 |
| 29. Resultados de análisis del contenido de CHONS en la mazorca de cacao - 1 | 82 |
| 30. Resultados de análisis del contenido de CHONS en la mazorca de cacao - 1 | 83 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 31. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la..... briqueta - 1 | 84 |
| 32. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la..... briqueta - 2 | 85 |
| 33. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la..... briqueta - 3 | 86 |
| 34. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del..... carbón vegetal - 1 | 87 |
| 35. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del..... carbón vegetal - 2 | 88 |
| 36. | Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del..... carbón vegetal - 3 | 89 |
| 37. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 1 | 90 |
| 38. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 2 | 91 |
| 39. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 3 | 92 |
| 40. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 4 | 93 |
| 41. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 1 | 94 |
| 42. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 2 | 95 |
| 43. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 3 | 96 |
| 44. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 4 | 97 |
| 45. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 1 | 98 |
| 46. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 2..... | 99 |
| 47. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 3..... | 100 |
| 48. | Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 4..... | 101 |
| 49. | Acondicionamiento de muestras para envió a laboratorio central | 102 |
| 50. | Tamizador N° 60 para muestras a analizar en laboratorios especializados | 102 |
| 51. | Secado de biomasa para producción de carbón vegetal | 103 |
| 52. | Molino para trituración de mazorcas de cacao..... | 103 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 53. | Producto obtenido en Tamiz N° -2 mm | 104 |
| 54. | Biomasa que ingresar al molino de cuchillas con malla N° 2 mm | 104 |
| 55. | Biomasa triturada en molino | 105 |
| 56. | Biomasa tamizada en malla N° -2 mm | 105 |
| 57. | Pesado de muestras a usar en la producción de briquetas | 106 |
| 58. | Briquetas elaboradas | 106 |
| 59. | Secado de briquetas de manera natural | 107 |
| 60. | Biomasa y productos del horno pirolítico | 107 |
| 61. | Pesado de carbón vegetal producido | 108 |
| 62. | Horno pirolítico | 108 |
| 63. | Verificación de emisiones de humo para el control de producción de carbón vegetal | |
| | – Perdida de agua | 109 |
| 64. | Verificación de emisiones de humo para el control de producción de carbón vegetal | |
| | – Indicador fin de proceso | 109 |
| 65. | Temperaturas obtenidas en el termómetro infrarrojo | 110 |
| 66. | Medición de temperatura de producción de carbón vegetal | 110 |
| 67. | Acompañamiento de asesor en el desarrollo de la tesis | 111 |
| 68. | Recopilación de leña para la carbonización | 111 |
| 69. | Secado de biomasa en estufa | 112 |
| 70. | Corte de biomasa para posterior secado | 112 |
| 71. | Recopilación de biomasa en campo | 113 |
| 72. | Mazorca de cacao | 113 |
| 73. | Impresión 3D de briquetadora | 114 |
| 74. | Diseño de maquina briquetadora | 114 |
| 75. | Compactación de 2 TN con maquina briquetadora | 115 |
| 76. | Maquina briquetadora | 115 |
| 77. | Pesado de briquetas | 116 |
| 78. | Rotulado de briquetas obtenidas | 116 |
| 79. | Aglutinantes usados en la elaboración de briquetas | 117 |
| 80. | Mezcla de biomasa y aglutinantes | 117 |

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento y contenido energético de briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de cacao, la metodología del estudio fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo, la fase experimental del estudio consistió en elaborar briquetas de mazorcas de cacao con el uso de aglutinantes (almidón de papa y melaza) y carbón vegetal de mazorcas de cacao en horno pirolítico a condiciones controladas, a partir de ello los resultados fueron que el rendimiento de producción de briquetas fue de 89,818% y del carbón vegetal fue de 30,817%; con respecto al contenido energético la mazorca presento 7 842,778 J/g, mientras que las briquetas y carbón vegetal presentaron contenido energético de 8 495,013 J/g y 16 432,513 J/g respectivamente, por lo tanto se concluye que las mazorcas de cacao representan una buena alternativa para la producción de briquetas y carbón vegetal ya que el rendimiento de producción supero el 10% y con respecto al contenido energético se identificó que el acondicionamiento de las mazorcas de cacao contribuyeron al aumento del contenido energético en los productos elaborados.

Palabras claves: mazorcas de cacao, carbón vegetal, briquetas.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the yield and energy content of briquettes and charcoal obtained from cacao pods. The methodology of the study was of an applied type, with a quantitative focus. The experimental phase of the study consisted in elaborating briquettes from cacao pods using binding agents (potato starch and molasses) and charcoal from cacao pods in a pyrolytic stove with controlled conditions. From these, the results were that the production yield of the briquettes was 89.818% and for the charcoal it was 30.817%. With respect to the energy content of the pod, it presented 7842.778 J/g, while the briquettes and the charcoal presented an energy content of 8495.013 J/g and 16,432.513 J/g, respectively. Thus, it was concluded that the cacao pods represent a good alternative for the production of briquettes and charcoal, since the production yield surpassed 10%, and with respect to the energy content, it was identified that the conditioning of the cacao pods contributed to the increase in the energy content in the products that were elaborated.

Keywords: cacao pods, charcoal, briquettes

I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, las fuentes de energía empleadas para actividades domésticas como cocina, mayormente en los países subdesarrollados han sido los combustibles de madera que comprenden ramas, leña, carbón y combustibles fósiles. A partir de ello, surgen dos problemas de los combustibles de fuentes no renovables como el gradual agotamiento de fuentes naturales y la generación de altas porciones de contaminantes emitidos que contribuyen al cambio climático.

De todas las fuentes de energía, la biomasa es uno de los recursos energéticos más grandes del mundo, la cual se sitúa en el tercer lugar debido a que se utiliza para cocinar y calentar por las tres cuartas partes de todas las personas en los países subdesarrollados, lo cual representa alrededor del 14% del uso total de la energía mundial (Kpalo et al., 2020).

Por otro lado, el cacao se encuentra entre los productos agrícolas tropicales más cultivados e importantes del mundo. Tan solo en el Perú, la producción de cacao superó las 157,859 toneladas, las cuales se obtuvieron de 181,716 hectáreas (León, 2022). Asimismo, dentro del territorio nacional, Huánuco es una de las regiones que predomina como productor de cacao, donde anualmente se exportan 14 395 toneladas derivadas de una extensión de 25 445 hectáreas (Sánchez, 2021).

Sin embargo, el aumento de la producción también ha favorecido la proliferación de residuos como la mazorca de cacao en las plantaciones, de hecho, se generan 10 toneladas de mazorcas por cada tonelada de grano de cacao seco (Ouattara et al., 2020), asimismo, se percibe que el componente mayoritario de los residuos de cacao está formado por la cáscara de la mazorca de cacao, alcanzando entre el 90 - 93% del residuo total de cacao (Jarrín et al., 2023). Estos desechos en su mayor parte permanecen en las tierras de cultivo, llegando a ser fuente crítica de infección ya que insectos o plagas se multiplican debido a los olores transmitidos por estas acumulaciones cuando se descomponen.

Sea como fuere, el uso de biomasa en su forma natural como bioenergía es muy difícil debido a las características de la biomasa en su estado natural, como el alto contenido de humedad, la baja emisión de calor y la descarga de humo durante la quema. De tal manera, el acondicionamiento de la biomasa para uso como fuente de energía en lugar de combustibles fósiles, es una alternativa para mitigar los problemas de contaminación. Asimismo, la conversión de biomasa mediante la compactación de los residuos en productos de mayor

densidad como briquetas; y/o a través de pirólisis para producir carbón vegetal como productos de calidad se ha vuelto importante en los últimos años.

La importancia del estudio radica en la producción de briquetas y carbón vegetal a partir la mazorca de cacao que aún no está muy extendida en comparación con el uso de otros materiales leñosos, por lo tanto, la investigación busca nuevas fuentes orgánicas para la fabricación de briquetas y carbón vegetal. De esta manera, la justificación ambiental representa una alternativa ecológica para obtener energía como una forma de gestionar el desecho agrícola y, al mismo tiempo, contribuir en la reducción de la tasa de contaminantes como medida de adaptación al cambio climático.

Por otro lado, el alcance del estudio se enfoca en la elaboración de briquetas y carbón vegetal con fines energéticos para beneficiarios como las poblaciones más vulnerables que pueden utilizar las briquetas de manera accesible para la ejecución de sus operaciones habituales y a la vez promover una cultura de reaprovechamiento de los residuos, mientras que, la justificación económica se relaciona con el bajo costo de producción de briquetas y carbón vegetal que representan una forma atractiva de biocombustible para aplicaciones de calefacción y generación de electricidad, incorporando materiales reciclados.

Por lo tanto, en la presente investigación se planteó la siguiente interrogante ¿Cuánto será el rendimiento y contenido energético de las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de las mazorcas de *Theobroma cacao*?, y como hipótesis que el rendimiento y contenido energético de las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de las mazorcas de *Theobroma cacao* serán un 10% mayor que la mazorca de cacao.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar el rendimiento y contenido energético de briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímicamente las mazorcas de *Theobroma cacao*
- Producir briquetas y carbón vegetal a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*
- Determinar el rendimiento de producción de briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*
- Evaluar el contenido energético de las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Cabrera y Villacís (2022) en su investigación tuvo como objetivo conocer como influirá la aplicación de aglutinante en la elaboración de briquetas a partir de biomasa de cacao (*Theobroma cacao*) y Maíz (*Zea mays*), la metodología del estudio fue de enfoque mixto, de diseño experimental, de tipo aplicada, el muestreo fue por conglomerados. Los resultados mostraron que el cacao presentaba una humedad de 2,33%, mientras que el maíz de 1,66%; por otro lado el índice de las cenizas del cacao fue de un 10%, de igual forma el índice de cenizas para el maíz fue de un 10%, respecto al material volátil los resultados fueron de un 87,66% para el cacao y un 88,33% para el maíz, finalmente con respecto al carbón fijo se obtuvo que el cacao fue de 2,34%, el maíz de un 1,67%, a raíz de ello se concluye que el cacao y el maíz representa una buena alternativa para la elaboración de briquetas.

Príncipe (2020) en su estudio tuvo como fin producir y caracterizar briquetas hechas de cáscara de mazorca de cacao, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental, para elaborar las briquetas se utilizaron diversos métodos, las propiedades fisicoquímicas fueron analizadas en la Universidad de Ciencia y Tecnología Kwame Nkrumah, también se llevó a cabo una encuesta para determinar la usabilidad de las briquetas. Los resultados obtenidos del poder calorífico mostraron que la briqueta mixta produjo (23,6 MJ/kg), asimismo, la briqueta de cascarilla de cacao produjo (16,7 J/kg, respecto a la encuesta los resultados fueron que el (97%) usaban combustibles de madera para sus actividades de calefacción y cocina; (98%), se llegó a concluir que los encuestados estaban listos para usar las nuevas briquetas producidas.

Nuriana et al. (2019) en su estudio tuvo como fin obtener el poder calorífico de las briquetas de carbón vegetal a partir de biomasa de residuos de coco viejos, residuos de coco jóvenes y residuos de cacao. El estudio se realizó a escala de laboratorio, y se utilizó un diseño completamente al azar con 3 repeticiones. Los resultados de la prueba de la densidad de la briqueta de coco viejo fueron de 0,937 g/l, el poder calorífico más alto fue de 6,927 kcal/g con un tiempo de carbonización de 90 minutos. Las briquetas de coco viejas tenían la tasa de reacción de combustión más baja en comparación con el nivel de tasa de reacción de las briquetas de coco jóvenes y las briquetas de cacao. El efecto de un valor de densidad más alto, mayor es el valor calorífico de la briqueta y más lenta o baja la tasa de combustión. En la

prueba de Termogravimetría usando, la mayor disminución en la masa de las briquetas de desechos de coco viejos en comparación con las briquetas de desechos de coco jóvenes y las briquetas de desechos de cacao fue del 55,34 %, de 590,5 °C a 599,2 °C.

Waluyo et al. (2022) en su estudio utilizó desechos de aserrín y vaina de cacao como materia prima de briquetas densificadas a baja presión e investigar el efecto de la relación de mezcla en las propiedades mecánicas y térmicas de las briquetas. La relación de peso entre aserrín y vaina de cacao es 3:1 (SD75CP25), 1:1 (SD50CP50) y 1:3 (SD25CP75). El proceso de compactación se realizó a temperatura ambiente y bajo una presión de compactación de 0,1 MPa. Los resultados indican que los residuos de aserrín y vaina de cacao tienen el potencial como materia prima para elaborar briquetas a baja presión. Basado en la densidad estable y el poder calorífico más alto, la briqueta SD50CP50 tiene las mejores propiedades en el presente trabajo. La densidad estable y el poder calorífico superior de la briqueta SD50CP50 fueron 452,74 kg/m³ y 16,34 MJ/kg, respectivamente, se concluye que las briquetas representan buenas propiedades para su uso ya que su poder calorífico es alto.

Díaz y Benites (2019) en su investigación tuvieron como objetivo elaborar briquetas a partir de cascarilla de cacao, adicionando aglutinantes orgánicos, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada, la fase experimental del estudio consistió en elaborar briquetas con diversas proporciones de biomasa, dentro de la composición más adecuada para la briqueta de cacao fue de 53% en peso de cascarilla de cacao malla menor a 2 mm y 47% de aglutinantes (melaza y cáscara de papa). Los resultados arrojaron que el poder calorífico de la briqueta fue de 9909,59 kcal/kg; a raíz de ello se concluye que el uso de la cascarilla de cacao representa una buena alternativa para la elaboración de briquetas ecológicas y además sus características de poder calorífico conducen a que sea considerado como una opción que permita brindar energía a bajo costo además de reducir los residuos orgánicos de las industrias productoras de cacao.

Huda et al. (2021) en su estudio tuvo como fin investigar la presión de compactación sobre las propiedades físicas y térmicas de las briquetas de vaina de cacao. El trabajo se inicia con la recolección de los desechos de la mazorca de cacao de la plantación local en Yogyakarta. Después de triturar, la vaina de cacao de tamaño de malla 10 se compacta a diferentes presiones, es decir a 5, 7,5 y 10 bar. Las propiedades físicas de la briqueta investigada son densidad, resistencia a la compresión y resistencia al agua. Mientras tanto, la propiedad térmica de la briqueta investigada es un poder calorífico superior. El resultado muestra que la briqueta de 10 bar fue la mejor en el presente trabajo. La briqueta de 10 bar tiene

la mayor densidad estable, resistencia a la compresión, índice de resistencia al agua y mayor poder calorífico. Los valores son 715 kg/m^3 , $9,82 \text{ N/m}^2$, $98,8\%$ y $3660,8 \text{ cal/g}$, respectivamente. El valor de densidad estable y poder calorífico superior de la briqueta de vaina de cacao de 10 bar es comparable a otras briquetas de biomasa. Así el cacao la vaina tiene un buen potencial como materia prima en la fabricación de briquetas de biomasa bajo presión de compactación.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Díaz y Benites (2019) en su investigación tuvieron como objetivo elaborar briquetas a partir de residuos de café, trigo y cacao; la metodología del estudio consistió en elaborar briquetas por diversas composiciones de biomasa. Los resultados fueron que la composición ideal de biomasa y cubiertas para la briqueta de cáscara de cacao fue de un 53% , por lo cual el nivel calorífico de la briqueta de cacao fue de $9909,59 \text{ kcal/kg}$; mientras que, para las briquetas de café y trigo se obtuvo un poder calórico de $9912,81 \text{ kcal/kg}$ y $9928,11 \text{ kcal/kg}$ respectivamente. Por lo tanto, se concluyó que el uso de biomasa con aglutinantes naturales representa una opción ecológica para la producción de briquetas.

Fanárraga y Jihuallanca (2021) en su estudio tuvieron como propósito elaborar briquetas a partir del hueso de la palta y sea utilizado como un biocombustible, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental, de corte transversal, para la elaboración de las briquetas se utilizó hueso de palta, aserrín y almidón de yuca en diferentes proporciones. Entre los resultados destacó que las briquetas tenían forma redonda y hueca de 7 cm de largo y 5 cm de ancho de distancia, de la misma manera las briquetas se encontraban en un $8,75\%$ de humedad, $1,5\%$ de ceniza, $13358,08 \text{ kJ/kg}$ de control calorífico y 106 min de combustión, además la briqueta mostró disminuciones en términos de CO_2 , se concluye que los huesos de la palta permiten elaborar briquetas con buenas condiciones caloríficas, ya que estos materiales se obtienen en forma de residuo.

Montenegro (2022) en su investigación tuvo como objetivo evaluar el poder calorífico de las briquetas producidas a partir de residuos orgánicos domiciliarios, la metodología del estudio fue de enfoque cualitativo, de diseño experimental, de corte transversal, para llevar a cabo la investigación los residuos fueron sometidas a un proceso de secado y de esa forma se puedan elaborar briquetas. Los resultados fueron que las briquetas de almidón de yuca se enciende en menos tiempo que la briqueta de biochar, arcilla y carbón, además, almidón de yuca incorpora una estima de $4750,75 \text{ kcal/kg}$ en comparación de un poder calorífico $4287,16 \text{ kcal/kg}$ de la briqueta de biochar con arcilla, se concluye que los residuos orgánicos se consideran una buena alternativa para la elaboración de las briquetas y de esa

manera se reducen los índices de contaminación ya que estos residuos se aprovechan de manera sostenible.

Tejada et al (2021) en su investigación tuvo como objetivo elaborar briquetas a partir del estiércol de alpaca en el Distrito de San Antonio de Chuca-Imata, Arequipa, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada, la fase experimental del estudio consistió en elaborar briquetas utilizando proporciones de 80 % de estiércol de alpaca, 18% de ichu, 2% de cal y agua. Los resultados fueron que la temperatura máxima que logró alcanzar la briqueta fue de 500 °C , tomando en consideración el poder calorífico se encontró que en este parámetro las briquetas se encontraban en un rango de 4318,18 cal/g., se concluye que las briquetas a base de estiércol de alpaca se considera una materia prima para elaborar briquetas por lo tanto la población debe considerar este tipo de residuo como una nueva alternativa para la elaboración de briquetas ya que es un combustible amigable con el ambiente en el Distrito de San Antonio de Chuca-Imata.

Huamán et al. (2021) en su estudio tuvo como fin elaborar briquetas a partir a partir de residuos agrícolas en la Masma Chicche, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada; para elaborar briquetas se utilizó bagazo de maíz, paja de cebada, aserrín, papel reciclado y aglutinantes. Los resultados fueron que el menor tiempo de combustión de la briqueta fue 21'11", mientras que el mayor tiempo de combustión fue 56'16", con respecto a la humedad, la menor humedad fue de 9,91%, mientras que la mayor humedad fue 13.38%; tomando en consideración las cenizas la menor cantidad fue de 9,23%, muy por el contrario, la mayor cantidad de cenizas fue 11,51%. La menor densidad fue 220,49 kg/m³, mientras que la mayor densidad fue de 439,52 kg; se llegó a concluir que los residuos agrícolas son una buena alternativa para la elaboración de briquetas y permite un aprovechamiento sostenible de los residuos.

2.1.3. Antecedentes locales

Caballero Melgarejo & Lara Lumba (2020) en su estudio tuvieron como objetivo determinar el pellet con mayor poder calorífico, la metodología del estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada. Dentro de la materia prima a usar fueron los residuos de la trilla de *Hordeum vulgare*, *Pisum sativum* y *Vicia faba* con aglutinantes naturales. Los resultados fueron que el mayor poder calorífico fue para el pellet de *Vicia faba* con aglutinante de almidón de *Manihot esculenta* con 11534,720 kcal/kg, el pellet con mejores características físico-químicas fue el *Hordeum vulgare* con el aglutinante de almidón de *Manihot esculenta* con 85,086% de materia volátil, 1,163% en cenizas, 13,751% de

carbono fijo y 1,299 g/cm³ de densidad; y el pellet que obtuvo mayor energía fue *Vicia faba* con aglutinante de almidón de *Manihot esculenta*, de tal manera se concluye que la biomasa al homogenizarse con el aglutinante aumentó notoriamente su poder calorífico en comparación con los demás pellets elaborados.

Pérez y Torpoco (2022) en su estudio tuvieron como propósito elaborar briquetas a partir de los residuos de cascarilla de café en el Valle del Monzón, la metodología del estudio fue de tipo aplicada, de diseño experimental, para llevar a cabo el estudio se realizó por etapas, primeramente, se caracterizó la cascarilla de café, posteriormente se elaboraron las briquetas, seguidamente se procedió a determinar las propiedades fisicoquímicas. Los resultados fueron que las briquetas se encontraban dentro de los estándares en la norma técnica colombiana NTC 2060 con excepción del contenido de humedad y materia volátil. Además, la calidad de las briquetas fue 90/10 y 70/30, mostrando una estima calorífica normal de 19,80 MJ/kg y 19,44 MJ/kg individualmente. Se concluyó que la utilización de cáscaras de café es una buena alternativa para elaborar briquetas.

Gutiérrez (2021) en su estudio tuvieron como objetivo evaluar el rendimiento y análisis fisicoquímico del carbón vegetal a diferentes grados de temperatura por niveles longitudinales del fuste, la metodología del estudio fue de diseño experimental. Dentro de la materia prima a usar fue el Achuni caspi (*Ziziphus Cinnamomum Tr & PI*). Los resultados fue un rendimiento mayor en el tratamiento 1 (400 °C) (Base) con 42,364%, de tal manera se concluye que los niveles longitudinales del fuste no influyen en el rendimiento del carbón vegetal y existe diferencia altamente significativa en las diferentes temperaturas de carbonización, por lo tanto, la temperatura influye en el rendimiento del carbón vegetal.

2.2. Marco teórico

2.2.1. *Theobroma cacao* L. (Cacao)

La producción de cacao se basa en el aprovechamiento de la semilla, la cual constituye el 10% del peso del fruto fresco, y la cáscara que abarca el 80% aproximadamente del total de la mazorca que, a su vez representa el principal material residual no aprovechado (Cobeñas y Guerrero, 2018), como consecuencia de ello el (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MINAGRI], 2020) informó que la producción peruana del cultivo de cacao, durante el período de 2019 fue 135 900 toneladas de 130 300 hectáreas recogidas, beneficiando a más de 90 000 familias e indirectamente a 450 000 individuos dentro de las zonas de generación que se encuentran principalmente dentro del zona selvática.



Figura 1. Tipología de la agricultura en Huánuco

Fuente. Ministerio de Agricultura y Riego – Dirección Regional de Agricultura Huánuco (MINAG - DRA. Huánuco, 2020)

- **Mazorca de cacao**

La cáscara de cacao representa el 80% de la mazorca, cuando se rompen las mazorcas de cacao, las partes de estos se eliminan y se limpian para compostaje dentro de las áreas de cultivo (Merino, 2019). Además, presenta lenta degradación en condiciones naturales, ya que incorpora una sustancia alta de celulosa y otros compuestos carbonatados que requieren la expansión de fuentes de nitrógeno que permiten un ajuste ideal de la proporción C: N (De la Cruz, 2018).

La cáscara de cacao al representar un gran porcentaje del total del fruto o mazorca, se caracteriza por ser un problema, ya que por cada tonelada de granos de cacao se pueden generar 10 toneladas de cáscaras de cacao (Merino, 2019), las cuales al quedarse en las tierras de cultivo se convierten en fuente significativa de enfermedades produciendo la proliferación de insectos por los olores emitidos producto de la descomposición de este tipo de residuos generando que no exista un compostaje adecuado.

Se ha demostrado que la expansión de los residuos de cacao no trae beneficios sociales y financieros, solo genera impactos biológicos tales como la salida de gases de vivero y la generación de lixiviados causando cambios en la composición del suelo, a ello se suma la transmisión de enfermedades influenciado por vectores que causan que la mazorca oscura se vea afectada por organismos patógenos como el *Phytophthora spp* y la transmisión de

enfermedades a comunidades creando problemas de bienestar en zonas rurales de producción de cacao (Rojas, 2019).

- Características fisicoquímicas de la cáscara de cacao

Según Murillo (2020), menciona que los desechos agrícolas del cultivo de cacao, está constituido por la cáscara del fruto y la pulpa de las semillas, los cuales son ricos en alcaloides, azúcares, polifenoles, polisacáridos y taninos.

Según Herrera et al. (2020), la caracterización fisicoquímica de la cascara de cacao hacen posible su uso en el ámbito de bioprospección agroindustrial, ya que es materia prima de bajo costo. El desecho agrícola del cacao puede ser manejado mediante procesos de bajo costo e innovadores, ello evitaría la generación de focos de contaminación y proliferación de microorganismos, resolviendo así las problemáticas sociales, ambientales y económicas generadas en los productores cacaoteros y población en general.

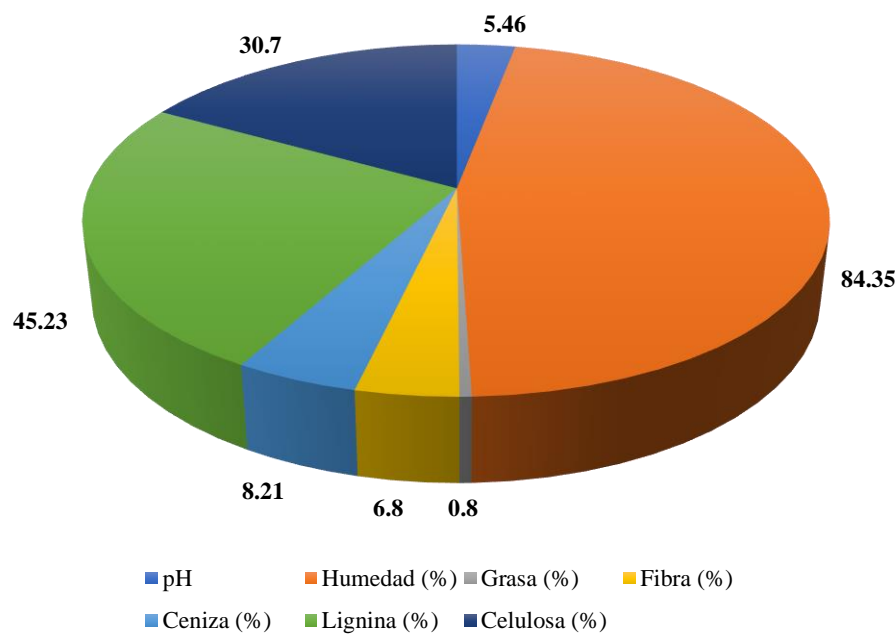


Figura 2. Composición de la cáscara de cacao

Fuente: Herrera et al. (2020)

- Potencial energético del cacao

El distrito de Rupa Rupa, ubicado en la región de Huánuco; es una de las regiones que se caracteriza por ser tradicionalmente agrícola. El Ministerio de Desarrollo

Agrario y Riego [MIDAGRI], 2020) informó que desde el año 2009 al 2019 se observó que los cultivos de cacao y palma aceitera tuvieron un crecimiento del 50%.

Según los datos presentados por el MIDAGRI al (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI],2019), en el departamento de Huánuco la producción anual de los principales cultivos llegó a ser 1 298 098,499 de toneladas métricas, de los cuales la producción de cacao es de 13 403 toneladas métricas, siendo un cultivo con alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa (Rachmat et al. 2018)

Considerando que la producción de cacao se basa en el aprovechamiento de la semilla, que representa el 10% del peso del fruto fresco, y la cáscara constituye el 80% aproximadamente del total de la mazorca y la cual a su vez representa el principal material residual no aprovechado (Cobeñas & Guerrero, 2018), la biomasa potencial disponible de la mazorca de cacao es de 10 722,4 toneladas métricas en la región de Huánuco.

2.2.2. Aglutinante

La biomasa generalmente contiene aglutinantes estructurales naturales o agentes estabilizadores, como la lignina y las proteínas, que se liberan y activan cuando la biomasa se densifica a niveles relativamente altos de temperatura y presión. Esto mejora la unión estructural de partículas en las briquetas de biomasa. Sin embargo, en algunos casos, es posible que la biomasa no contenga una cantidad significativa de aglutinante natural (lignina) debido a las condiciones de densificación, es posible que se requieran aglutinantes adicionales para lograr la dureza y durabilidad deseadas de las briquetas (Obi et al., 2022).

- Ventajas y desventajas de los aglutinantes

Los aglutinantes de briquetas se pueden dividir ampliamente en aglutinantes orgánicos, inorgánicos y compuestos según su composición (Kivumbi et al., 2021). Los aglutinantes inorgánicos presentan grandes ventajas una excelente termo capacidad y buena hidrofilia, pero producen grandes cantidades de ceniza. Los aglutinantes orgánicos tienen ventajas relacionadas con mejor adherencia y rendimiento de combustión con bajo nivel de cenizas, pero presentan pobre resistencia mecánica y estabilidad térmica. (Zhang et al., 2018).

- Principales aglutinantes

El almidón es el aglutinante más común, aunque suele ser caro. En general, se necesita entre un 4% y un 8% de almidón para hacer las briquetas. Las fuentes de almidón

pueden ser almidón de maíz, almidón de trigo, harina de maíz, harina de trigo, harina de arroz, harina de mandioca, almidón de patata, entre otros (Zhang et al., 2018).

2.2.3. Biomasa

La biomasa se define como la materia orgánica originada en procesos biológicos, espontáneos o provocados, las cuales pueden utilizarse como fuente de energía, ya que posee un amplio rango de aplicaciones, la biomasa se puede emplear para generar calor (combustión), generar energía eléctrica (centrales de ciclo combinado) y producir biocombustibles (Merino, 2019).

2.2.3.1. Clasificación de la biomasa

A. Según origen

- Biomasa natural

Los beneficios del uso de biomasa natural como fuente energética son su asequibilidad y diversificación energética, ya que brinda el potencial energético y beneficios ambientales necesarios para la obtención de energía, así como su versatilidad de uso, generan su bajo efecto contaminante (Valenzuela, 2021).

- Biomasa de origen agrícola

Los residuos de biomasa del sistema agrícola incluyen pajas, cáscaras y tallos. La fabricación de briquetas es una gran forma de valorizar la biomasa; por lo tanto, la fabricación con briquetas a partir de la biomasa brinda un alto poder calorífico comparado con otro tipo de combustibles (Bot et al., 2022).

- Biomasa de origen industrial

La elaboración de briquetas a partir de desechos sólidos industriales es un método más respetuoso con los ecosistemas porque proporcionar energía alternativa y es esencial para satisfacer las crecientes necesidades energéticas y al mismo tiempo garantiza un manejo eficiente de los desperdicios en la expansión de los parques industriales (Huang et al., 2023).

B. Según uso energético

La biomasa puede ser sustituto parcial o completo de los derivados de recursos fósiles, estas a diferencia de los combustibles fósiles no contribuyen al aumento de gases de efecto invernadero, ya que el carbono liberado es absorbido durante el crecimiento

vegetal, de tal manera que las emisiones de CO₂ sean nulas. El enfoque sostenible de la biomasa genera la mitigación de impactos ambientales asociados con los combustibles convencionales (Vargas, 2021).

Tabla 1. Tipos de biomasa

| Tipo | Descripción |
|----------------------|--|
| Biomasa de residuos | Alude a los subproductos o residuos generados en las actividades agrícolas, silvícolas y ganaderas, así también como los residuos de la industria agroalimentaria y maderera. |
| Biomasa no utilizada | Alude a aquellos originados en la recolección de formas, servicio de guardaparques y agroindustria, fuertes subproductos no utilizados en las empresas agrarias, de guardaparques, agroalimentarias o madereras. |
| Biomasa húmeda | Alude a la biomasa que supera el 60% de humedad y que necesita formas de secado o ser utilizado en formas húmedas (generación de biogás) o liberaciones biodegradables. |
| Biocombustible | Alude a las potencias de los fluidos o gases suministrados por la producción de cereales u otros cultivos de alto consumo energético. |

Fuente: Lock (2018).

Tabla 2. Componentes estructurales

| Tipo | Descripción |
|-------------------------|---|
| Biomasa lignocelulósica | Alude a la biomasa en la que prevalecen la celulosa, la hemicelulosa y la lignina como elementos más relevantes de la estructura vegetal. |
| Biomasa amilácea | Los carbohidratos están dentro del marco de los polisacáridos de reserva, como la insulina o el almidón. |
| Biomasa azucarada | El componente hidrocarburo trascendente comprende azúcares, como monosacáridos (glucosa o fructosa) o disacáridos (sacarosa). |
| Biomasa oleaginosa | El elemento distintivo para su utilización incluye los lípidos, como aceites y gomas. |

Fuente: Lock (2018)

2.2.3.2. Proceso de conversión de la biomasa a energía

Merino (2019), menciona hay diferentes formas de cambiar sobre la biomasa en formas utilizables de vitalidad, que pueden clasificarse en formas termoquímicas y bioquímicas.

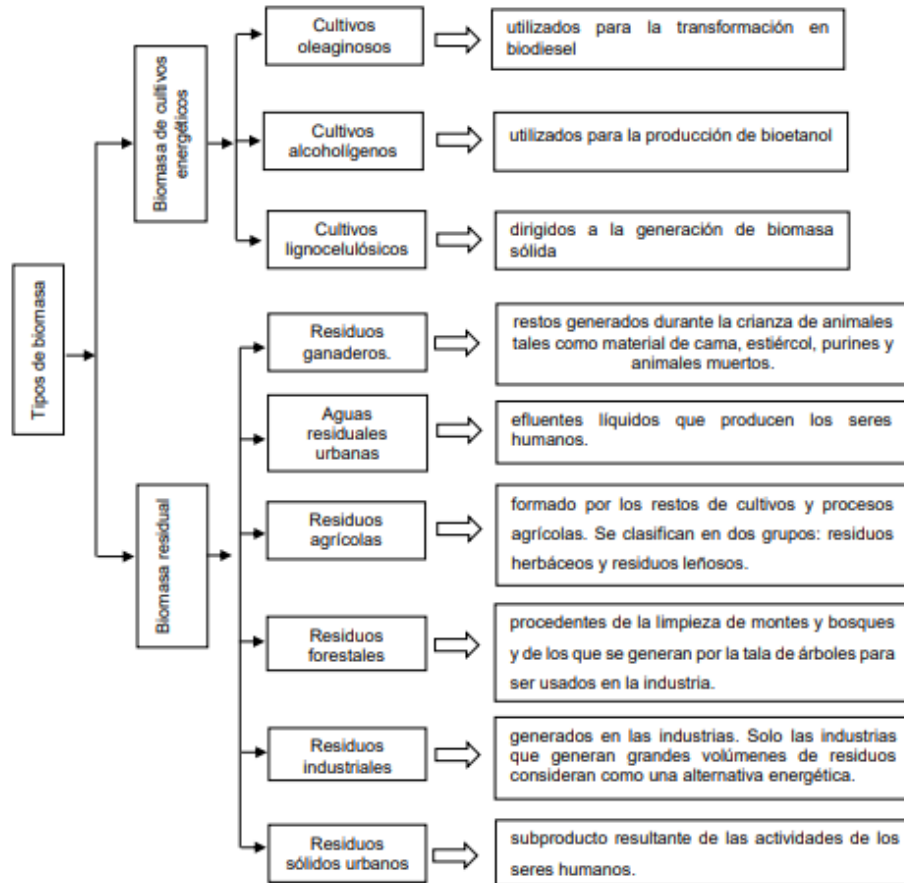


Figura 3. Procesos de conversión de biomasa en energía

Fuente: Lara (2019)

A. Proceso termoquímico

Estas formas se caracterizan por respuestas químicas irreversibles, con altas temperaturas y condiciones de oxidación cambiantes.

- Combustión

Alude a la quema de biomasa dentro de la proximidad, dicho mango libera la vitalidad guardada dentro de la forma de gases cálidos y calientes creando temperaturas que se extienden de 800 °C a 1000 °C. hipotéticamente, es concebible la

combustión de cualquier tipo de biomasa, esto ocurre cuando la biomasa presenta una sustancia de humedad inferior al 50% o cuando la biomasa (Lock, 2018).

- **Pirólisis**

Alude a la transformación de la biomasa en divisiones vaporosas, fuertes y fluidas a través del calentamiento, con temperaturas alrededor de 500 °C. Dependiendo del proceso de pirólisis utilizado se obtendrá elementos tales como carbón, aceite biológico o gas combustible (Merino, 2019).

B. Procesos físicos

Estas formas se relacionan con las etapas esenciales o pretratamiento, que es recientemente el cambio o sección de la biomasa en formas termoquímicas.

- **Reducción de la granulometría**

Refiere a la reducción de la biomasa en pequeñas piezas que puedan facilitar el aprovechamiento en los procesos termoquímicos. La importancia de este proceso radica debido a que los residuos en la mayoría de los casos llegan en grandes dimensiones, como lo son los troncos, ramas, cáscaras, etc (Lock, 2018).

- **Densificación**

Alude a la compactación y se aplica una vez que necesite obtener un incremento en el grosor de la vitalidad, así como hacer avances en sus propiedades como combustible electivo (Lock, 2018).

- **Secado**

Refiere al proceso de secado o reducción de la humedad de la biomasa, dicho procedimiento se puede realizar de manera natural (secado por aprovechamiento de la energía solar) o de manera industrial (secado en estufas o secadores industriales) (Lock, 2018).

- **Extracción**

San Miguel y Gutiérrez (2015), refiere a las formas físicas de exprimir, extraer y refinar biomasa de petróleo para hidrocarburos y aceites vegetales (Lock, 2018).

2.2.4. Potencial energético de los residuos agrícolas

El alto interés de las empresas y de los responsables políticos por la producción de energía y materias primas secundarias mediante el aprovechamiento de recursos orgánicos, se viene impulsando en los últimos años (Bortolotti et al., 2018)

2.2.4.1. Caracterización de la biomasa

El potencial de vitalidad de la biomasa es vital para conocer las características fisicoquímicas como la sustancia de biomasa seca y las sustancias de humedad, en ese momento se realiza el examen básico de la sustancia de grasa y aceite, proteínas, espesor y por fin ponderar su estructura para decidir la tasa de lignina, celulosa y hemicelulosa (Huaytalla, 2019).

La caracterización de la biomasa implica evaluar parámetros físicos y químicos como: tamaño de partícula, distribución, densidad, contenido de humedad, cenizas, material volátil, carbono orgánico; así como también realizar un análisis elemental que comprende determinar el contenido total de carbono, hidrogeno, nitrógeno, y azufres contenidos en la biomasa. Uno de los parámetros más relevantes tomando en cuenta la caracterización global de la biomasa, es el poder calorífico, la cual refiere a la cantidad de energía o calor liberado en la quema de la biomasa en presencia del aire (Etech Solutions SAS, 2023).

Los datos obtenidos de una caracterización de la biomasa son cruciales para la selección de los procesos de conversión más eficientes y adecuados, maximizando así el rendimiento energético. La comprensión de estos parámetros nos asegura la viabilidad técnica y económica del uso de biomasa como fuente de energía renovable (Etech Solutions SAS, 2023).

Tabla 3. Parámetros de caracterización de la biomasa para el aprovechamiento energético

| | Parámetro | Descripción |
|------------|---------------------------|--|
| | Humedad | |
| Físico | Granulometría | Influye en la elección y detalle del equipo y si es necesario realizar un pretratamiento |
| | Densidad real y aparente | |
| | Análisis elemental | |
| | Análisis inmediato | |
| | Componentes estructurales | Determina la conducta de la biomasa en el proceso de conversión termoquímica |
| Químico | Composición de cenizas | |
| | Fusibilidad de cenizas | |
| Energético | Poder calorífico | Determina el importe de energía que se puede aprovechar |

Fuente: Lock (2018)

A. Parámetros físicos

Según Lock (2018), el triturado refiere a la transformación de piezas de biomasa de grandes dimensiones a piezas más pequeñas (troncos, tocones, ramas, etc), mientras que el astillado refiere a la transformación de la biomasa de tamaño intermedio a astillas de pocos centímetros.

B. Parámetros químicos

- Análisis elemental

Alude a la sustancia de compuestos básicos que se gasifican y dan vitalidad a las respuestas de combustión, que se comunican en base seca, por lo que es vital conocer la sustancia de humedad.

El análisis elemental comprende la determinación de la masa de componentes clave en la biomasa como: hidrogeno, nitrógeno, oxigeno, carbono, etc. Dichos

elementos son cruciales para poder comprender la energía almacenada en la biomasa, y con mayor énfasis se considera al carbono e hidrogeno; a medida que la biomasa se somete a temperaturas más altas, el contenido de oxígeno disminuye, y el carbono que es considerado fundamental para el poder calorífico, aumenta hasta en un 42% aproximadamente (Zuluaga et al., 2020).

Tabla 4. Análisis elemental

| Contenido | Descripción |
|-----------------------------------|--|
| Carbono | De la materia o de carbonatos presentes, los cuales pueden oscilar entre 30% y 60% del peso. |
| Hidrogeno | Oscila entre 5% y 6% del peso seco |
| Oxigeno | Oscila entre 30% y 40% del peso seco. Hace una diferencia disminuir discutir las necesidades en la combustión y disminuye su control calorífico |
| Nitrógeno | Sus valores deben de ser inferiores al 1%. Su presencia es perjudicial ya que forma óxidos de nitrógeno (NOx) los cuales se expulsan en con los gases de combustión en el que solo una pequeña fracción se incorpora en las cenizas. Sus valores deben de ser inferiores al 1%. |
| Azufre | Su proximidad es destructiva porque forma escoria, óxidos de azufre (SOx) y causa erosión en la superficie de los tubos de intercambiadores calientes en unidades de cambio como calderas. La incorporación de S dentro de los desechos ardientes oscila entre el 40% y el 90% y esto depende de la concentración de metales alcalinos (Ca) |
| Potasio, Calcio, Sodio y Magnesio | Forman óxidos dentro de los restos ardientes y su proximidad condiciona el pH de los desechos ardientes y la temperatura de ablandamiento. |

Fuente: Lock (2018)

- **Análisis inmediato o proximal**

Tabla 5. Componentes del análisis inmediato

| Contenido | Descripción |
|------------------|--|
| Cenizas | Alude a la suma de la exhibición de materia fuerte incombustible en una tela e impacta la suma de vitalidad descargada, como una sustancia de desechos ardientes alta disminuye la estima calorífica. La ceniza en la biomasa puede oscilar entre 1% y 20% de carbono fijo en base seca |
| Material volátil | Alude a combinaciones de carbono, hidrógeno y otros componentes, que se descomponen al romper los enlaces químicos cuando la prueba se descubre a casi 950 °C, y da una idea de la longitud del fuego en la oportunidad de apagado que se utiliza en un marco de combustión. El material volátil de la biomasa puede oscilar entre el 70% y 90% de material volátil en base seca |
| Carbono fijo | Refiere a la fracción de carbono residual que permanece luego de ser retirado la humedad, cenizas y material volátil. Indica la facilidad con la que un residuo reacciona, oxida y gasifica. El carbono fijo puede oscilar entre 10% y 30% de carbono fijo. |
| Humedad | La humedad debe de ser inferior al 30% para el Optimo proceso de conversión energético |

Fuente: Lock, (2018) & Cabezas (2018)

2.2.5. Briqueta

2.2.5.1. Etapas de producción

Las briquetas son empleadas en el sector industrial (chimeneas, calderas, gasificadores) y domestico (estufas, cocinas, hornos, etc), ya que se aprovechan para la generación de calor o producción de energía.

El procedimiento de fabricación de briquetas implica triturar, a veces calentar, mezclar y comprimir. El objetivo es producir una materia prima sólida, compacta y geométrica de alta densidad. En general, a pesar de la mayor densidad, los combustibles de briquetas tienen mayor estima calorífica (por volumen), menor sustancia de humedad y parámetros superiores en comparación con los materiales crudos. Desde estas características, altas temperaturas pueden llegar a ser rápidamente, creando menos humo y ceniza. Por lo tanto,

la utilización de briquetas a base de desechos puede disminuir los impactos naturales, la degradación de los bosques y la deforestación (Ferronato et al., 2022).

Por lo tanto, la producción de briquetas de carbón vegetal mediante procesos de trituración, separación, mezcla y compactación antes de la combustión puede ser una opción práctica y sostenible. En general, se cree que la tecnología de combustión conjunta representa una opción de energía limpia, sostenible y renovable, y puede reducir las emisiones de contaminantes gaseosos, PM 2.5 y productos químicos tóxicos, lo que genera importantes beneficios para la salud y la calidad del aire (Li et al., 2023).

2.2.5.2. Características de las briquetas

- Humedad

El contenido de humedad de la materia prima de biomasa, que afecta la compacidad y estabilidad de las briquetas formadas. Por otro lado, un mayor contenido de humedad da como resultado una menor densidad y una mala estabilidad, y reduce la temperatura de combustión absorbiendo el calor latente de evaporación. El contenido de humedad es determinado por el tipo de materia prima utilizada para la fabricación de briquetas. Por otro lado, una menor humedad requiere un mayor aporte de energía para comprimir la materia prima. Por lo tanto, una humedad adecuada El nivel es importante para la fabricación de briquetas (Dinesha et al., 2019).

- Poder calorífico

El poder calorífico es una de las características importantes de cualquier combustible; es la cantidad de energía por kilogramo que exuda durante la combustión. Se ha observado que cuanto mayor es la cantidad de poder calorífico de un combustible de briquetas, más energía térmica se espera de él durante la combustión, por lo tanto, las briquetas de biomasa son una fuente de energía para procesos de calefacción domésticos e industriales pueden reducir significativamente las emisiones de contaminantes atmosféricos, la deforestación y la desertificación (Dinesha et al., 2019).

- Materia prima de las briquetas

La biomasa generalmente se refiere a todos los materiales biológicos derivados de organismos vivos, incluidos animales y plantas. En el contexto de la fabricación de briquetas de biomasa, un ejemplo de biomasa incluiría una amplia gama de materiales, como virutas de madera de operaciones forestales, residuos agrícolas de actividades

de procesamiento agrícola, desechos industriales, animales y desechos domésticos y municipales (Francis et al., 2022).

2.2.6. Carbón vegetal

Iglesias (2020), menciona que el Carbón vegetal o biochar es una tecnología ancestral, usada por antiguos pobladores en el mundo, ya que utilizaban la leña para la cocción de alimentos y calefacción, los cuales generaban residuos carbonosos y cenizas.

Según Leng y Huang (2018) el carbón vegetal es un compuesto altamente estable, ya que presenta una estructura aromática, la cual se debe la materia prima y el proceso de pirólisis, en el que se destacan la temperatura del proceso y la duración del tratamiento. Desde el punto de vista energético, la producción de carbón desperdicia mucha energía porque proviene de un proceso de combustión, sin embargo, la eficiencia energética del carbón es mayor que la de la leña. En la mayoría de los casos, el uso de carbón vegetal está influenciado por valores fijos de carbono, ya que el buen carbono tiene valores altos de carbono fijo y bajos en otros componentes, en algunos casos (especialmente en el uso de energía) puede haber una influencia favorable de los componentes volátiles del carbón (De los Milagros, 2018).

2.2.6.1. Productos de la carbonización

La combustión implica la oxidación a altas temperaturas de este, convirtiéndolo en dióxido de carbono y agua; dicho proceso requiere oxígeno del aire que actúa como agente oxidante en las etapas de pirólisis y gasificación, previo a la combustión. La energía química almacenada es transformada en calor, trabajo mecánico o energía eléctrica según corresponda. En la combustión directa ocurre una diferencia significativa, la cual requiere un exceso de aire para favorecer a la transformación, liberando así vapor de agua y materiales volátiles, aunque sea necesario más aire del necesario, en condiciones reales es necesario minimizarlo para así alcanzar la máxima temperatura con una combustión completa (Sebastián, 2019).

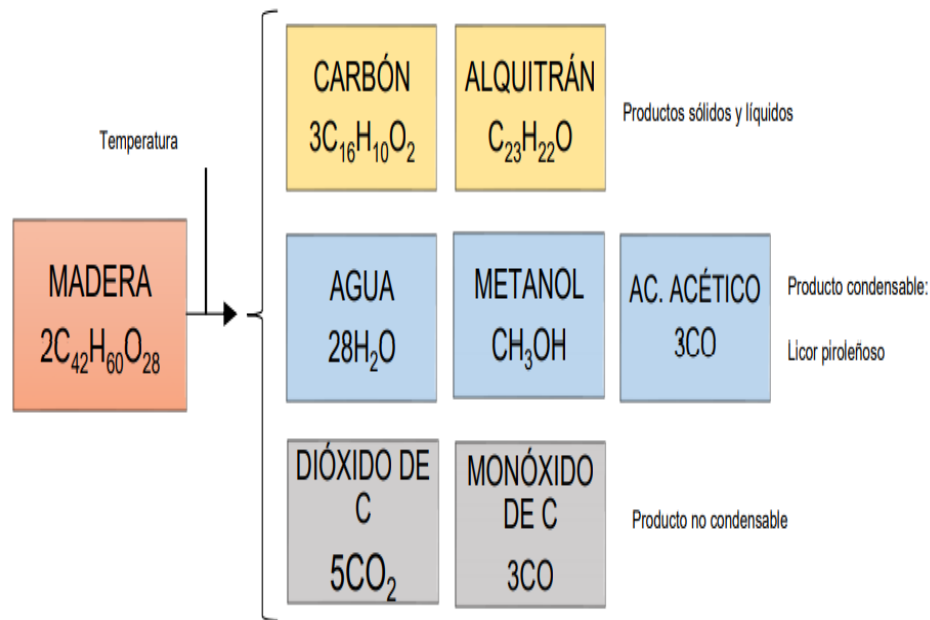


Figura 4. Productos de la reacción de carbonización – Pirólisis

Fuente Barbaran (2019)

Según Manrique & Sánchez (2020), el proceso por el cual se obtiene una mayor cantidad de carbón vegetal es a través de la pirólisis lenta y lo describe de la siguiente manera:

- Tiempo de secado de la biomasa: <7 horas expuesto al sol
- Tiempo de residencia: minutos, horas o días para la producción de carbón vegetal
- Temperatura: relativamente baja del reactor (450 – 650 °C)
- Reactor: funciona a presión atmosférica
- Velocidades de calentamiento: muy bajas, que oscilan de 0,01 – 2 °C por segundo
- Tasa de velocidad térmica: muy corta para productos de pirólisis (minutos a horas)

2.2.6.2. Propiedades del Carbón vegetal

Las propiedades del carbón vegetal se cambian, contando mecánica, caliente, eléctrica y física, tal clasificación para el carbón de gran calidad dependerá de la aplicación o el uso en el que se utiliza (Barbaran, 2019).

Tabla 6. Propiedades de carbón vegetal

| | | |
|------------------------------|-------------------------|--|
| Propiedades mecánicas | Cohesión | Alude a la actividad e impacto que tiende a atar los componentes de la materia carbonosa, y se considera una propiedad positiva o de resistencia. |
| | Friabilidad | Se refiere a la capacidad que presentan los carbones para descomponerse fácilmente por efecto de un impacto o manipulación. |
| | Fragilidad | Se refiere a la facilidad de los carbones a sufrir rupturas. Esta propiedad es lo opuesto a la cohesión, y se trata de una propiedad negativa, ya que representa las características de fractura y resistencia. |
| | Triturabilidad | Se refiere a la facilidad en la que el carbón se desmenuzara sin reducirse por completo a polvo, dicha propiedad es la combinación de la dureza, resistencia, tenacidad y modo de fractura. |
| Propiedades térmicas | Potencial calorífico | Es la propiedad más importante de las propiedades térmicas, ya que es el calor producido del carbón en una unidad de tiempo y dependerá de la cantidad de humedad, cenizas y composición de la materia orgánica. |
| | Conductibilidad térmica | Se refiere a la capacidad que presenta el carbón para conducir el calor, y su importancia radica en los hornos de coquización, ya que, si el calor aplicado se transmite más rápido, ello permitirá que el proceso tenga un mayor rendimiento. |
| | Calor específico | Se refiere a la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 g de carbón a 1 °C. |
| | Dilatación | Se refiere al aumento de volumen por efecto del incremento de temperatura. |
| | Grado de ignición | Se refiere a la facilidad con la que la muestra de carbón alcanza el punto de ignición y dependerá de las propiedades del carbón e influye en la velocidad de combustión. |

Las propiedades clave del carbón vegetal se evalúan a través de la humedad, material volátil, cenizas, carbono fijo y poder calorífico.

- **Humedad**

La humedad se divide en superficial la cual refiere a la pérdida de aire, humedad residual que es la pérdida a partir de los 106 °C y la húmeda de equilibrio que es aquella retenida a 30 °C y cierta humedad relativa (Pérez Angulo, 2020).

- **Material volátil**

Es la porción gaseosa liberada al calentar el carbón, y está compuesta por hidrocarburos y otros gases (Pérez Angulo, 2020).

- **Cenizas**

Son aquellos minerales no combustibles en el carbón vegetal, la cual depende del tipo de explotación (Pérez Angulo, 2020)

- **Carbono fijo**

Es obtenido mediante la resta de la ceniza del residuo sólido (Pérez Angulo, 2020)

- **Potencial calorífico**

Barbaran (2019), mencionan que es la propiedad más importante de las propiedades térmicas, ya que es el calor producido del carbón en una unidad de tiempo y dependerá de la cantidad de humedad, cenizas y composición de la materia orgánica. Mide la energía total liberada durante la combustión del carbón en condiciones determinadas (Pérez Angulo, 2020).

- **Calor específico**

Barbaran (2019), mencionan que refiere a la cantidad de calor necesario para elevar la temperatura de 1 g de carbón a 1 °C.

- **Grado de ignición**

Barbaran (2019), mencionan que refiere a la facilidad con la que la muestra de carbón alcanza el punto de ignición y dependerá de las propiedades del carbón e influye en la velocidad de combustión.

2.2.6.3. Pirolisis

Sebastián (2019), menciona que la pirolisis refiere a la descomposición térmica de un sólido carbonoso sin la presencia de agentes oxidantes, menos en los casos de combustión parcial para la generación de energía térmica necesaria. El proceso de pirolisis produce gases no condensables, liquido (bioaceite o alquitrán), y carbón; dichos productos resultan de la descomposición de moléculas grandes en la biomasa y de las reacciones secundarias entre gases y el carbón.

Durante la etapa de calentamiento, la temperatura aumenta causando la evaporación de la humedad y la liberación gradual de volátiles, dichos compuestos volátiles se originan de la ruptura térmica de enlaces químicos en los componentes específicos de la biomasa, como: celulosa, hemicelulosa, lignina y extractivos; cada uno con sus propias características cinéticas (Sebastián, 2019).

Tabla 7. Productos del proceso de carbonización – pirólisis

| Proceso | Liquido (bio- aceite) | Solido (carbón vegetal) | Gaseoso (syngas) |
|---|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Pirolisis rápida | | | |
| - T° moderada: 500 °C | 75% | | |
| - Corto tiempo de residencia del vapor: <2 segundos | (25% agua) | 12% | 13% |
| Pirolisis intermedia | | | |
| - T° baja a moderada | 50% | | |
| - Residencia del vapor: moderado | (50% agua) | 25% | 25% |
| Pirolisis lenta | | | |
| - T° baja a moderada | 30% | | |
| - Residencia del vapor: larga | (57% agua) | 35% | 35% |
| Gasificación | | | |
| - T° alta: >800 °C | 5% alquitrán | | |
| - Residencia del vapor: larga | (5% agua) | 10% | 85% |

Fuente: Manrique & Sánchez (2020).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Calidad de Aire – Ingeniería Ambiental, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) – Tingo María, localizada en el distrito Rupa Rupa provincia Leoncio Prado, región Huánuco.

3.1.2. Geográfica

Geográficamente la Universidad Nacional Agraria de la selva se encuentra localizada a $9^{\circ}17'08''$ latitud Sur, y $75^{\circ}59'52''$ longitud Oeste, a 660 msnm.

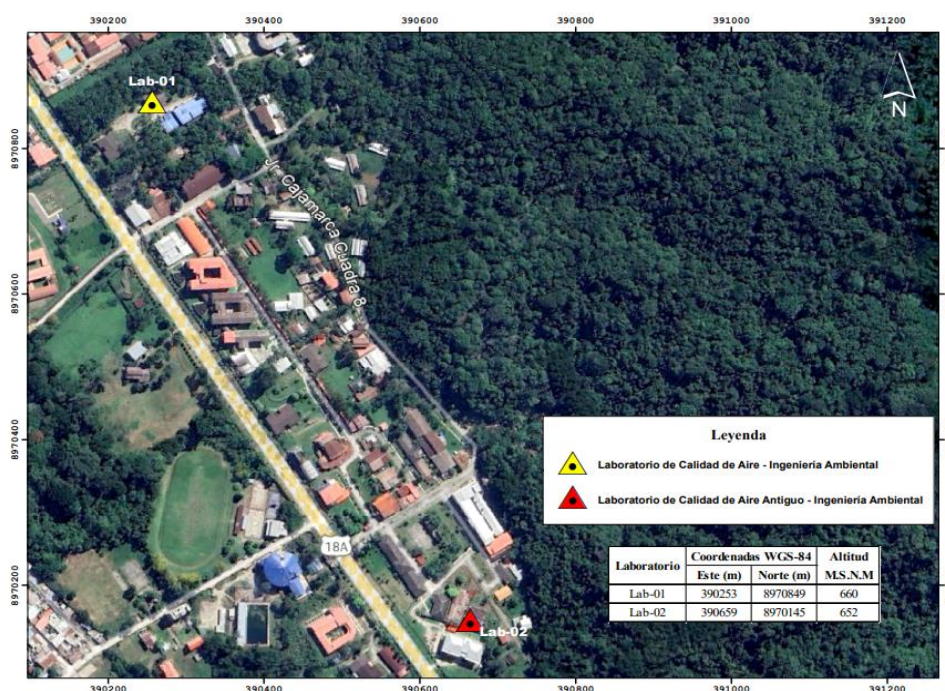


Figura 5. Ubicación geográfica del Distrito de Rupa Rupa-Tingo María.

3.1.3. Aspectos ambientales

- Clima

El clima en el que se desarrollara el trabajo de investigación es cálido húmedo lluvioso, el cual presenta alta pluviosidad con precipitación anual promedio de 3 179 mm y en épocas de invierno alcanzan los 3 860 mm. Las mayores precipitaciones se producen entre los meses de noviembre a marzo, la humedad relativa es de 85,67% y temperatura promedio de 24,31 °C.

3.1.4. Zona de vida

La ciudad de Tingo María se encuentra en la región natural correspondiente a Selva Alta, y de acuerdo con la zona de vida correspondiente a formación vegetal bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT).

3.2. Material y métodos

3.2.1. Materiales y equipos

- Materiales

Para el desarrollo de la investigación se emplearon los siguientes materiales: mazorca de cacao, almidón de papa, melaza, glicerina, agua destilada, madera o leña, sacos, bolsas herméticas, sacos de papel Kraft, fuentes de aluminio, recipientes hondos de plástico, cuchillo multiuso, varilla metálica.

- Equipos

En el desarrollo de la investigación se hizo uso de los siguientes equipos: estufa de secado al aire, balanza analítica, horno pirolítico, termómetro infrarrojo, prensa hidráulica de 2 TN, molino de cuchillas, moldes metálicos geométricos.

3.2.2. Metodología

Para llevar cabo el procedimiento de la presente investigación se tuvo en consideración cada uno de los objetivos específicos planteados en el estudio.

3.2.2.1. Caracterización fisicoquímica de las mazorcas de *Theobroma cacao*

A. Recolección de la mazorca de *Theobroma cacao*

El lugar de muestreo fue el centro de capacitación e investigación de sistemas agroforestales “Fundo: La Alborada”, en el cual se recolecto las mazorcas de cacao en sacos, se tomó en consideración las mazorcas de cacao vacías y aquellas que eran descartadas por alguna característica presente en las semillas de cacao. Las muestras fueron rotuladas con el tipo de acondicionamiento al que serían sometidos (sin acondicionamiento, briquetas, carbón vegetal), fecha de muestreo, lugar de colecta y codificación. Se recopilarán las mazorcas de cacao por tipo de acondicionamiento, para luego realizar la caracterización fisicoquímica y energética de los mismos en el laboratorio.

Tabla 8. Muestras por tipo de acondicionamiento de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Tipo de acondicionamiento | Cantidad (Kg) |
|--|---------------|
| Briquetas de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 155 |
| Carbón vegetal de la mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 250 |
| Mazorca de <i>Theobroma cacao</i> | 100 |
| Total | 505 |

B. Análisis proximal de la mazorca de *Theobroma cacao*

El análisis inmediato o proximal se realizó en 2 laboratorios de investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los cuales vienen a detallarse en el cuadro 9:

Tabla 9. Análisis inmediato o proximal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Análisis | Tipo | Método | Laboratorio |
|------------------|----------------|-----------------------------------|--|
| Humedad | En base seca | UNE-EN 14774-1 | Laboratorio Central de Investigación |
| | En base húmeda | Estufa 105° Memert Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología |
| Cenizas | En base seca | UNE-EN 14775 | Laboratorio Central de Investigación |
| | En base húmeda | Mufla 660° Therm Concept Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología |
| Material Volátil | | UNE-EN 15148 | Laboratorio Central de Investigación |
| Carbono Fijo | | Formula | Laboratorio Central de Investigación |

- Carbono fijo

El contenido de carbono fijo es una medida indirecta, la cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$CF = 100 - (\%H + \%MV + \%C)$$

Donde:

CF: contenido de carbono fijo (%)

- H: contenido de humedad (%)
- MV: contenido de material volátil (%)
- C: contenido de ceniza (%)

C. Análisis elemental de la mazorca de *Theobroma cacao*

El análisis elemental se realizó en 2 laboratorios de investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, los cuales vienen a detallarse en la Tabla 10:

Tabla 10. Análisis elemental de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Análisis | Método | Laboratorio |
|------------------|---|--|
| C | Sulfanilimide STD Flask Of P,05 y el Vanadium Pentoxide | Laboratorio de Fitoquímica Forestal |
| H | Sulfanilimide STD Flask Of P,05 y el Vanadium Pentoxide | Laboratorio de Fitoquímica Forestal |
| O | Sulfanilimide STD Flask Of P,05 y el Vanadium Pentoxide | Laboratorio de Fitoquímica Forestal |
| N | Sulfanilimide STD Flask Of P,05 y el Vanadium Pentoxide | Laboratorio de Fitoquímica Forestal |
| S | Sulfanilimide STD Flask Of P,05 y el Vanadium Pentoxide | Laboratorio de Fitoquímica Forestal |
| Materia Orgánica | Vía seca Digestión Acida - HCL | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Ca | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Mg | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Na | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| K | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Cu | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Fe | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Zn | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |
| Mn | EAA Varian Alemania | Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y ecotoxicología |

3.2.2.2. Producción de briquetas y carbón vegetal a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

A. Producción de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

Para la elaboración de las briquetas se siguió una serie de pasos los cuales serán descritos a continuación:

- Selección de muestras

Se selecciono las mazorcas de cacao que no se encontraban en proceso de descomposición, luego se procedió a cortarlos en tamaños de un centímetro, obteniendo así la biomasa de cacao.

- Triturado

Se realizó el triturado de la muestra en el molino de trituración, luego se colocó las muestras en fuentes para su pesado y se llevó a secado en estufa de aire a 60 °C, hasta obtener porcentaje de humedad constante.

- Granulometría

Se llevo al molino de cuchillas de diámetro -2 mm y se guardó las muestras en bolsas herméticas, a fin de evitar la captura de humedad de las muestras (biomasa).

- Mezcla

Para la obtención de las briquetas se realizó una metodología adaptada de la investigación de Díaz (2018), donde expresa condiciones de mezclas de biomasa y cubiertas naturales para progresar propiedades de vitalidad en briquetas.

Tabla 11. Condiciones de producción de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Proporción | | | |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------|
| Cáscara de cacao (gr) | Melaza (gr) | Almidón (gr) | Agua (ml) |
| 21 | 8 | 4 | 20 |
| 21 | 8 | 5 | 25 |
| 21 | 8 | 6 | 30 |

Luego de una evaluación visual y textual en relación con la estructura compacta de la briqueta, se determinó con mejores características las proporciones

de 21 gr de cáscara de cacao, 8 gr de melaza, 8 gr de almidón y 20 ml de agua, como se muestran en la Figura 6, y considerando dicha proporción para la elaboración de los productos finales.



Figura 6. Briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao* obtenidas

- **Elaboración de briquetas**

Se preparó el aglutinante de almidón de papa llevando a ebullición el agua, se añadió el almidón y se mezcló hasta obtener una mezcla homogénea.

En un recipiente se colocó la mazorca de cacao con granulometría de -2 mm y el almidón de papa previamente preparado; de manera manual se procedió a mezclar ambos productos durante 5 minutos.

Al cabo de 5 minutos y de obtener la mezcla homogénea de biomasa y aglutinante se añadió la melaza de a pocos, a fin de que la mezcla y la melaza se homogeneizaran correctamente.

- **Diseño de máquina briquetadora**

Para el diseño de la máquina briquetadora se tomó en cuenta el parámetro de compactación y morfología de las muestras. En el programa AutoCAD se diseñó la máquina briquetadora, la cual contaba con 10 moldes metálicos, estructura metálica y mecanismo de acción dirigida por la gata hidráulica de 2 TN.

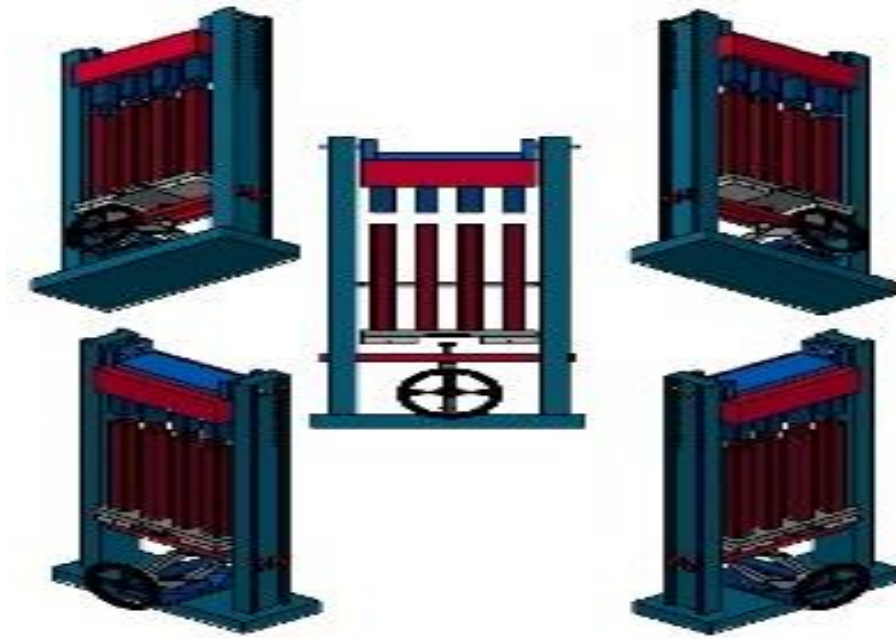


Figura 7. Diseño 3D de la maquina briquetadora

- Impresión 3D

Para la impresión 3D se usó el programa Slic3r y el equipo de impresión 3D del laboratorio de Calidad del Aire UNAS. El tiempo de impresión fue de 8 horas.

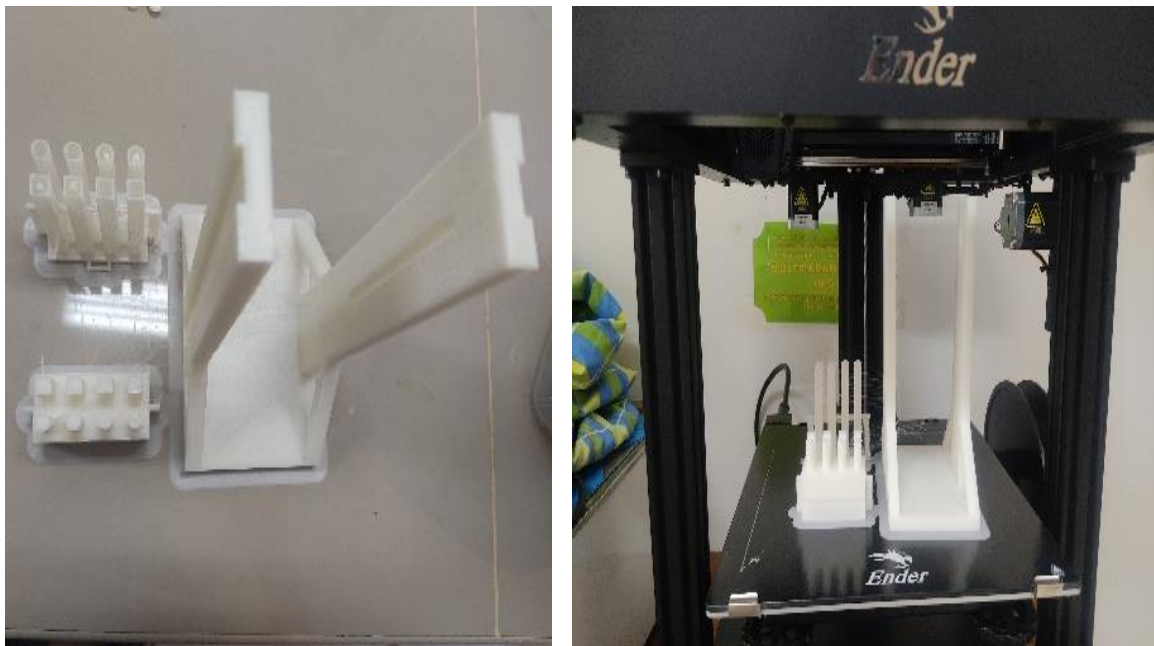


Figura 8. Impresión 3D de maquina briquetadora

- **Construcción de la maquina briquetadora**

Se procedió a la construcción de la maquina briquetadora la cual fue elaborada con estructuras metálicas y las cuales contaban con características inoxidables, tomando en cuenta el diseño previamente establecido con medidas en el programa AutoCAD.



Figura 9. Maquina briquetadora de prensado

Fuente: Elaboración propia

- **Producción de briquetas**

Se procedió a codificar y medir los moldes como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 12. Medida de moldes cuadrilaterales

| Forma | Código | Medidas (cm) | | |
|----------------------|-------------------|--------------|-------|------|
| | | Ancho | Largo | Alto |
| Rectangular Cuadrado | Br-R ₁ | 8 | 12 | 8 |
| | Br-R ₂ | 8 | 15 | 8 |
| | Br-R ₃ | 8 | 18 | 8 |
| Rectangular | Br-R ₄ | 4 | 10 | 8 |
| | Br-R ₅ | 4 | 13 | 8 |
| | Br-R ₆ | 4 | 17 | 8 |
| Cuadrado | Br-R ₇ | 8 | 8 | 8 |
| | Br-R ₈ | 8 | 8 | 8 |
| | Br-R ₉ | 8 | 8 | 8 |

Tabla 13. Medida de moldes con circunferencia

| Forma | Código | Medidas (cm) | |
|------------|--------------------|--------------|------|
| | | Diámetro | Alto |
| Cono | Br-R ₁₀ | 11 | 10 |
| | Br-R ₁₁ | 11 | 12 |
| | Br-R ₁₂ | 11 | 11 |
| Cilíndrico | Br-R ₁₃ | 8 | 14 |
| | Br-R ₁₄ | 8 | 11 |
| | Br-R ₁₅ | 8 | 15 |

A los moldes previamente codificados y medidos se le añadió glicerina líquida a fin de que la masa a añadir se desprendiera fácilmente del molde. La biomasa mezclada con los aglutinantes se colocó en moldes distintos para el prensado en la máquina briquetadora y finalmente se aplicó presión de una gata hidráulica de 2 TN durante 2 minutos,

para luego ser extraídas y colocadas en un espacio destino para el secado a la intemperie del producto.

Se realizo el secado de las muestras de manera natural durante 3 días, para luego ser pesadas, codificadas y empaquetadas en bolsas herméticas para evitar que adquieran humedad.

B. Producción de carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

Para la elaboración del carbón vegetal se siguió una serie de pasos los cuales serán descritos a continuación:

- Secado

Se selecciono las mazorcas de cacao que no se encontraban en proceso de descomposición, luego se procedió a picar la muestra en 5 cm aproximadamente y se realizó el secado de las muestras en una estufa de aire a 60 °C, hasta obtener un porcentaje de humedad que oscile entre 15% a 20%. Posteriormente se guardó las muestras en bolsas de papel Kraft o de azúcar, a fin de evitar la captura de humedad de las muestras.

- Combustión

Las muestras con humedad de 15% a 20% fueron ingresadas al recipiente de biomasa del horno pirolítico. Se cargo el horno con leña, se procedió a encender un pequeño fuego en la parte del quemador (carga de madera), hasta que alcanzo el grado de ignición y pueda arder por sí misma, luego se colocó el recipiente de muestra, para proceder a cubrir la parte superior del horno con papel aluminio.

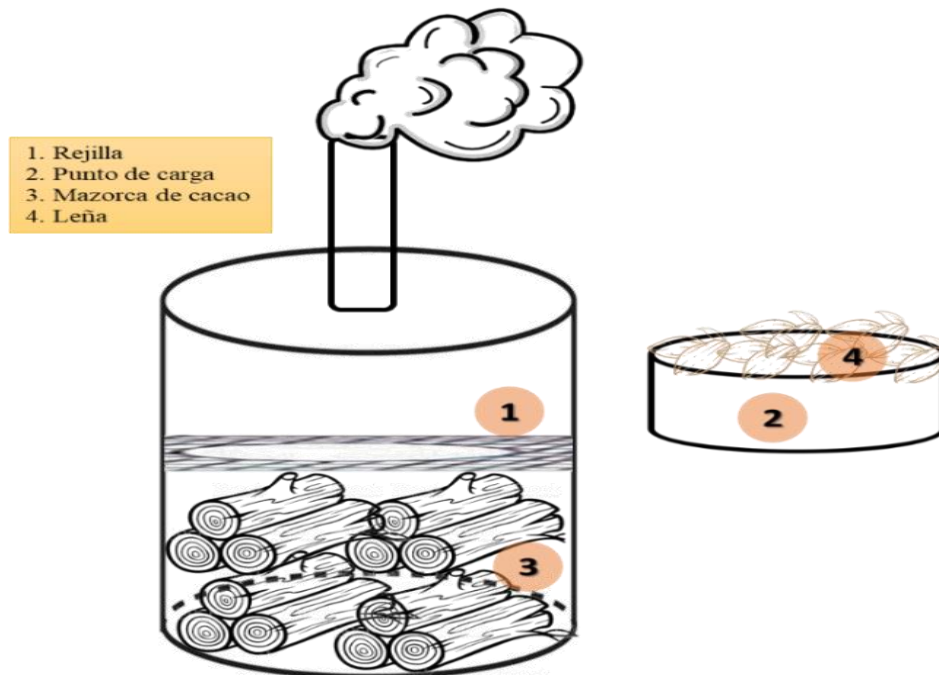


Figura 10. Horno pirolítico para la elaboración de Carbón vegetal

- Carbonización

El proceso de carbonización se realizó en base a la metodología de Manrique y Sánchez (2020), que establece una temperatura relativamente baja del reactor de 450 °C a 650 °C, asimismo, con las indicaciones de (Becerra y Sena, 2017) que mencionan un inicio de la carbonización con la emisión del agua contenido en la biomasa que se evidencia en forma de humo color blanco – amarillento, luego la culminación de la carbonización se caracteriza por la emisión de humo color azulado, por lo que, se procede a efectuar el apagado de la fuente de calor.

Las muestras pasaron el proceso de carbonización en el cual se expuso a fuego en ausencia de oxígeno y condiciones controladas (temperatura, tiempo de exposición, color de humo).

Se tomo en cuenta el color del vapor o humo, para determinar cuándo inicio la carbonización. Lo cual se vio reflejado cuando la emisión de agua contenido en las muestras se emitía en forma de humo color blanco amarillento.

Cuando el vapor o humo se tornó de color azulado represento que la conversión térmica de la biomasa inicio por lo que se interrumpió el ingreso de calor (fuego).

La temperatura se tomó en cuenta tanto en el proceso de combustión como en el proceso de carbonización, y se midió con un termómetro infrarrojo cada 15 minutos. La muestra fue expuesta por 8 horas, en la cual se procuraba cargar el quemador cuando la temperatura descendía a 450 °C. La carbonización fue prolongada y la temperatura fue elevada, ya que, según teoría, dichas condiciones garantizaban un contenido de sustancias volátiles bajo, por ende, poseería mejores propiedades.

De esta manera, las condiciones de pirólisis para la producción de carbón incluyeron una temperatura mínima de 450 °C y temperatura máxima de 632 °C que resultó en un período de tiempo de 8 horas para el proceso de carbonización, como se detalla en la Tabla 14.

Tabla 14. Condiciones de pirólisis para la producción de carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| T mínima (°C) | T máxima (°C) | Hora Inicial | Hora final | Tiempo de Producción (Hora) |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| 450 | 632 | 13:30 | 21:30 | 08:00 |
| 450 | 626 | 08:00 | 16:00 | 08:00 |
| 450 | 629 | 10:30 | 18:30 | 08:00 |

- **Enfriamiento**

Al termino de exposición, se dejó enfriar la muestra por 12 horas (enfriamiento natural) y se procedió a extraer la muestra, para ello se abrió el horno y extrajo con pinzas metálicas el recipiente donde se encuentra la biomasa, y se dejó enfriar dicho recipiente a temperatura ambiente.

Se comprobó el estado de la carbonización introduciendo una varilla al horno en la cual la biomasa presenta resistencia media, lo que significó que la biomasa se transformó en carbón.



Figura 11. Carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao* obtenido

C. Análisis proximal de la producción de briquetas y carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

El análisis inmediato o proximal se realizó en el laboratorio de investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, el cual viene a detallarse en el cuadro 18:

Tabla 15. Análisis inmediato o proximal de briquetas y carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Análisis | Método | Laboratorio |
|------------------|----------------|--------------------------------------|
| Humedad | UNE-EN 14774-1 | Laboratorio Central de Investigación |
| Cenizas | UNE-EN 14775 | Laboratorio Central de Investigación |
| Material Volátil | UNE-EN 15148 | Laboratorio Central de Investigación |
| Carbono Fijo | Formula | Laboratorio Central de Investigación |

- Carbono fijo

El contenido de carbono fijo es una medida indirecta, la cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$CF = 100 - (\%H + \%MV + \%C)$$

Donde:

- CF: contenido de carbono fijo (%)
 H: contenido de humedad (%)
 MV: contenido de material volátil (%)
 C: contenido de ceniza (%)

3.2.2.3. Determinación del rendimiento de producción de briquetas y carbón obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

Para determinar el rendimiento en producción de los productos elaborados, se tomó en cuenta los procesos a los que fueron sometidos. En el proceso de acondicionamiento, la biomasa fue expuesta según los procesos detallados en la figura 12:

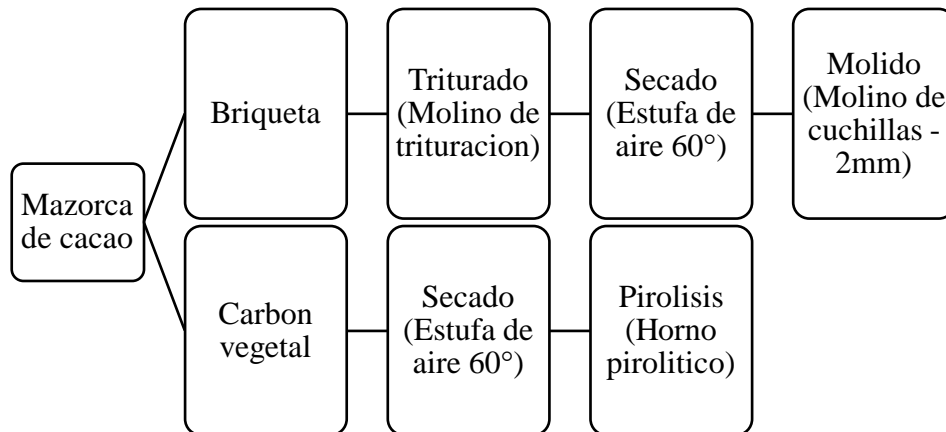


Figura 12. Proceso de acondicionamiento de las briquetas y carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

- Rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

Para determinar el rendimiento en producción de la briketa, se tomó en cuenta el peso en fresco de la mazorca de cacao como primer dato, el peso obtenido luego de ingresar al molino de trituración, el peso seco de la biomasa triturada y como último dato el peso de la muestra luego de ser ingresada al molino de cuchillas de malla -2 mm.

Luego de obtenidos los datos de las muestras, se procedió a determinar el rendimiento de la briqueta, para lo cual se estableció una fórmula que permitió conocer cuál era el rendimiento de dicha briqueta, por lo tanto, a continuación, se detalla la fórmula utilizada:

$$\%RP = \frac{PU}{PT} \times 100$$

Donde:

%RP: Rendimiento de producción (%)

PU: Peso útil (Kg)

PT: Peso Total (Kg)

El peso útil refiere a los datos obtenidos del peso de la muestra luego de ser ingresada al molino de cuchillas de malla -2 mm, y el peso total es obtenido del peso seco de la biomasa triturada.

- Rendimiento de producción del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

Para determinar el rendimiento en producción del carbón vegetal, se tomó en cuenta el peso en fresco de la mazorca de cacao como primer dato, el peso obtenido luego del secado en la estufa de aire y como último dato el peso de la muestra luego de ser sometida al proceso de pirolisis.

Luego de obtenidos los datos de las muestras, se procedió a determinar el rendimiento del carbón vegetal, para lo cual se estableció una fórmula que permitió conocer cuál era el rendimiento de dicho carbón, por lo tanto, a continuación, se detalla la fórmula utilizada:

$$\%RP = \frac{PU}{PT} \times 100$$

Donde:

%RP: Rendimiento de producción (%)

PU: Peso útil (Kg)

PT: Peso Total (Kg)

El peso útil refiere a los datos obtenidos del peso de la muestra luego de ser sometida al proceso de pirolisis, y el peso total es obtenido del peso luego del secado en la estufa de aire.

- Análisis de costos de las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

Para el análisis de costos se empleó la metodología aplicada por Delgado et al. (2020), en el cual estima los precios unitarios tomando en consideración los costos directos e indirectos para determinar el costo total. Adicional a ello se hizo la comparación comercial de las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*, agregando una utilidad de 15% al costo total para de esta manera comparar el precio de venta con el valor comercial de productos similares presentes en el mercado.

Para determinar el costo directo se tomo en cuenta los equipos, mano de obra, materiales y transporte empleados en la producción de briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*. Para los costos de alquiler de los equipos como estufa, molino de cuchillas y balanza analítica se tomo en cuenta los valores propuestos por Delgado et al. (2020) en promedio. Para establecer los salarios mínimos en la mano de obra se empleo la tabla de salarios y beneficios sociales de la Federación de trabajadores en construcción civil del Perú (2023) (Expediente N° 235-2023-MTPE). El valor del agua se tomo considerando la estructura tarifaria para industria clase no residencial de la EPS Seda Huánuco: Tingo María (Dirección de Regulación Tarifaria, 2023).

3.2.2.4. Evaluar el contenido energético de las briquetas y carbón obtenidos a partir de la mazorca de *T. cacao*

Para llevar a cabo el análisis de contenido energético del carbón vegetal y las briquetas, se realizó por medio del análisis termogravimétrico (TGA) el cual mide el cambio de peso de una sustancia en función de la temperatura y el tiempo, dicho procedimiento se concretó a través del Calorímetro Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1 600 °C de Marca SETARAM-Francia. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio Central de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.3. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada porque busca resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico(Arias et al., 2022).

3.3.1. Nivel de investigación

Respecto al nivel de investigación, el estudio se caracteriza por desarrollarse bajo un nivel explicativo el cual busca establecer la causa-efecto entre las variables que vienen siendo objeto de estudio. Existen las variables independientes (causas) y las variables dependientes (efectos). (Arias y Covinos, 2021). Por lo tanto, en el estudio se evaluó el efecto que tiene las mazorcas de cacao sobre la producción de las briquetas y el carbón vegetal, de esa forma el propósito del estudio fue producir briquetas y carbón vegetal de óptima calidad.

A. Población

La población hace referencia a un conjunto infinito o finito de sujetos con características similares o comunes entre sí (Arias y Covinos, 2021). Por lo tanto, la población de estudio estuvo conformada por las mazorcas de *Theobroma cacao* las cuales fueron utilizadas para la elaboración de las briquetas y carbón vegetal.

B. Muestra

La muestra se define como una parte representativa de la población, la cual presenta las mismas características de la población (Arias y Covinos, 2021). De esa manera la población de estudio estuvo conformada por 406 kg de mazorcas de cacao de *Theobroma cacao* frescas, las cuales fueron utilizadas para la elaboración de briquetas y carbón vegetal.

3.3.2. Variables en estudio

A. Variable dependiente

- Rendimiento
- Contenido energético

B. Variable independiente

- Briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

C. Variable interviniente

- Tipo de variante vegetal
- Tiempo de cosecha
- Tipo de manejo del cultivo

3.3.3. Diseño de investigación

El acondicionamiento del presente estudio de investigación son los presentados a continuación:

Tabla 16. Descripción de los tratamientos de estudio

| Residuo | Acondicionamiento | Repeticiones |
|------------------|-----------------------|--------------|
| Mazorca de Cacao | Sin acondicionamiento | 3 |
| Mazorca de Cacao | Briqueta | 3 |
| Mazorca de Cacao | Carbón vegetal | 3 |

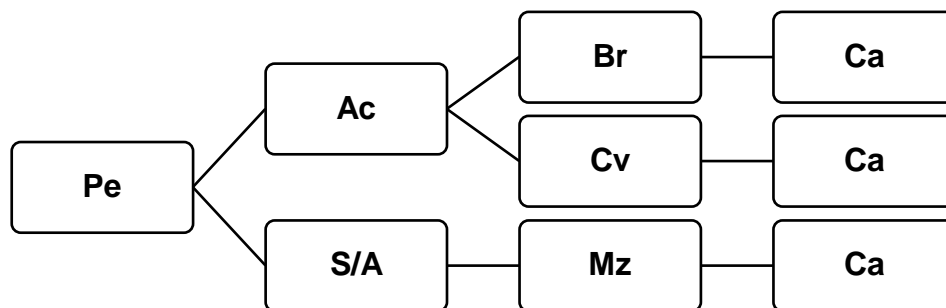


Figura 13. Diseño experimental

[Pe]: Potencial energético. [Ac]: Acondicionamiento. [S/A]: Sin acondicionamiento. [Br]: Briqueta. [Cv]: Carbón vegetal. [Ca]: Cacao. [Mz]: Mazorca

3.3.4. Análisis estadístico

El desarrollo estadístico de la presente se realizó por medio del software estadístico Minitab, en consecuencia, el análisis que se aplicó fue la Prueba (t pareadas), la cual compara las medias de dos variables de un solo grupo. El procedimiento calcula las diferencias entre los valores de las dos variables de cada caso y contrasta si la media difiere de 0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización fisicoquímica de la mazorca de *Theobroma cacao*

De acuerdo con los resultados del análisis proximal descritos en Tabla 17, se puede observar que el contenido de humedad fue de 14,66%, lo que indica su idoneidad para la combustión y presenta un menor contenido de cenizas, 6,49%. Mientras que, la cantidad de materia volátil tiene un 53,40%, lo cual, puede afectar la temperatura de ignición durante la combustión y facilita la formación de más productos líquidos y gaseosos pirolíticos, Por lo tanto, las mazorcas de cacao pueden encenderse antes y quemarse más rápido.

Tabla 17. Análisis inmediato / proximal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Parámetro | Contenido (%) | Coefficiente de variación | Desviación estándar |
|------------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| Ceniza | 6,49 | 4,69 | 0,30 |
| Carbono Fijo | 25,45 | 1,61 | 0,41 |
| Humedad | 14,66 | 1,14 | 0,17 |
| Material Volátil | 53,40 | 0,11 | 0,06 |

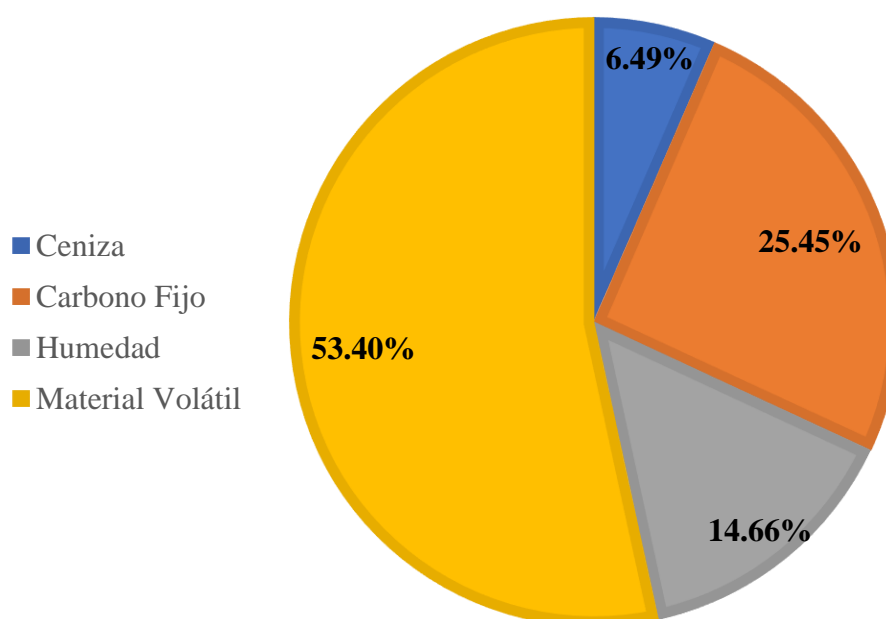


Figura 14. Análisis proximal de la mazorca de *Theobroma cacao*

En los estudios de Castillo et al. (2018), se analizó la humedad de las cascaras de cacao obteniéndose que el nivel se encontraba en un valor del 8,17%, el cual se considera un buen indicador para llevar a cabo del proceso de combustión de la materia prima; en lo que concierne a la ceniza se encontró 8,59%, valor inferior encontrado en la presente investigación, la cual reporto contenido de cenizas de 6,49% que representaría valores óptimos ya que valores mayores reducirían el poder calorífico, con respecto a la humedad en base seca se reportó de 14,66% lo cual la hace óptima para el proceso de conversión energética.

Los resultados del análisis final descritos en la Tabla 18, mostraron que los componentes principales fueron los elementos C y O con 54,3% y 37,1% respectivamente. El mayor contenido de O se debió principalmente al contenido altamente oxigenado, como celulosa, hemicelulosa, lignina y otras sustancias. Sin embargo, se encontró que los elementos H, N y S fueron más bajos, en total con 8,61%. Este menor contenido de N y trazas de S reflejó las bajas emisiones de NO_x y SO_x durante la combustión.

Tabla 18. Análisis final de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Parámetro | Contenido (%) |
|------------------|----------------------|
| Carbono | 54,30 |
| Hidrógeno | 6,20 |
| Nitrógeno | 1,70 |
| Azufre | 0,71 |
| Oxígeno | 37,1 |
| Materia orgánica | 15,59 % |
| Ca | 2,32 % |
| Mg | 0,41 % |
| Na | 0,14 % |
| K | 6,68 % |
| Cu | 56,27 ppm |
| Fe | 1004,50 ppm |
| Zn | 393,93 ppm |
| Mn | 815,98 ppm |

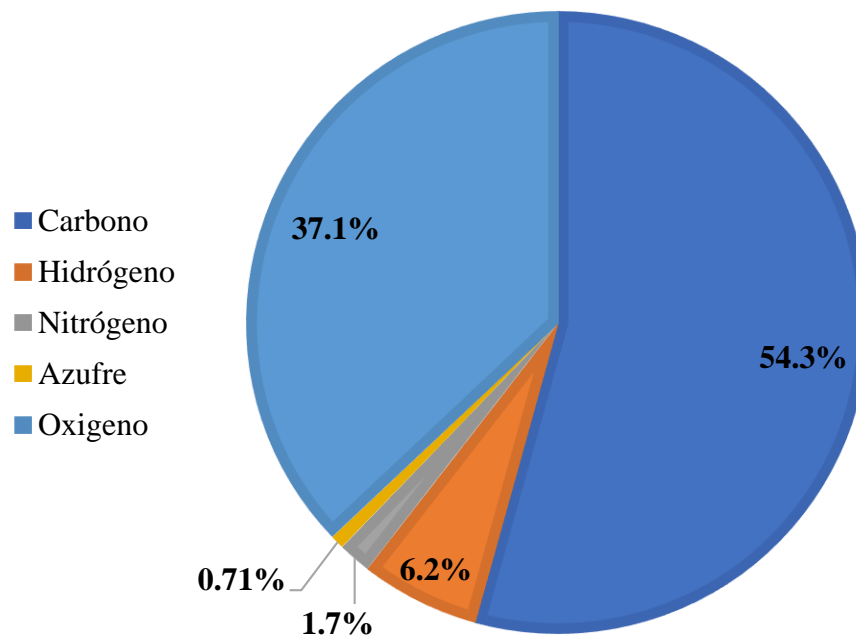


Figura 15. Análisis final de la mazorca de *Theobroma cacao*

En las investigaciones de González y Villalobos (2020) se analizó las propiedades fisicoquímicas de la cascara de cacao y se encontró que el que el carbono se encontraba en un 25,35%, el nitrógeno se encontraba en un 1,28% y el oxígeno en un 8,64%; demostrando que las muestras de cáscaras de cacao es un material potencial para la producción de carbones activados con buen rendimiento.

De acuerdo a las investigaciones de Cayo (2018) los análisis de la mazorca de cacao arrojaron que el contenido de humedad se encontraba en 85,1%; la materia volátil 66,8%, el contenido de cenizas estaba en un 8,9%, el carbón fijo 24,3% , el carbón elemental 45,3%, el hidrogeno en un 5,5% y el oxígeno en un 39,4%, con los resultados de esta investigación permite contrastar con los del presente estudio, de esa forma se observa que no existe una variación significativa en cuanto a los resultados obtenidos del estudio. Por lo tanto, se asume que las mazorcas de cacao son una buena alternativa para la producción de briquetas y carbón vegetal.

En la Figura 16, se puede observar que los parámetros de Cobre (Cu), Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Manganeso (Mn) obtuvieron valores de 56,27 ppm, 1004,50 ppm, 393,93 ppm y 815,98 ppm respectivamente.

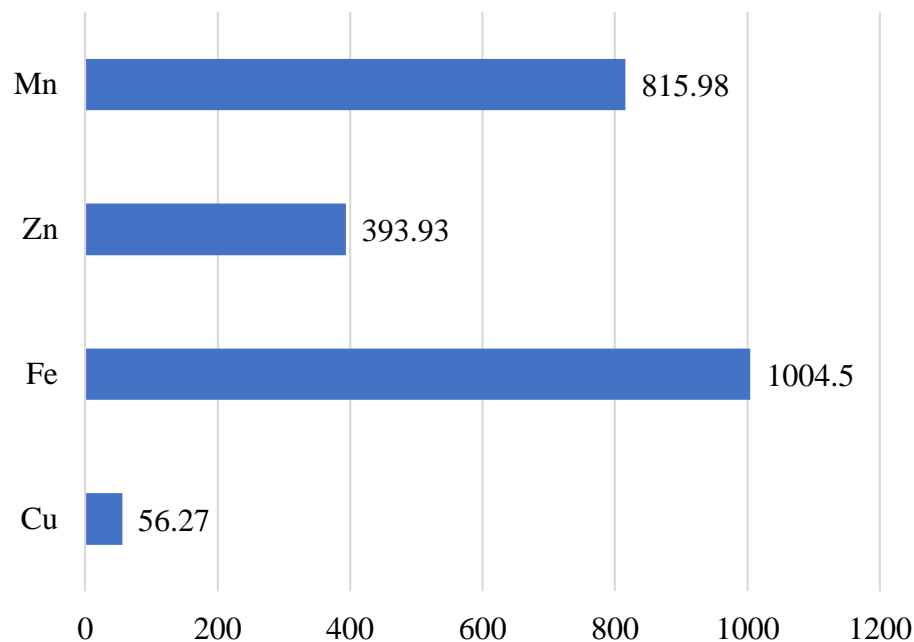


Figura 16. Análisis especial de la mazorca de *Theobroma cacao*

En los estudios de Lino (2019), se analizó el cacao y se encontró que los análisis de las muestras arrojaron que el Hierro se encontraba en 60 ppm, el Zinc en 28 ppm; el manganeso se encontró en un rango de 27 ppm, en consecuencia, se puede observar que los resultados obtenidos y los encontrados en el presente estudio existe diferencia en cuanto los parámetros analizados, con ello se demuestra que estos factores analizados conducen a que las mazorcas de cacao muestren un mejor desempeño en los procesos de elaboración de briquetas y la obtención del carbón vegetal.

Los países en desarrollo necesitan soluciones energéticas limpias y asequibles, en las que la aplicación de biomasa junto con el carbón puede desempeñar un papel fundamental para abordar los altos costos asociados con los combustibles fósiles. La biomasa puede utilizarse como fuente alternativa de energía, mezclándola con carbón para crear combustibles que emiten significativamente menos CO₂ en comparación con otros combustibles fósiles. En consecuencia, la elaboración de briquetas a partir de cascaras de cacao, mejoran la gestión ambiental debido a los bajos niveles de contaminación que estos generan en el ambiente y son elaborados a partir de residuos de diversa índole (Sanchez y Sindol, 2022).

4.2. Producción de briquetas y carbón a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

4.2.1. Producción de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

En la Tabla 19, se detalla las briquetas producidas a partir de las mazorcas de cacao, por lo tanto, se aprecia que se han elaborado diversas briquetas. Dentro de las formas de briquetas elaboradas se encuentran las de forma rectangular cuadrado, rectangular, cuadrado, cono y cilíndrico, en consecuencia, se puede apreciar que se han elaborado un total de 15 briquetas representando un peso de 663,46 kg, en lo cual se puede observar que existen diversas variaciones en cuanto a los pesos obtenidos de cada briqueta.

Tabla 19. Producción de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Forma | Medidas (cm) | | | Peso (gr) |
|----------------------|--------------|-------|-----------|-----------|
| | Ancho | Largo | Alto | |
| Rectangular Cuadrado | 8 | 12 | 8 | 39,58 |
| | 8 | 15 | 8 | 44,33 |
| | 8 | 18 | 8 | 50,42 |
| Rectangular | 4 | 10 | 8 | 28,85 |
| | 4 | 13 | 8 | 38,55 |
| | 4 | 17 | 8 | 45,60 |
| Cuadrado | 8 | 8 | 8 | 47,42 |
| | 8 | 8 | 8 | 46,26 |
| | 8 | 8 | 8 | 45,78 |
| Forma | Medidas (cm) | | Peso (gr) | |
| | Diámetro | Alto | | |
| Cono | 11 | 10 | 43,28 | |
| | 11 | 12 | 51,37 | |
| | 11 | 11 | 48,21 | |
| Cilíndrico | 8 | 14 | 45,70 | |
| | 8 | 11 | 39,88 | |
| | 8 | 15 | 48,22 | |

- **Caracterización de briquetas de mazorca de *Theobroma cacao***

Luego de la transformación de la mazorca de *Theobroma cacao* en briquetas se realizó un análisis proximal descrito en la Tabla 20, el contenido de ceniza y materia volátil aumentaron a 8,10% y 58,53% respectivamente, mientras que, el carbono fijo y humedad disminuyeron hasta 20,08% y 13,29% cada uno. En este sentido, la relación desfavorable entre un mayor contenido de cenizas y la combustión tiende a producir una combustión deficiente, un poder calorífico inferior, así como la formación de escoria.

Tabla 20. Análisis proximal de briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| Parámetro | Contenido (%) |
|------------------|---------------|
| Ceniza | 8,10 |
| Carbono Fijo | 20,08 |
| Humedad | 13,29 |
| Material Volátil | 58,53 |

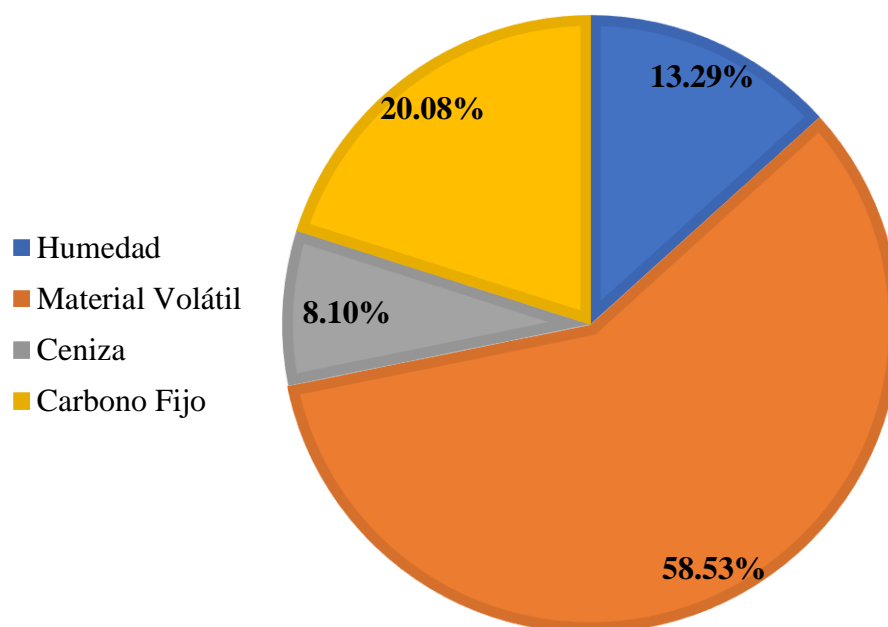


Figura 17. Análisis proximal de briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

En las investigaciones de Pérez y Torpoco (2022), que se caracterizó por elaborar briquetas a base de residuos de café, se encontró que la humedad de las briquetas fue 13,48%, las cenizas se encontraron en 0,20% , en lo que concierne al material volátil este arroja un 81,39%, el carbono fijo 4,94%, en lo referente a la densidad de las briquetas este se encontró

a un rango de $0,94 \text{ g/cm}^3$, por lo tanto se asume que los parámetros analizados en comparación con los resultados obtenidos no difieren de manera significativa, de esta manera se afirma que las briquetas obtenidas ofrecen un buen rendimiento y cumplirán con las especificaciones para ser considerada como una briqueta.

4.2.2. Producción de carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao*

En la Tabla 21, se detalla la producción de carbón vegetal a partir de mazorcas de cacao, por lo tanto, se aprecia que la cantidad de carbón vegetal producido en la primera repetición fue de 2,48 kg de carbón, en la segunda repetición del carbón vegetal fue de 2,60 kg, en la tercera repetición del carbón vegetal fue de 2,88 kg.

Tabla 21. Producción de carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Peso Fresco | Peso Seco (kg) | Carbón (kg) |
|-------------|----------------|-------------|
| 79 | 8,1 | 2,48 |
| 81 | 8,4 | 2,60 |
| 91 | 9,3 | 2,88 |

Por otro lado, luego de la transformación de la mazorca de *Theobroma cacao* en carbón se realizó un análisis proximal como se detalla en la Tabla 22 y Figura 18, el contenido de ceniza y carbono aumentaron a 15,80% y 57,68% respectivamente, mientras que, la humedad y material volátil disminuyeron hasta 13,25% y 13,26% cada uno. En este sentido, el contenido de cenizas, humedad y material volátil son menores y superior contenido de carbono en comparación con las briquetas.

- Caracterización de carbón

Tabla 22. Análisis proximal de carbón de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Parámetro | Contenido (%) | Coefficiente de variación | Desviación estándar |
|------------------|---------------|---------------------------|---------------------|
| Ceniza | 15,80 | 0,53 | 0,0839 |
| Carbono Fijo | 57,68 | 0,16 | 0,0899 |
| Humedad | 13,25 | 0,03 | 0,00416 |
| Material Volátil | 13,26 | 0,06 | 0,00839 |

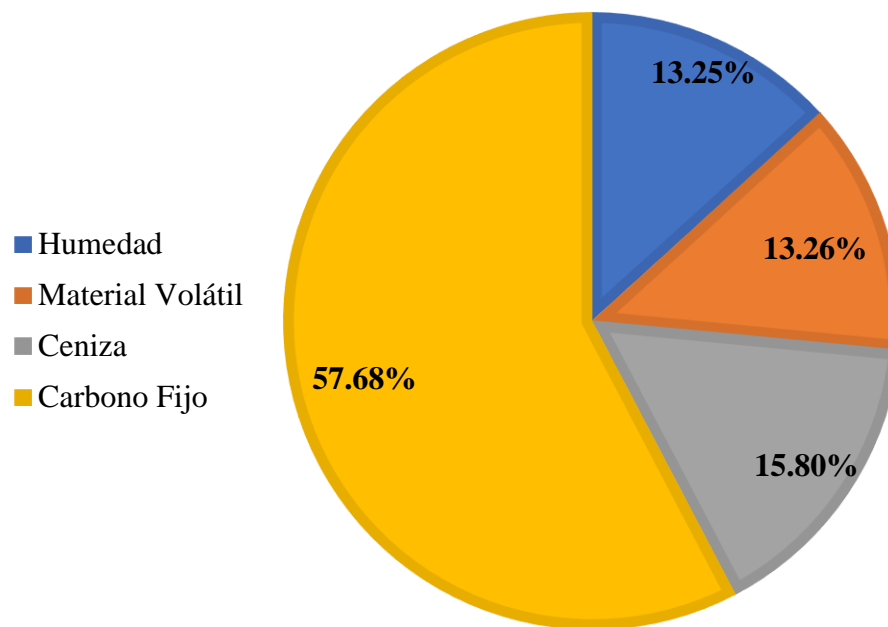


Figura 18. Análisis proximal del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

Según los aportes de Tsai et al. (2018) el poder calorífico del carbón vegetal proveniente de las cascavas de cacao, arroja una tendencia creciente con la temperatura de pirólisis, pero hubo un cambio ligeramente decreciente en el tiempo de residencia más largo bajo la temperatura de pirólisis fija (es decir, 370 °C). El producto de carbón vegetal óptimo tenía características termoquímicas con alto contenido de carbono (>60% en peso) y valor calorífico (>25 MJ/kg, base seca), en consecuencia, se afirma que los resultados obtenidos en la presente investigación influyen de manera positiva en el poder calorífico del carbón vegetal obtenido de la mazorca de *Theobroma cacao*.

La briqueta es una fuente de energía que se puede producir a partir de fuentes domésticas, agrícolas e industriales. Por lo tanto, existe la necesidad de producir briquetas carbonizadas a bajo costo y en abundancia para aumentar su potencial para reemplazar la leña, el carbón vegetal y los combustibles fósiles como combustible doméstico para cocinar y calentar. Las briquetas de biomasa no aumentan la huella de carbono y son muy ventajosas sobre otros combustibles para cocinar como la madera en términos de cantidad de calor generado por unidad de masa, contenido de humedad y espacio de almacenamiento, la utilización adecuada de briquetas ayudaría a reducir los impactos del cambio climático, a través de la reducción de la dependencia excesiva de la madera para la calefacción doméstica y comercial (Akolgo et al., 2021).

4.3. Determinación del rendimiento de producción de briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*

- Carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

En la Tabla 23, se detalla el rendimiento de producción del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao* en las 3 repeticiones realizadas, se aprecia que el rendimiento mayor se presentó en la tercera repetición, reportando 30,90% y menor rendimiento de producción en la primera repetición con 30,74%.

Tabla 23. Rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao*

| Peso Fresco (kg) | Peso Seco (kg) | Carbón (kg) | Rendimiento de producción (%) |
|------------------|----------------|-------------|-------------------------------|
| 79 | 8,06 | 2,48 | 30,74 |
| 81 | 8,43 | 2,60 | 30,81 |
| 91 | 9,33 | 2,88 | 30,90 |

De acuerdo con la investigación de Sinchire Pogo & Topa Jaya (2020), el rendimiento esperado en la producción de carbón vegetal con un horno pirolítico debe de estar inmerso dentro del rango de 30% a 35%, ante ello en su investigación llego a producir carbón vegetal de eucalipto teniendo como rendimiento de producción en el horno pirolítico de 32,18%, encontrándose así dentro del rango estipulado; por lo tanto se afirma que el rendimiento de producción obtenido en la presente investigación se encontró dentro del rango ya que se obtuvo un rendimiento de 30,82%, en la producción carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao* en horno pirolítico.

Según Ludeña et al. (2020), el rendimiento de producción comercial esperado en bibliografía para procesos de carbonización debe de superar el 30%, ante ello en su investigación elaboro carbón vegetal de leña con mezclas de especies nativas obteniendo rendimiento de producción comercial de 32,56%; en consecuencia, se afirma que la presente investigación reporta rendimiento de producción de carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao* con 30,82%, cumpliendo así con el rendimiento esperado y obteniéndose un rendimiento mayor al propuesto.

En la Tabla 24, se observa las estadísticas descriptivas del rendimiento del carbón y el rendimiento de producción del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*, teniendo como resultado que la media del carbón vegetal fue de 2,65 kg, mientras que la media del rendimiento del carbón vegetal fue de 30,82%.

Tabla 24. Estadísticas descriptivas del rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao*

| Muestra | N | Media (%) | Desviación estándar | Error estándar de la media |
|---------------------------|---|-----------|---------------------|----------------------------|
| Carbón vegetal | 3 | 2,65 | 0,205 | 0,119 |
| Rendimiento de producción | 3 | 30,82 | 0,080 | 0,046 |

Tabla 25. Prueba de hipótesis del rendimiento de producción del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao*

| | |
|--------------------------|--|
| Hipótesis nula | Ho: diferencia $\mu = 0$ |
| Hipótesis alterna | H ₁ : diferencia $\mu \neq 0$ |
| Valor T | Valor p |
| -385,24 | 0,000 |

En la tabla 24 y tabla 25 se aprecia que el valor p ($\leq 0,05$) con un resultado de valor (p 0,00), asumiendo que las mazorcas de cacao han influido de manera significativa en el rendimiento total del carbón vegetal, es decir que en la presente investigación se obtuvo un rendimiento de producción óptimo lo cual representaría la viabilidad de elaboración de carbón vegetal a base de la mazorca de *Theobroma cacao*.

Se realizó el análisis de costo para respaldar la viabilidad de producción de carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* tomando como base la producción de 25 Kg, para cual se obtuvo el costo de producción con respecto a los equipos de S/. 7,81, mano de obra de S/. 185,88, materiales de S/. 45,00 y transporte de S/. 30,00.

Tabla 26. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* - Equipos

| Descripción | Unidad de producción (kg) | Jornada (hora) | Costo hora (S/.h) | Costo (S/.) |
|-----------------------|---------------------------|----------------|-------------------|-------------|
| Estufa de aire | 25 | 5 | 1,56 | 7,80 |
| Balanza analítica | 25 | 1 | 0,00 | 0,00 |
| Termómetro infrarrojo | 25 | 2 | 0,00 | 0,01 |
| Subtotal | | | | 7,81 |

Tabla 27. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* – Mano de obra

| Descripción | Producción (hora) | Jornada (soles/hora) | Costo de producción (soles) | Costo (S/.) |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|--|------------------------|
| Laboratorista | 10 | 10,59 | 105,88 | 105,88 |
| Subtotal | | | | 105,88 |

Tabla 28. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* - Materiales

| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario (S/.) | Costo (S/.) |
|--------------------|---------------|-----------------|------------------------------|--------------------|
| Leña | und | 75 | 0,60 | 45,00 |
| Subtotal | | | | 45,00 |

Tabla 29. Análisis de costo del carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* - Transporte

| Descripción | Pasaje (S/.) | Cargo extra por carga (S/.) | Precio unitario (S/.) | Cantidad (und) | Costo (S/.) |
|--------------------|---------------------|--|----------------------------------|---------------------------|------------------------|
| Traslado | 6 | 9,00 | 15,00 | 2,00 | 30,00 |
| Subtotal | | | | | 30,00 |

El precio de venta es de S/. 28,64 por 3 kg de carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* en comparación con la oferta promedio del mercado de productos certificados como carbón vegetal, que es contemplado en S/. 25,50, se observa que el costo de producción de carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao* es mayor, presentando así una diferencia de S/. 3,14.

Tabla 30. Análisis de venta en la producción de carbón vegetal de mazorca de *Theobroma cacao*

| Descripción | Monto (S/.) |
|------------------------------------|--------------------|
| Costo directo | 188,69 |
| Costo indirecto (10%) | 18,87 |
| Costo total | 207,55 |
| Costo total unitario | 8,30 |
| Precio de 1 Kg de carbón | 8,30 |
| Utilidad | 15% |
| Precio de venta | 9,55 |
| Precio de venta por 3 kg | 28,64 |
| Precio de venta comercial por 3 Kg | 25,50 |

- Briqueta

En la Tabla 31, se detalla el rendimiento de producción las briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao* en las 3 repeticiones realizadas, se aprecia que el mayor rendimiento se presentó en la segunda repetición, reportando 89,92% y menor rendimiento de producción en la tercera repetición con 89,63%.

Tabla 31. Rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| Peso Fresco (Kg) | Triturado (Kg) | Peso Seco (Kg) | Peso Malla -2 mm (Kg) | Rendimiento de producción (%) |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|
| 51 | 45,95 | 5,83 | 5,24 | 89,90 |
| 45 | 40,40 | 5,13 | 4,61 | 89,92 |
| 59 | 53,09 | 6,74 | 6,04 | 89,63 |

Según los estudios de Hidalgo Figueroa (2020), analizo el porcentaje de aprovechamiento de biomasa, en el cual recomienda el aprovechamiento mayor al 80% de la biomasa empleada, ya que con ello se garantizaría ahorro en costos, según sus resultados obtuvo reducción de costos del 58,35% lo cual le represento S/. 15 460,51; por ende, se afirma que mientras mayor sea el porcentaje de biomasa aprovechada, mayor será la reducción de costos de producción de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*, comparado con la presente

investigación se tiene un rendimiento de producción de 89,82%, lo cual representa la viabilidad de producción de las briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*.

En la Tabla 32, se observa las estadísticas descriptivas del rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*, teniendo como resultado que la media de las briquetas fue de 5,30 kg, mientras que la media del rendimiento de producción de las briquetas fue de 89,82%.

Tabla 32. Estadísticas descriptivas del rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| Muestra | N | Media(%) | Desviación estándar | Error estándar de la media |
|---------------------------|---|----------|---------------------|----------------------------|
| Briquetas | 3 | 5,30 | 0,717 | 0,414 |
| Rendimiento de producción | 3 | 89,82 | 0,162 | 0,094 |

Tabla 33. Prueba de hipótesis del rendimiento de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| Hipótesis nula | Ho: diferencia $\mu = 0$ |
| Hipótesis alterna | H1: diferencia $\mu \neq 0$ |
| Valor T | Valor p |
| -168.56 | 0,000 |

En la tabla 32 y tabla 33 se aprecia que el valor p ($\leq 0,05$) con un resultado de valor (p 0,00), asumiendo que las mazorcas de cacao han influido de manera significativa en el rendimiento de producción de las briquetas, es decir que en la presente investigación se obtuvo un rendimiento de producción óptimo lo cual representaría la viabilidad de elaboración de briquetas a base de la mazorca de *Theobroma cacao*.

Se realizó el análisis de costo para respaldar la viabilidad de producción de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*, para lo cual se tomó como base 10,50 kg de mazorca de *Theobroma cacao*, la cual produce 599 briquetas. En la tabla 34 se observa que el costo de producción con respecto a los equipos es de S/. 38,05, mano de obra de S/. 126,44, materiales de S/. 35.04 y transporte de S/. 30.

Tabla 34. Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de *Theobroma cacao* - Equipos

| Descripción | Unidad (und) | Jornada (hora) | Costo alquiler (S/.h) | Costo total (S/.) |
|--------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Estufa de aire | 599 | 24 | 1,56 | 37,44 |
| Balanza analítica | 599 | 4 | 0,00 | 0,01 |
| Molino de trituration | 599 | 4 | 0,07 | 0,30 |
| Molino de cuchillas | 599 | 4 | 0,07 | 0,30 |
| Subtotal | | | | 38,05 |

Tabla 35. Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de *Theobroma cacao* – Mano de obra

| Descripción | Producción (hora) | Jornada (soles/hora) | Costo de producción (soles) | Costo (S/.) |
|--------------------|------------------------------|---------------------------------|--|------------------------|
| Laboratorista | 7 | 10,59 | 74,11 | 74,11 |
| Peón | 7 | 7,48 | 52,33 | 52,33 |
| Subtotal | | | | 126,44 |

Tabla 36. Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de *Theobroma cacao* - Materiales

| Descripción | Unidad | Cantidad | Precio unitario (S/.) | Costo (S/.) |
|------------------------|----------------|-----------------|------------------------------|--------------------|
| Almidón de papa (2 Kg) | kg | 2 | 8,00 | 16,00 |
| Melaza (4 Kg) | kg | 4 | 3,00 | 12,00 |
| Agua (10 L) | m ³ | 0,01 | 4,23 | 0,04 |
| Glicerina (120 ml) | ml | 1 | 7,00 | 7,00 |
| Subtotal | | | | 35,04 |

Tabla 37. Análisis de costos de las briquetas de mazorca de cacao de *Theobroma cacao* - Transporte

| Descripción | Pasaje (S/.) | Cargo extra por carga (S/.) | Precio unitario (S/.) | Cantidad (und) | Costo (S/.) |
|--------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|
| Traslado | 6 | 9 | 15 | 2 | 30,00 |
| Subtotal | | | | | 30,00 |

El precio de venta es de S/. 10,96 comparado con el precio comercial propuesto por Delgado et al. (2020) que es contemplado en S/. 12,82, se observa que el costo de producción de briquetas de mazorca de *Theobroma cacao* es menor, representando así la viabilidad de producción y venta de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*.

Tabla 38. Análisis de venta en la producción de briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| Descripción | Monto (S/.) |
|-----------------------------|--------------------|
| Total costo directo | 229,53 |
| Costo indirecto (10%) | 22,95 |
| Costo total | 252,48 |
| Costo total unitario | 0,42 |
| Precio de 1 Kg de briqueeta | 9,53 |
| Utilidad | 15% |
| Precio de venta | 10,96 |
| Precio de venta comercial | 12,82 |

El carbón vegetal, un combustible denso en energía, tiene una ventaja sobre el uso de biomasa cruda. De esta forma, se reduce la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El progreso en materia de cambio climático y crecimiento económico se puede lograr mediante una economía baja en carbono. El carbón vegetal es un actor vital en el mercado mundial del carbono que ofrece ventajas significativas sobre los combustibles de biomasa cruda. Tiene una tecnología de producción limpia y sencilla porque el proceso de procesos termoquímicos (carbonización o pirólisis lenta) reduce las emisiones de partículas. Por lo tanto, reduce el riesgo de desarrollar peligros para la salud y el medio ambiente. Por lo tanto, para convertir cualquier biomasa de forma sistemática, es esencial comprender el comportamiento fisicoquímico de la biomasa para obtener un mejor carbón vegetal y diseñar y optimizar el equipo de conversión (Kabir et al., 2022).

4.4. Evaluar el contenido energético de las briquetas y carbón obtenidos a partir de la mazorca de *T. cacao* (Cacao).

Para evaluar el contenido energético de las briquetas y el carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao*, se tomó en cuenta los resultados del poder calorífico de las mazorcas de cacao, las briquetas y el carbón vegetal.

Tabla 39. Contenido energético de las mazorcas de cacao, briquetas y carbón vegetal

| Mazorca cacao (J/g) | Briqueta (J/g) | Carbón vegetal (J/g) |
|---------------------|----------------|----------------------|
| 7 843,80 | 8 638,21 | 16 399,70 |
| 7 840,52 | 8 406,23 | 16 699,07 |
| 7 844,02 | 8 440,60 | 16 198,77 |

En los estudios de investigación de Benites y Diaz (2019), se usó 47% de aglutinantes (melaza y cascara de papa) para la elaboración de briquetas de cascarilla de cacao, en el cual se reportó poder calorífico de 41 461,73 J/g; la cual en comparación con la presente investigación presenta valores mucho menores, ya que reporto poder calorífico de 8 495,01 J/g y en comparación con el poder calorífico reportado de la mazorca de *Theobroma cacao* que fue de 7 842,78 J/g ante ello podemos asumir que los aglutinantes empleados aportaron en una proporción menor al aumento del poder calorífico siendo estos no representativos para superar el 10% comparado con la mazorca de cacao.

Según Cabrera & Villacís (2022), elaboro briquetas de cacao empleando como aglutinante la resina sintética epoxi la cual reporto poder calorífico de 11 046 J/g, dicho poder calorífico es mayor al obtenido a comparación de la presente investigación, la cual reporto poder calorífico de 7 842,78 J/g y que representa una diferencia no significativa con el poder calorífico de 7 842,78 J/g reportado por la mazorca de *Theobroma cacao*, lo cual representa una diferencia no significativa, afirmando así que el poder calorífico de la briketa no supero el 10% comparado con la mazorca de cacao.

En la investigación de Polo (2019), en la cual se elaboraron briquetas de carbón vegetal de diversos residuos agrícolas, entre ellos el cacao, que reporto poder calorífico de 16 650 J/g presentando así potencial para el aprovechamiento como biocombustible de alto poder calorífico; por lo que se afirma que el poder calorífico obtenido en la presente investigación, la cual fue de 16 433,51 J/g, es apta para el aprovechamiento como biocombustible, a la vez que

supera el 10% en comparación con el poder calorífico reportado de la mazorca de *Theobroma cacao* que fue de 7 842,78 J/g.

En la tabla 40, se observa las estadísticas descriptivas de las mazorcas de cacao y las briquetas, teniendo como resultado que la media de las mazorcas de cacao es de 7 842,78 J/g mientras que la media de las briquetas es de 8 495,01 J/g.

Tabla 40. Estadísticas descriptivas del contenido energético de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| Muestra | N | Media (J/g) | Desviación estándar | Error estándar de la media |
|---------------|---|-------------|---------------------|----------------------------|
| Mazorca cacao | 3 | 7 843,78 | 2,0 | 1,1 |
| Briqueta | 3 | 8 495,01 | 125,8 | 72,6 |

A partir de la Tabla 41, se aprecia que el valor p ($\geq 0,05$) con un resultado de valor (p 0,012), asumiendo que las mazorcas de cacao no han influido de manera significativa en el contenido energético de las briquetas de cacao, es decir que en la presente investigación se obtuvo contenido energético bajo lo cual representaría una diferencia no significativa con la mazorca de *Theobroma cacao*.

Tabla 41. Prueba de hipótesis del contenido energético de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Hipótesis nula | H ₀ : diferencia_μ = 0 |
| Hipótesis alterna | H ₁ : diferencia_μ ≠ 0 |
| Valor T | Valor p |
| -9,07 | 0,012 |

En la Tabla 42, se observa las estadísticas descriptivas de las mazorcas de cacao y el carbón vegetal, teniendo como resultado que la media de las mazorcas de cacao es de 7 843,78, mientras que la media del carbón vegetal fue de 16 432,51.

Tabla 42. Estadísticas descriptivas del contenido energético del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Muestra | N | Media | Desviación estándar | Error estándar de la media |
|----------------|----------|--------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Mazorca cacao | 3 | 7 843,78 | 2 | 1 |
| Carbón vegetal | 3 | 16 433,51 | 252 | 145 |

A partir de la Tabla 43, se aprecia que el valor p ($\leq 0,05$) con un resultado de valor (p 0,00), asumiendo que las mazorcas de cacao han influido de manera significativa en el contenido energético del carbón vegetal del cacao, es decir que en la presente investigación se obtuvo contenido energético óptimo lo cual representaría la viabilidad de elaboración de carbón vegetal a base de la mazorca de *Theobroma cacao*.

Tabla 43. Prueba de hipótesis del contenido energético de las briquetas de mazorca de *Theobroma cacao*

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Hipótesis nula | H ₀ : diferencia_μ = 0 |
| Hipótesis alterna | H ₁ : diferencia_μ ≠ 0 |
| Valor T | Valor p |
| -58,67 | 0,000 |

Por lo tanto, el uso de briquetas a base de residuos puede apoyar la reducción de los impactos ambientales, la degradación forestal y la deforestación, ofreciendo una nueva fuente de energía. En definitiva, la producción de combustibles sólidos recuperados, como briquetas a partir de residuos, es una de las formas de sustituir el uso de leña y combustibles fósiles. Además, el proceso de briquetas puede respaldar los sistemas de gestión de residuos, con énfasis en los países en desarrollo donde se deben introducir opciones de baja tecnología, en consecuencia el poder calorífico de las briquetas mejora las condiciones de cocción y el calor suministrado, de igual manera el carbón vegetal representa una buena alternativa para su aplicación mejorando la gestión ambiental y mejor las condiciones ambientales en el planeta (Ferronato et al., 2022).

La técnica de termogravimetría (TGA) se utilizó para estudiar el comportamiento de la combustión, donde las curvas revelaron cambios en la pérdida de peso con el aumento de la temperatura. Al analizar la temperatura de inicio, según la Tabla 44, la zona I, está entre 42,24

°C y 43,06 °C. Respecto a las briquetas Br₁, Br₂ y Br₃, la temperatura inicial de la desvolatilización es menor en comparación con las otras zonas de respuesta. En la zona II la temperatura inicial cambia entre 208,08 °C y 209,23 °C aceptando las briquetas Br₂ y Br₃ individualmente. En la zona III la temperatura inicial cambia entre 359,61 °C y 360,27 °C coincidiendo con las briquetas Br₁ y Br₂ individualmente.

Por otro lado, según la máxima velocidad de pérdida de peso (DTG_{max}) para la zona I, en la Tabla 44, la briketa Br₁ parece tener una DTG_{max} más baja que las otras briquetas. Esto implica que el DTG_{max} para la localización de respuesta I disminuye con la temperatura en el proceso de desvolatilización. Para la zona II y zona III, se observa que la DTG_{max} presentó valores superiores de 280,52 °C en briketa Br₁ y 383,87 °C en briketa Br₃.

En cuanto a la pérdida de peso total (PM), la comparación de este parámetro en la zona I para las briquetas a base de mazorcas de cacao de acuerdo con la Tabla 44, se encontró que la briketa Br₁ con 3,21% pierde más masa que la briketa Br₃ con 3,38%. Para la zona II y zona III, se observa que la pérdida de peso total presentó valores superiores de 13,31% en briketa Br₂ y 3,26% en briketa Br₃.

Tabla 44. Termogravimetría TGA y DTG de la briketa de mazorca de *Theobroma cacao*

| Zona Detectada | Repetición | Rango de Temperatura | | Tp° máxima Degradación (°C) | Velocidad de pérdida (%/min) | Δm (%) |
|----------------|-----------------|----------------------|---------|-----------------------------|------------------------------|--------|
| | | Ti (°C) | Tf (°C) | | | |
| Zona 1 | Br ₁ | 42,24 | 161,09 | 110,94 | 3,21 | 10,73 |
| | Br ₂ | 42,40 | 162,66 | 110,40 | 3,21 | 10,36 |
| | Br ₃ | 43,06 | 162,71 | 110,01 | 3,38 | 11,15 |
| Zona 2 | Br ₁ | 208,75 | 359,61 | 280,52 | 13,28 | 44,08 |
| | Br ₂ | 208,08 | 360,27 | 280,41 | 13,31 | 44,88 |
| | Br ₃ | 209,23 | 359,77 | 280,27 | 13,14 | 44,40 |
| Zona 3 | Br ₁ | 359,61 | 701,43 | 383,66 | 3,46 | 32,36 |
| | Br ₂ | 360,27 | 702,35 | 382,61 | 3,25 | 32,58 |
| | Br ₃ | 359,77 | 702,00 | 383,87 | 3,26 | 32,62 |

Los resultados Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) según la Tabla 45, reportaron un tipo de reacción endotérmica que absorbe energía en forma calor con temperatura

máxima inicial de 41,96 °C en briqueta Br₁ y una temperatura máxima final de 162,48 °C en briqueta Br₁ dentro de la transición I. Mientras que, en la transición II, se obtuvo un tipo de reacción exotérmica que desprende energía en forma de calor con una temperatura máxima inicial de 209,20 °C y una temperatura máxima final de 714,78 °C en briqueta Br₂ cada uno.

Tabla 45. Calorimetría Diferencial de Barrido de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Transición | Repetición | Tipo de reacción | To (°C) | Tp (°C) | Tf (°C) | ΔH (J/g) |
|------------|-----------------|------------------|---------|---------|---------|-----------|
| 1 | Br ₁ | Endotérmica | 41,79 | 114,078 | 162,48 | 187,19 |
| | Br ₂ | Endotérmica | 41,96 | 114,81 | 162,12 | 188,24 |
| | Br ₃ | Endotérmica | 41,51 | 114,41 | 161,74 | 188,97 |
| 2 | Br ₁ | Exotérmica | 208,12 | 643,87 | 713,99 | -8 825,40 |
| | Br ₂ | Exotérmica | 209,20 | 649,68 | 714,78 | -8 594,47 |
| | Br ₃ | Exotérmica | 208,87 | 644,67 | 713,48 | -8 629,57 |

En las Figuras 19, 20 y 21, se observa que todas las briquetas tienen tendencias similares en las curvas TGA, DTG y DSC, en el que se reconoce el deterioro de las pruebas en etapas completamente diferentes y la disposición de tres crestas fundamentales.

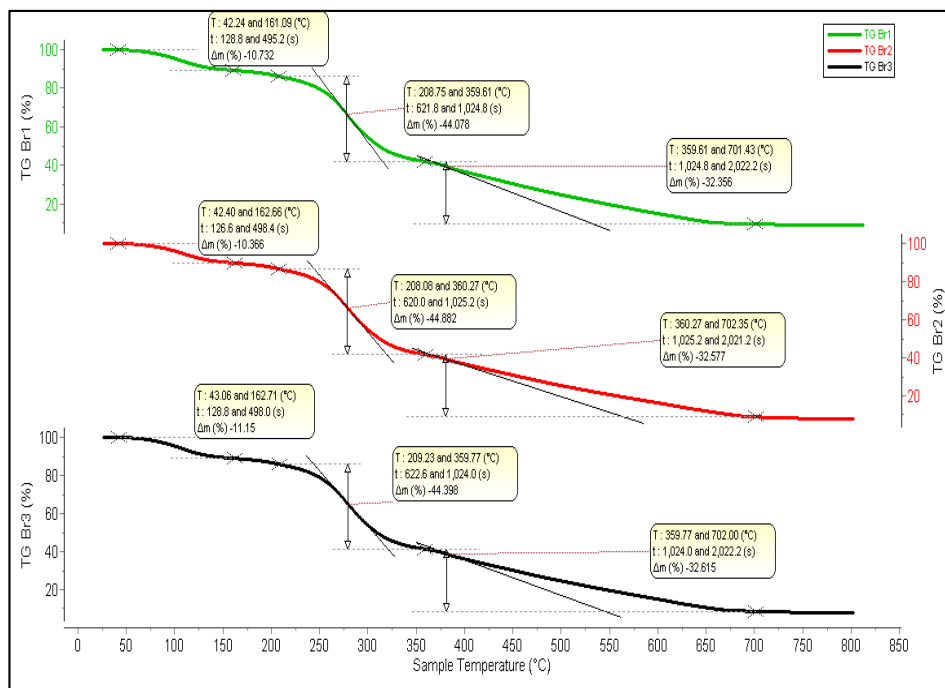


Figura 19. Termogramas TGA de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

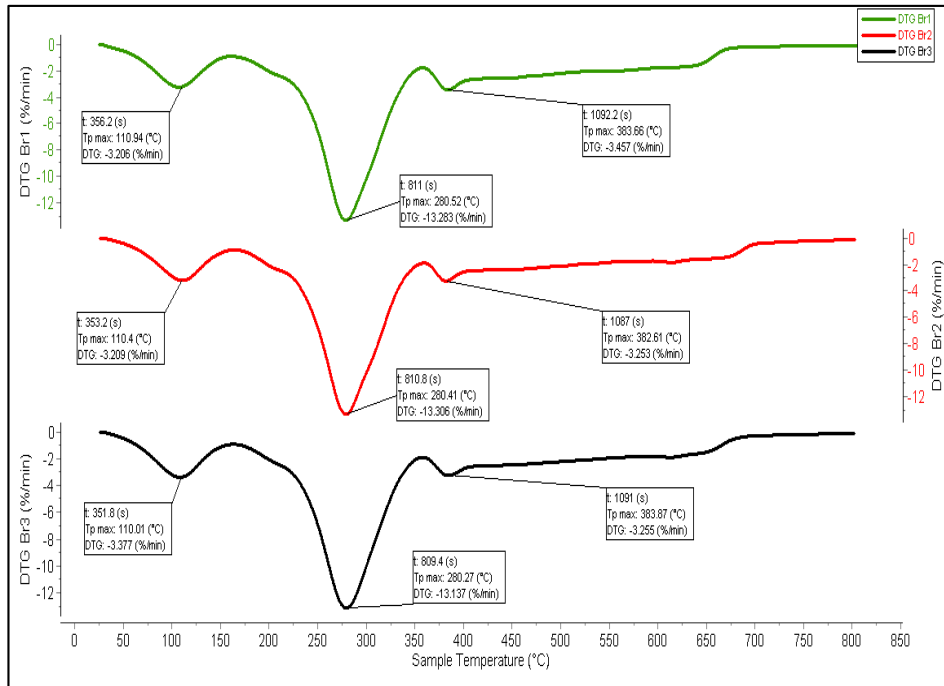


Figura 20. Termogramas DTG de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

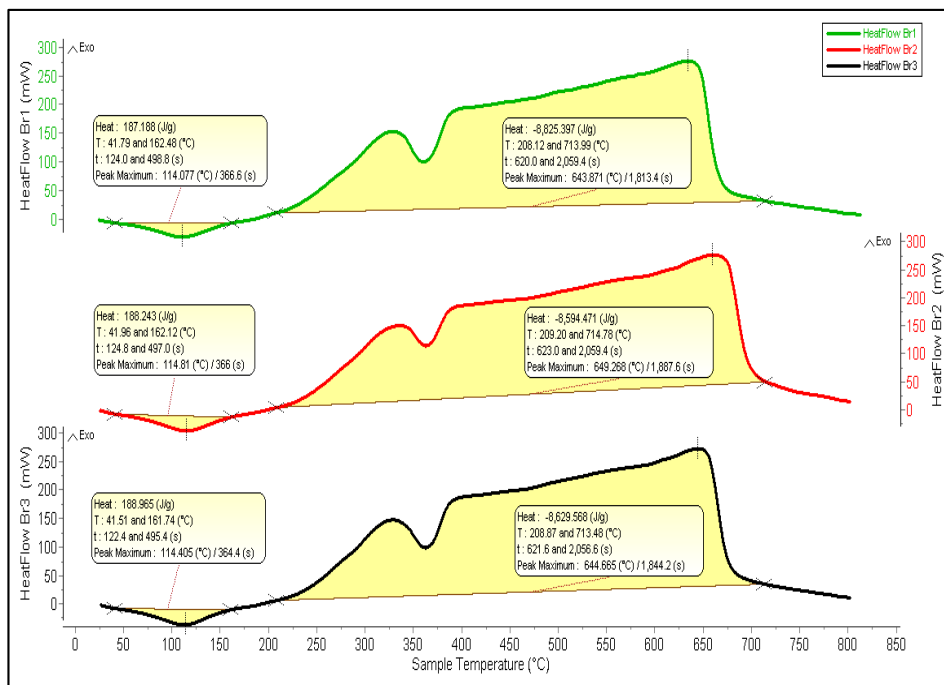


Figura 21. Termogramas DSC de briquetas de la mazorca de *Theobroma cacao*

En relación con el método TGA se utilizó para pensar en el comportamiento de combustión, donde las curvas descubrieron cambios en la degradación de peso con la expansión de la temperatura. Al analizar la temperatura inicial, coincidiendo con la Tabla 46, la zona I está entre 44,06 °C y 45,63 °C. En el caso de los carbonizados Cr₁, Cr₂ y Cr₃, la temperatura de

inicio de la degradación es más baja, en comparación con las otras zonas de respuesta. En la zona II la temperatura inicial cambia entre 159,02 °C y 161,40 °C coincidiendo con los carbonizados Cr₂ y Cr₃ individualmente. En la zona III, la temperatura inicial cambia entre 270,39 °C y 271,97 °C, coincidiendo con los carbonizados Cr₂ y Cr₃ por separado.

Con respecto a la llegada de la máxima velocidad de pérdida de peso (DTG_{max}) para la localización de respuesta I, en la Tabla 46 el Cr₁ carbonizado contiene un DTG_{max} más bajo que las otras briquetas. Esto implica que el DTG_{max} para la localización de respuesta I disminuye con la temperatura de la degradación. Para la zona II y la zona III, se observa que el DTG_{max} mostró valores más altos de 179,14 °C en Cr₁ carbonizado y 840,95 °C en Cr₁ carbonizado.

En cuanto a la pérdida de peso total (PM), la comparación de este parámetro en la zona I para las briquetas a base de mazorcas de cacao de acuerdo con la Tabla 46, se encontró que el carbonizado Cr₁ con 3,88% pierde más masa que el carbonizado Cr₂ con 3,72% en la zona I. Para la zona II y zona III, se observa que la pérdida de peso total presentó valores superiores de 1,60% en el carbonizado Cr₃ y 3,1 % en el carbonizado Cr₂.

Tabla 46. Termogravimetría TGA y DTG del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Zonas Detectadas | Repeticiones | Rango de Temperatura | | Tp° máxima Degradación (°C) | Velocidad de pérdida (%/min) | Δm (%) |
|------------------|-----------------|----------------------|---------|-----------------------------|------------------------------|--------|
| | | Ti (°C) | Tf (°C) | | | |
| Zona 1 | Cr ₁ | 44,43 | 161,19 | 116,28 | 3,88 | 13,41 |
| | Cr ₂ | 44,06 | 159,02 | 116,49 | 3,72 | 13,04 |
| | Cr ₃ | 45,63 | 161,40 | 116,05 | 3,73 | 12,86 |
| Zona 2 | Cr ₁ | 161,19 | 222,56 | 179,14 | 1,56 | 2,86 |
| | Cr ₂ | 159,02 | 223,04 | 177,28 | 1,53 | 3,03 |
| | Cr ₃ | 161,40 | 222,27 | 178,09 | 1,60 | 2,85 |
| Zona 3 | Cr ₁ | 271,56 | 896,28 | 840,95 | 3,01 | 65,90 |
| | Cr ₂ | 270,39 | 895,01 | 839,48 | 3,04 | 66,29 |
| | Cr ₃ | 271,97 | 896,40 | 840,73 | 3,10 | 66,64 |

Ti : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; Δm : variación de masa

Los resultados Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) según la Tabla 47, reportaron un tipo de reacción endotérmica que absorbe energía en forma calor con temperatura

máxima inicial de 46,89 °C en el carbonizado Cr₂ y una temperatura máxima final de 166,90 °C en el carbonizado a Cr₂ dentro de la transición I. Mientras que, en la transición II, se obtuvo un tipo de reacción exotérmica que desprende energía en forma de calor con una temperatura máxima inicial de 181,64 °C en Cr₁ y una temperatura máxima final de 905,76 °C en el carbonizado Cr₂.

Tabla 47. Calorimetría Diferencial de Barrido del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

| Transición | Repetición | Tipo de reacción | To (°C) | Tp (°C) | Tf (°C) | ΔH (J/g) |
|------------|-----------------|------------------|---------|---------|---------|----------|
| 1 | Cr ₁ | Endotérmica | 46,73 | 120,94 | 166,07 | 200,301 |
| | Cr ₂ | Endotérmica | 46,89 | 118,67 | 166,90 | 200,928 |
| | Cr ₃ | Endotérmica | 45,93 | 118,16 | 165,20 | 201,231 |
| 2 | Cr ₁ | Exotérmica | 181,64 | 729,06 | 905,38 | -16 600 |
| | Cr ₂ | Exotérmica | 181,50 | 728,84 | 905,76 | -16 900 |
| | Cr ₃ | Exotérmica | 181,35 | 730,72 | 906,61 | -16 400 |

To : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; ΔH : Entalpía

En las figuras 22, 23 y 24, se observa que todas las briquetas tienen tendencias similares en las curvas TGA, DTG y DSC, en el que se reconoce el deterioro de las pruebas en etapas completamente diferentes y la disposición de tres crestas fundamentales.

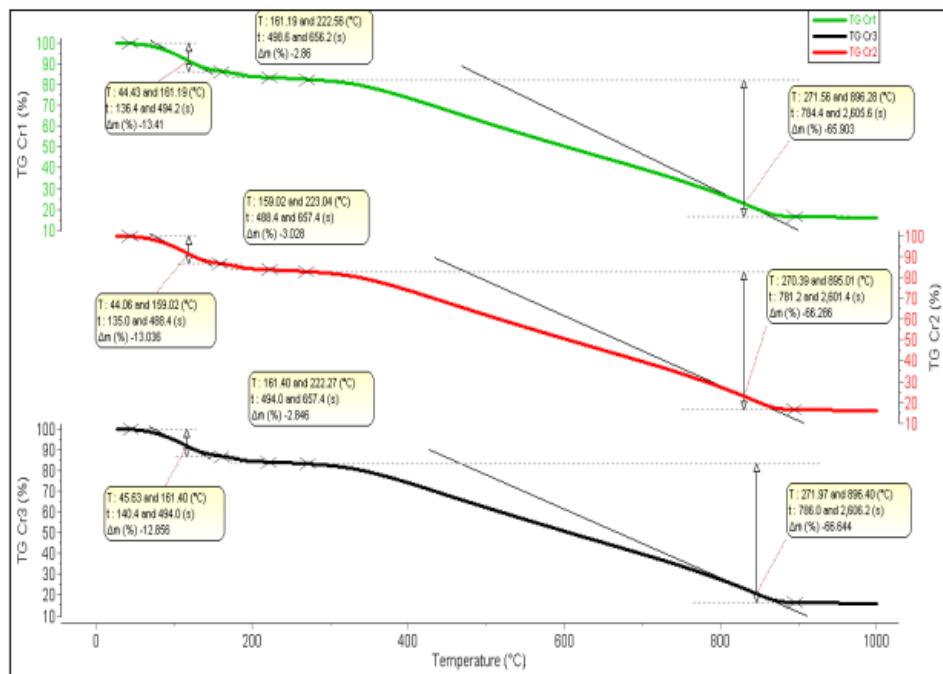


Figura 22. Termogramas TGA del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

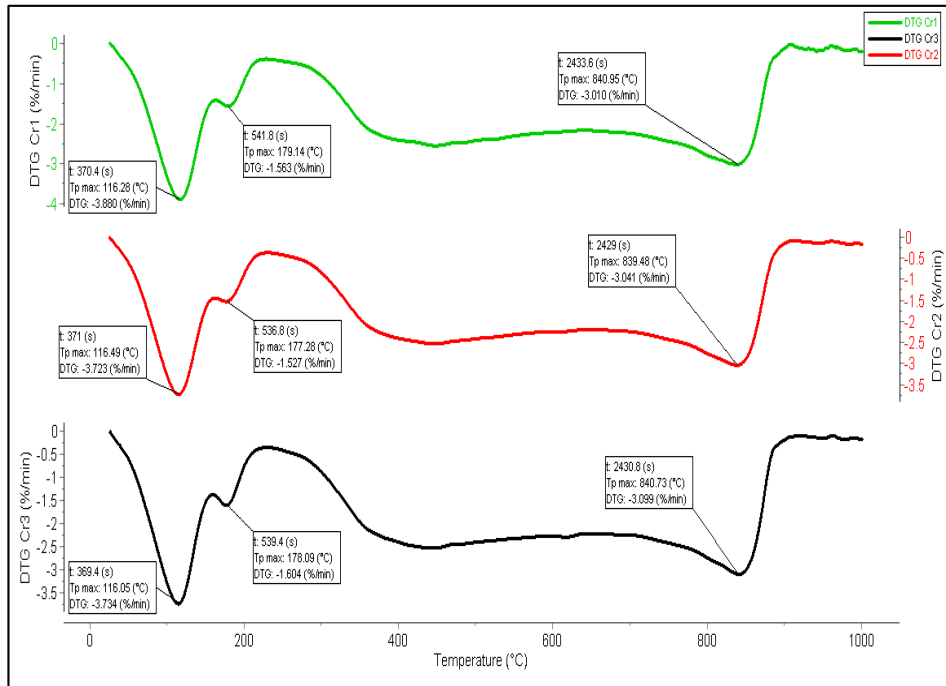


Figura 23. Termogramas DTG del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

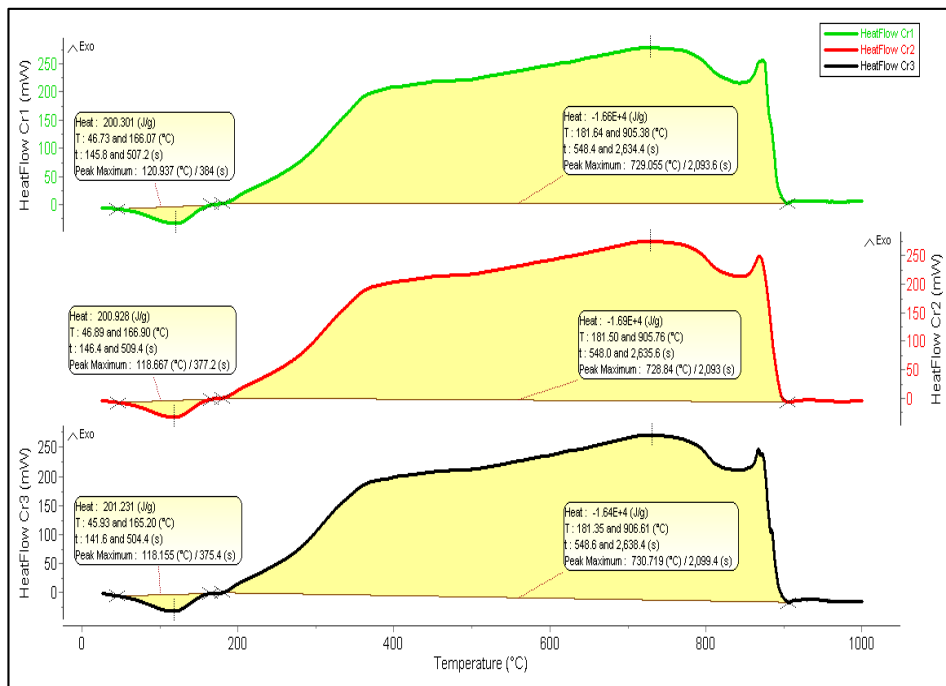


Figura 24. Termogramas DSC del carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao*

V. CONCLUSIONES

1. La caracterización fisicoquímica de las mazorcas de *Theobroma cacao* demostró un contenido de cenizas de 6,49%, humedad en base seca de 14,66%, materia volátil de 53,40%, carbono fijo de 25,45%, mientras que el análisis elemental presentó carbono de 54.3%, oxígeno de 37.1%, H, N y S de 8.61%, así como Ca, Mg, Na y K de 2,317%, 0,405%, 0,138% y 6,683% cada uno.
2. La producción de briquetas a partir de la mazorca de *Theobroma cacao* demostraron que el contenido de cenizas fue de 8,10%, humedad de 13,29%, material volátil del 58,53% y carbono fijo de 20,08%; mientras que el carbón vegetal de la mazorca de *Theobroma cacao* presentó contenido de cenizas de 15,80%, humedad de 13,25%, material volátil del 13,26% y carbono fijo de 57,68%,
3. El rendimiento de producción de la briqueta de mazorca de *Theobroma cacao* fue de 89,82%; mientras que del carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao* fue de 30,817%.
4. El contenido energético de la mazorca de *Theobroma cacao* reportó 7 842,778 J/g; mientras que las briquetas y carbón vegetal obtenidos a partir de la mazorca de *Theobroma cacao* reportó una curva TGA, DTG y DSC con tendencias similares, sin embargo, las briquetas presentaron un menor poder calórico de 8 495,013 J/g en comparación con los carbonizados con poder calórico de 16 432,513 J/g.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar briquetas a base de otras materias primas, especialmente, residuos orgánicos domésticos y agrícolas con la finalidad de efectuar un aprovechamiento como estrategia de gestión de los residuos sólidos, fomentando la economía circular y aportando en la disminución de la contaminación ambiental.
2. Producir carbón a base de cacao en diferentes condiciones de pirolisis en relación con el tiempo y la temperatura para determinar si influyen en la calidad del producto y su poder calorífico para su uso como fuente de calor.
3. Elaborar las briquetas mediante la mezcla con el carbón vegetal en diversas condiciones y mezclas con aglutinantes orgánicos para aumentar el aporte del poder calorífico y su posterior uso doméstico o industrial.
4. Implementar programas de educación para la producción de briquetas y carbón a base de cacao en localidades de bajos recursos para brindar conocimientos y fomentar el desarrollo de la economía local.

VII. REFERENCIAS

- Akolgo, G. A., Awafo, E. A., Essandoh, E. O., Owusu, P. A., Uba, F., & Adu-Poku, K. A. (2021). Assessment of the potential of charred briquettes of sawdust, rice and coconut husks: Using water boiling and user acceptability tests. *Scientific African*, 12, e00789. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00789>
- Arias Gonzáles, J. L. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*.
- Benites-Alfaro, E., Díaz-Márquez, P. (2019). PODER CALORIFICANTE DE BRIQUETAS ELABORADAS CON BIOMASA Y AGLUTANTES ORGÁNICOS. *DYNA Energía y Sostenibilidad*, 8(1). [12 págs.]. DOI: <https://doi.org/10.6036/ES9113>
- Bortolotti, A., Kampelmann, S., & De Muynck, S. (2018). Decentralised Organic Resource Treatments – Classification and comparison through Extended Material Flow Analysis. *Journal of Cleaner Production*, 183, 515-526. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.02.104>
- Bot, B. V., Axaopoulos, P. J., Sakellariou, E. I., Sosso, O. T., & Tamba, J. G. (2022). Energetic and economic analysis of biomass briquettes production from agricultural residues. *Applied Energy*, 321, 119430. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119430>
- Cabezas, C. (2018). Estimación Del Potencial Energético De Los Residuos De La Cadena De Valor Del Fruto De La Castaña (*Bertholletia Excelsa*) En La Región Madre De Dios. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Cabrera Baquerizo, A. B., & Villacís García, J. E. (2022). Evaluación de la biomasa residual agrícola de los cultivos de cacao (*Theobroma*) y maíz (*Zea mays*) para la elaboración de briquetas como recurso energético renovable [Universidad de Guayaquil]. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/df682901-a003-4380-b36c-2f030dd326b2>
- Cobeñas, A., & Guerrero, J. (2018). Caracterización de la pectina obtenida a partir de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante variación del ácido y temperatura. En Repositorio UnTumbes. Universidad Nacional de Tumbes.
- De la Cruz, A. (2018). Determinación de dosificación de los microorganismos eficaces para compost a partir de la cascara de *Theobroma Cacao* L. «cacao» Naranjos—Pardo Miguel—Rioja—2017. Universidad Nacional de San Martín.
- Delgado, C., Navarrete, J., Noles, P., & Hernández, N. (2020). Caracterización energética y bioeconómica de las briquetas elaboradas con biomasa residual del cultivo de maíz en

- Ecuador. Red de Investigación Estudiantil de La Universidad Del Zulia (REDIELUZ), 10(2), 76–86.
- Díaz Márquez, P., & Benites Alfaro, E. (2019). Poder calorífico de briquetas elaboradas con biomasa y aglutinantes orgánicos. *DYNA energía y sostenibilidad*, 8(1), 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8122174>
- Dinesha, P., Kumar, S., & Rosen, M. A. (2019). Biomass Briquettes as an Alternative Fuel: A Comprehensive Review. *Energy Technology*, 7(5), 1801011. <https://doi.org/10.1002/ente.201801011>
- Etech Solutions SAS. (2023). Guía taller: Biomasa. <https://repositorio.etechsolutions.com.co/bitstream/handle/123456789/82/Gui%CC%81a%20Taller%20Biomasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fanárraga Lukuy, D. C., & Jihuallanca Sánchez, R. J. (2021). Elaboración de briquetas ecológicas a partir del hueso de la palta para reducir las emisiones de CO₂. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/80675>
- Ferronato, N., Calle Mendoza, I. J., Gorritty Portillo, M. A., Conti, F., & Torretta, V. (2022). Are waste-based briquettes alternative fuels in developing countries? A critical review. *Energy for Sustainable Development*, 68, 220-241. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.03.013>
- Garrido, M. A., Conesa, J. A., & Garcia, M. D. (2018). Characterization and Production of Fuel Briquettes Made from Biomass and Plastic Wastes. *Energies*, 10(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/en10070850>
- Herrera-Rengifo, José D., Villa-Prieto, Laura, Olaya-Cabrera, Anyi C., & García-Álzate, Luz S.. (2020). Extracción de almidón de cáscara de cacao *Theobroma cacao* L. como alternativa de bioprospección. *Revista ION*, 33 (2), 25-34. Publicación electrónica del 30 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020002>
- Hidalgo Figueroa, M. G. (2020). Determinación del porcentaje de aprovechamiento de biomasa para combustión del caldero en molienda de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) Paramonga, 2017 [Universidad San Pedro]. <http://publicaciones.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/15320>
- Huamán Ramos, H., Ramírez Sucño, M. M., & Surichaqui Unchupaico, R. J. (2021). Diseño y elaboración de briquetas ecológicas para la obtención de energía calorífica con residuos

- agrícolas generados en Masma Chicche, Jauja—2021. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10655>
- Huang, H., Gao, Y., Chen, H., Wu, Y., Wang, J., Yu, C., Li, J., & Zou, C. (2023). Biomass briquette fuel, boiler types and pollutant emissions of industrial biomass boiler: A review. *Particuology*, 77, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.partic.2022.08.016>
- Huaytalla, B. (2019). identificar el potencial energético de la biomasa residual agrícola para su aprovechamiento como uso doméstico. Universidad Científica del Sur.
- Huda, S., Badrawada, I. G. G., & Susastriawan, A. a. P. (2021). The Effect of Compacting Pressure On Physical And Thermal Properties of Cocoa Pod Briquette. *International Journal of Mechanical Engineering*, Volume 7. <https://doi.org/10.14445/23488360/IJME-V7I12P102>
- Iglesias, S. (2020). Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis. *Manglar*, 17(2), 105-111. <https://doi.org/10.17268/manglar>
- Jarrín, J. P., Núñez, J., Espín, R. del C., Manosalvas, L. A., Rodríguez, H. M., & País, J. M. (2023). Pectin Extraction from Residues of the Cocoa Fruit (*Theobroma cacao* L.) by Different Organic Acids: A Comparative Study. *Foods*, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/foods12030590>
- Kabir Ahmad, R., Anwar Sulaiman, S., Yusup, S., Sham Dol, S., Inayat, M., & Aminu Umar, H. (2022). Exploring the potential of coconut shell biomass for charcoal production. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(1), 101499. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.05.013>
- Kpalo, S. Y., Zainuddin, M. F., Manaf, L. A., & Roslan, A. M. (2020). A Review of Technical and Economic Aspects of Biomass Briquetting. *Sustainability*, 12(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su12114609>
- Lara Puerres, J. G. (2019). Estudio de factibilidad para la conversión de biomasa en energía eléctrica y térmica en la avícola Megaves Cia. Ltda. [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9570/2/04%20MEL%20061%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Leng, L., & Huang, H. (2018). An overview of the effect of pyrolysis process parameters on biochar stability. *Bioresource Technology*, 270, 627-642. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2018.09.030>


- León, J. (2022). Producción peruana de cacao alcanzó las 157.859 toneladas en 2021. Agraria.pe Agencia Agraria de Noticias. <https://agraria.pe/noticias/produccion-peruana-de-cacao-alcanzo-las-157-859-toneladas-en-28009>
- Li, G., Hu, R., Hao, Y., Yang, T., Li, L., Luo, Z., Xie, L., Zhao, N., Liu, C., Sun, C., & Shen, G. (2023). CO₂ and air pollutant emissions from bio-coal briquettes. *Environmental Technology & Innovation*, 29, 102975. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102975>
- Lock, D. H. (2018). Potencial energético de los residuos de la cadena de valor del cacao (*Theobroma Cacao*) en la Región Madre de Dios. En Universidad Nacional Agraria La Molina. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ludueña, M. E., Cardozo, R. de J., & Carranza, M. E.. (2020). Using transportable metal furnaces for carbonization: the “carbotambor.” *Quebracho (Santiago del Estero)*, 28(2), 100-111. Recuperado en 27 de diciembre de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-30262020000200100&lng=es&tlng=en
- Marreiro, H. M. P., Peruchi, R. S., Lopes, R. M. B. P., Andersen, S. L. F., Eliziário, S. A., & Rotella Junior, P. (2021). Empirical Studies on Biomass Briquette Production: A Literature Review. *Energies*, 14(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/en14248320>
- Merino, M. (2019). Diseño e implementación de reactor anaerobio semicontinuo para aprovechamiento de cáscaras de cacao. En Universidad de Piura. Universidad de Piura.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2020, septiembre 30). Producción nacional de cacao en grano creció en la última década a un promedio de 12.6% al año. Gobierno del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/305143-produccion-nacional-de-cacao-en-grano-crecio-en-la-ultima-decada-a-un-promedio-de-12-6-al-ano>
- Montenegro Santillán, Y. (2022). Evaluación del poder calorífico de briquetas de biochar obtenido a partir de residuos orgánicos. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2963>
- Murillo, S. (2020). Physicochemical characteristics, bioactive compounds and minerals content in cocoa fruit (*Theobroma cacao* L.) shell flour. *Manglar*, 17(1), 67-73. <https://doi.org/10.17268/MANGLAR.2020.011>

- Nuriana, W., Suryanto, A., & Kamal, M. (2019). Calorific value analysis, reduction of period weight, reaction rate, activation energy of old coconut, young coconut waste briquette burning, cocoa. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 588(1), 012004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/588/1/012004>
- Ofori, P., & Akoto, O. (2020). Production and Characterisation of Briquettes from Carbonised Cocoa Pod Husk and Sawdust. *OALib*, 07, 1-20. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106029>
- Ouattara, L. Y., Kouassi, E. K. A., Soro, D., Soro, Y., Yao, K. B., Adouby, K., Drogui, A. P., Tyagi, D. R., & Aina, P. M. (2020). Cocoa pod husks as potential sources of renewable high-value-added products: A review of current valorizations and future prospects. *BioResources*, 16(1), 1988-2020.
- Pérez Angulo, J. M. (2020). Efecto del contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada de Capirona (*Calycophyllum Spruceanum* Benth); con el poder calorífico del carbón vegetal producido en el prototipo del proyecto: Fincyt-Jk Maderas Export S.A.- Unu, departamento de Ucayali, 2018 [Universidad Nacional de Ucayali]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4546/UNU_MAESTRIA_2020_TESIS_JUAN-PEREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pérez Sánchez, M. A., & Torpoco Cano, E. S. (2022). Evaluación de la calidad de briquetas como biocombustible sólido, elaboradas a partir del residuo cascarilla café en el valle del monzón. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/7378>
- Polo Vanegas, A. J. (2019). Evaluación del uso de la biomasa del departamento del Huila en la producción de biocombustible densificado (pellet) de alto poder calorífico [Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/items/b5cb04f4-89cd-471d-b89e-26b44099860d>
- Rachmat, D., Mawarani, L. J., & Risanti, D. D. (2018). Utilization of Cacao Pod Husk (*Theobroma cacao* l.) as Activated Carbon and Catalyst in Biodiesel Production Process from Waste Cooking Oil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 299(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/299/1/012093>
- Ramos Chavez, M. A. (2022). Reciclaje de residuos de celulosa (madera y cartón) en la elaboración de briquetas que puedan ser evaluadas para su disponibilidad de segundo uso en diversas actividades antrópicas propiciando la protección del medio ambiente. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/15479>


Zuluaga, T., Gálvez, D., & Granados, D. A. (2020). Análisis del aprovechamiento de subproductos con fines energéticos: caso de estudio Aeropuerto José María Córdova. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 31(45), 10–27. <https://doi.org/10.47286/01211463.280>

ANEXOS

Anexo A. Resultados de Laboratorios UNAS



"UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA"
"VICERRECTORADO DE INVESTIGACION"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

1. Descripción de la muestra


| | | |
|---------------------|---------------------------------|------------------|
| Fecha de recepción | 10/04/2023 | Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth | |
| Tipo de muestra | Mazorca cacao | |
| Código | Mr | |
| Cantidad muestra | 5.0 g | |
| Humedad referencial | No especificada | |
| Recibo | 23010452 | |
| Observaciones | • Análisis TGA (Pirolisis) | |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Mazorca cacao (Mr) |
| Nombre genérico | Experimento 1 |
| Peso de la muestra | 35 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|------------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento I | 25°C – 105°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Isoterma | 105°C – 105 °C | ----- | 50 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento II | 105 °C – 900°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Enfriamiento | 900°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |



Ing. Trujillo Ccanahuire, José L.
Especialista Área de Calorimetría



Dr. Soria Iturri, Melchor
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 25. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la mazorca de cacao - 1

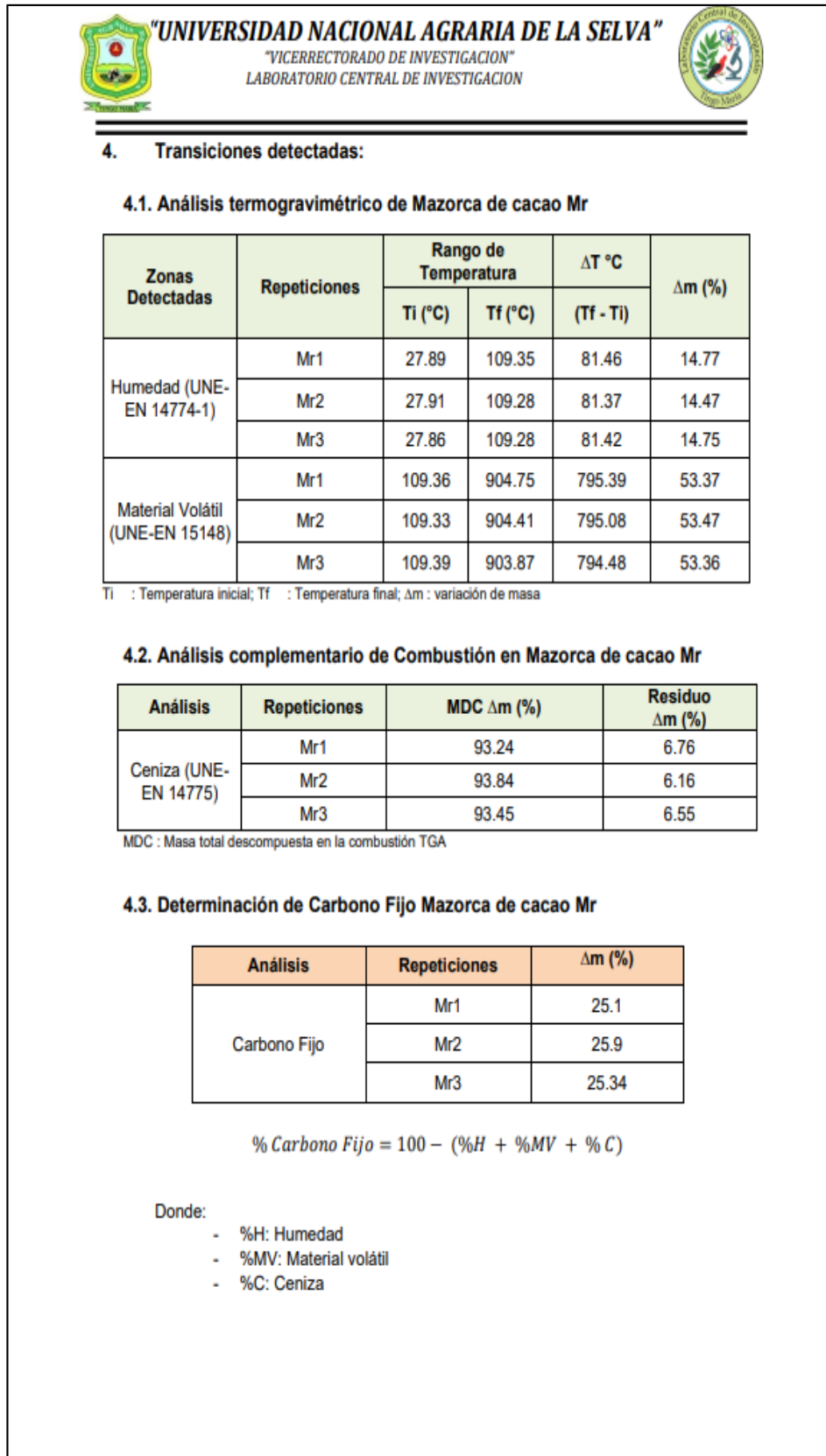


Figura 26. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la mazorca de cacao - 2

5. Termogramas del Análisis TGA

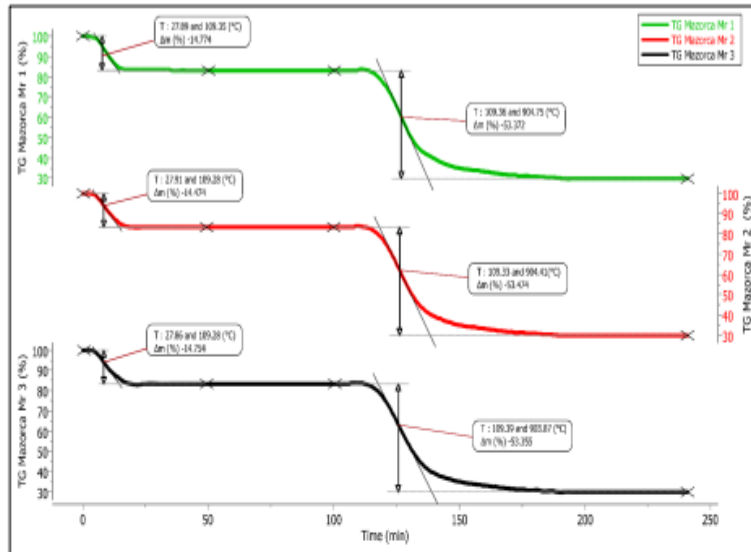


Figura 1. Termogramas TGA de Mazorca cacao (Mr)

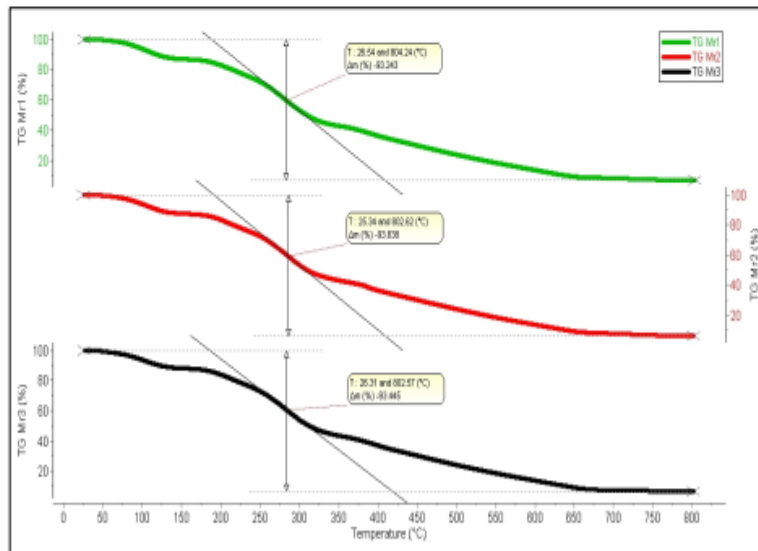


Figura 2. Termogramas TGA de Combustión de Mazorca cacao (Mr)

6. Referencia

- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., Biomass Proximate Analysis using Thermogravimetry, *Bioresource Technology* (2013), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.197>

Figura 27. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la mazorca de cacao - 3



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología
 Carretera Central Km 1-21 - Tingo María - Celular 944 607-331
 analisis@unase.edu.pe | unase.edu.pe



ANÁLISIS ESPECIAL

| SOLICITANTE: | | LISBETH PIERINA ATAUCUSI FLORES | | | | PROCEDECENCIA: | | | | TINGO MARIA | | | | | |
|---------------------|------------------|---------------------------------|-------------|----------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------|--------|-------------|-------|--------|---------|--------|--------|
| DATOS DE LA MUESTRA | | RESULTADOS EN BASE HUMEDA | | | | RESULTADOS EN BASE SECA | | | | | | | | | |
| Código | Tipo | Referencia | Humedad (%) | Materia Orgánica (%) | Cenizas (%) | Materia Orgánica (%) | Cenizas (%) | Ca (%) | Mg (%) | Na (%) | K (%) | Cu ppm | Fe ppm | Zn ppm | Mn ppm |
| E0225 | MAZORCA DE CACAO | M1 | 90.86 | 1.42 | 7.71 | 15.59 | 84.41 | 2.317 | 0.405 | 0.138 | 6.683 | 56.27 | 1004.50 | 393.92 | 815.98 |

MUESTREO POR EL SOLICITANTE
 RECIBO N° 001-0649534
 Tingo María 06 de mayo 2022




UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María




Dr. ALFREDO HUMANA YUPANQUI
 Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Figura 28. Resultados de análisis especial de la mazorca de cacao



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
 LABORATORIO DE FITOQUÍMICA FORESTAL
 Carretera Central Km. 1.21, Tingo María-Huánuco (enf.labfitoquimica@unas.edu.pe)



"Año de la Unidad, la Paz y El Desarrollo"
 "En el cuidado de los bosques está el Corazón del Ingeniero Forestal"

TINGO MARIA 27 JUNIO DEL 2023

**ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE CARBONO EN CASCARILLA DE CACAO -
 LABORATORIO DE FITOQUÍMICA FORESTAL**

Los análisis para el contenido de carbono realizados en el equipo ANALIZADOR ELEMENTAL FLASH SMART THERMO SCIENTIFIC. El Estándar utilizado fue el SULFANILIMIDE STD FLASK OF P,05 y el VANADIUM PENTOXIDE.
 Los datos obtenidos de las evaluaciones derivan de la siguiente muestra:

1. Descripción de la muestra

| | |
|---------------------|---------------------------------------|
| Fecha de recepción | 07/03/2023 Hora: 09:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth |
| Tipo de muestra | Cascarilla de cacao (secada y molida) |
| Código | C1 |
| Cantidad muestra | 20g |
| Humedad referencial | No especificada |
| N° de Recibo | 23006698 |
| Observaciones | Análisis contenido de carbono |

2. Programación del experimento

| | |
|------------------------|---|
| Equipo | Analizador Elemental - Flash Smart |
| Marca | Thermo Scientific |
| Calibración | SULFANILIMIDE STD FLASK OF P,05 y el VANADIUM PENTOXIDE |
| Nombre del experimento | Análisis contenido de carbono |
| Peso de la muestra | 2-3g |

3. Código de la muestra evaluada

| Muestra | PRUEBA C1 |
|---------------------|---------------|
| T*(C) | 400 |
| t(min) | 20 |
| Cascarilla de cacao | 2.94g - 2.17g |

W estándar = 2-3g SULFANILIMIDE STD FLASK OF P,05 y el VANADIUM PENTOXIDE
 Sample Weight = 2-3g for CHNS

Figura 29. Resultados de análisis del contenido de CHONS en la mazorca de cacao - 1

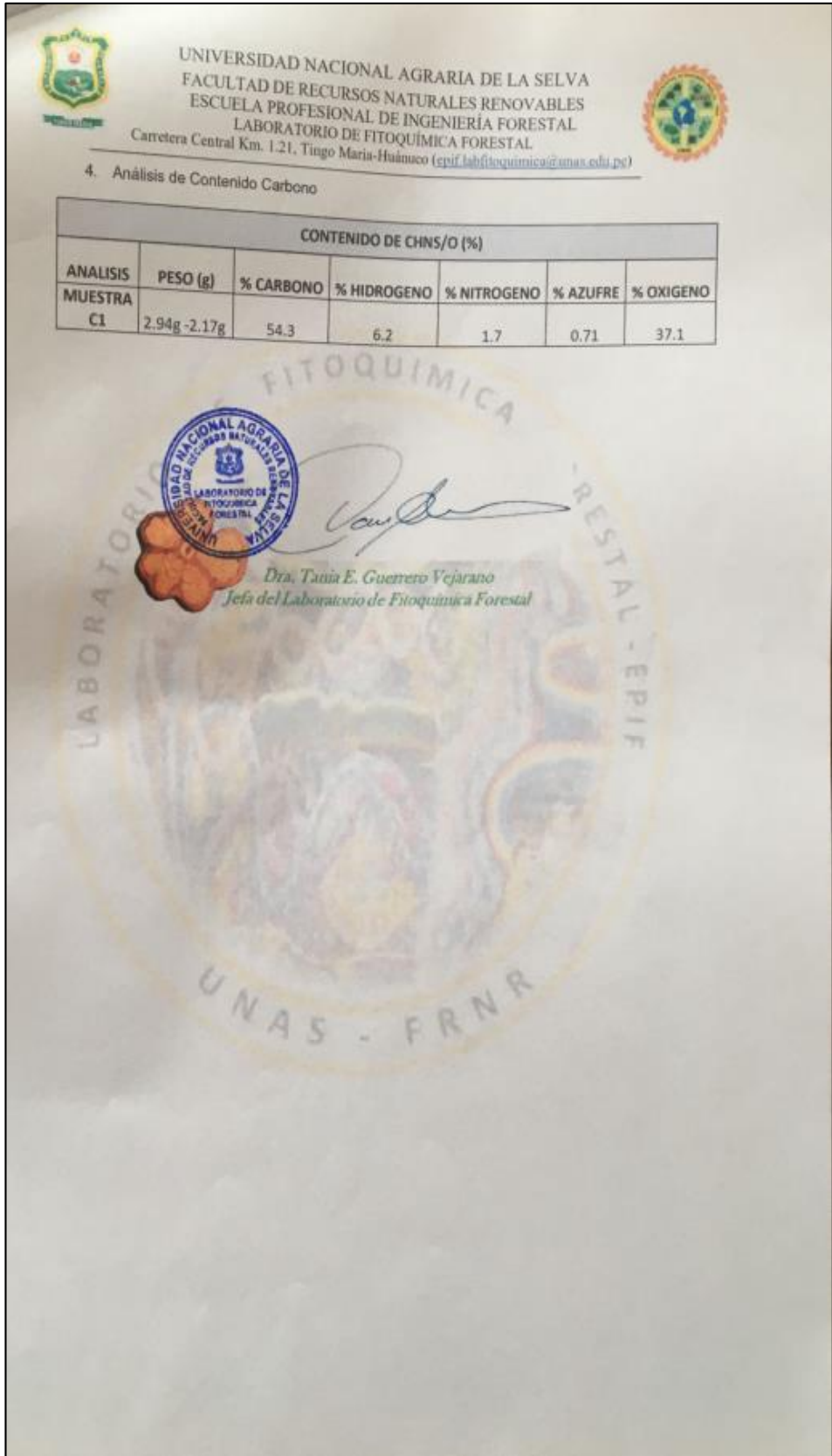




Figura 30. Resultados de análisis del contenido de CHONS en la mazorca de cacao - 1



"UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA"
 "VICERRECTORADO DE INVESTIGACION"
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

1. Descripción de la muestra


| | |
|---------------------|---------------------------------|
| Fecha de recepción | 10/04/2023 Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth |
| Tipo de muestra | Briqueta |
| Código | Br |
| Cantidad muestra | 5.0 g |
| Humedad referencial | No especificada |
| Recibo | 23010452 |
| Observaciones | • Análisis TGA (Pirolisis) |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Briqueta (Br) |
| Nombre genérico | Experimento 2 |
| Peso de la muestra | 35 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|------------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento I | 25°C – 105°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Isoterma | 105°C – 105 °C | ----- | 50 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento II | 105 °C – 900°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Enfriamiento | 900°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |



Ing. Tzujillo Ccanahuire, José L.
Especialista Área de Calorimetría



Dr. Soria Iturri, Melchor
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 31. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la briqueta - 1

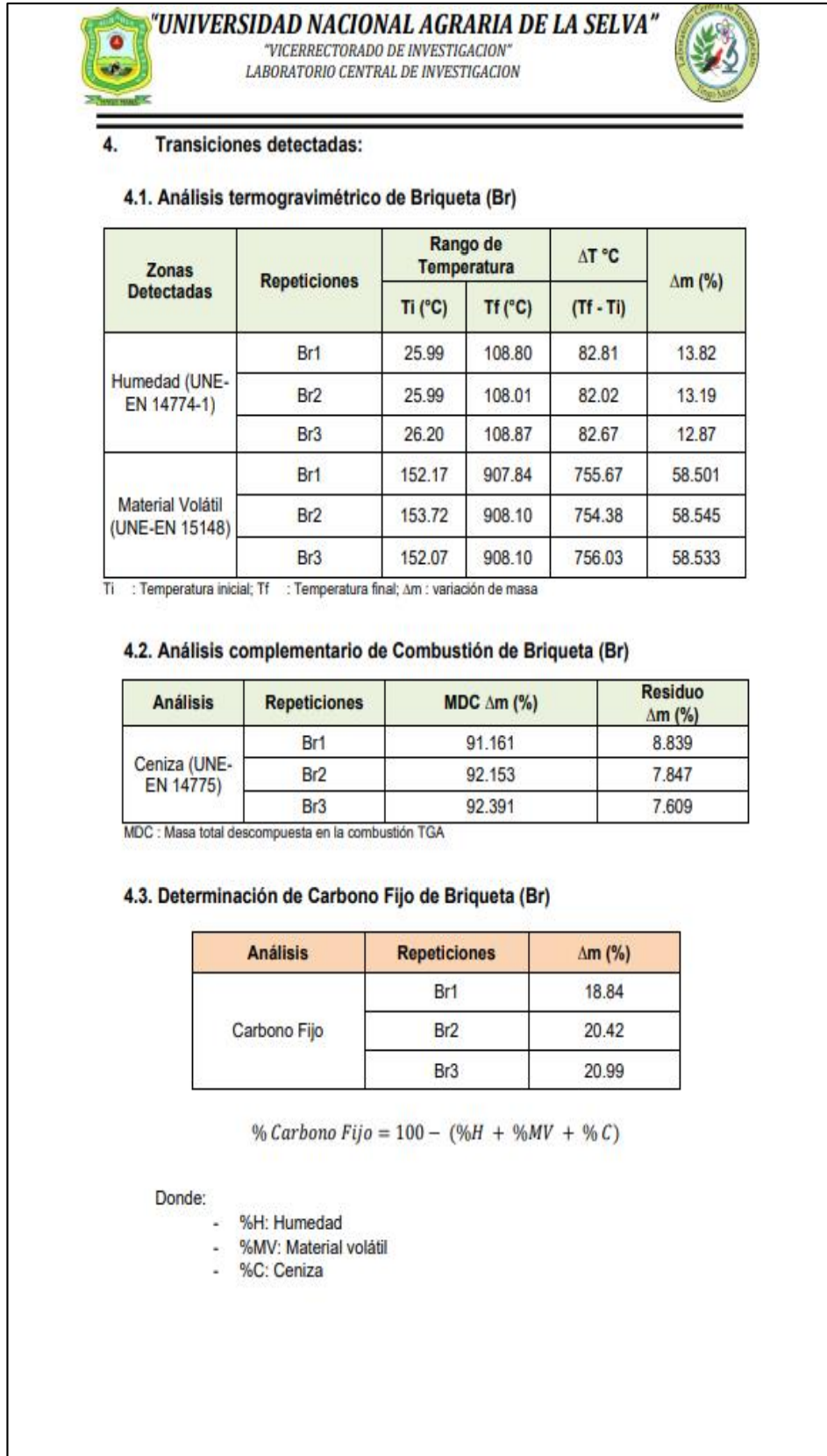


Figura 32. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la briqueta - 2

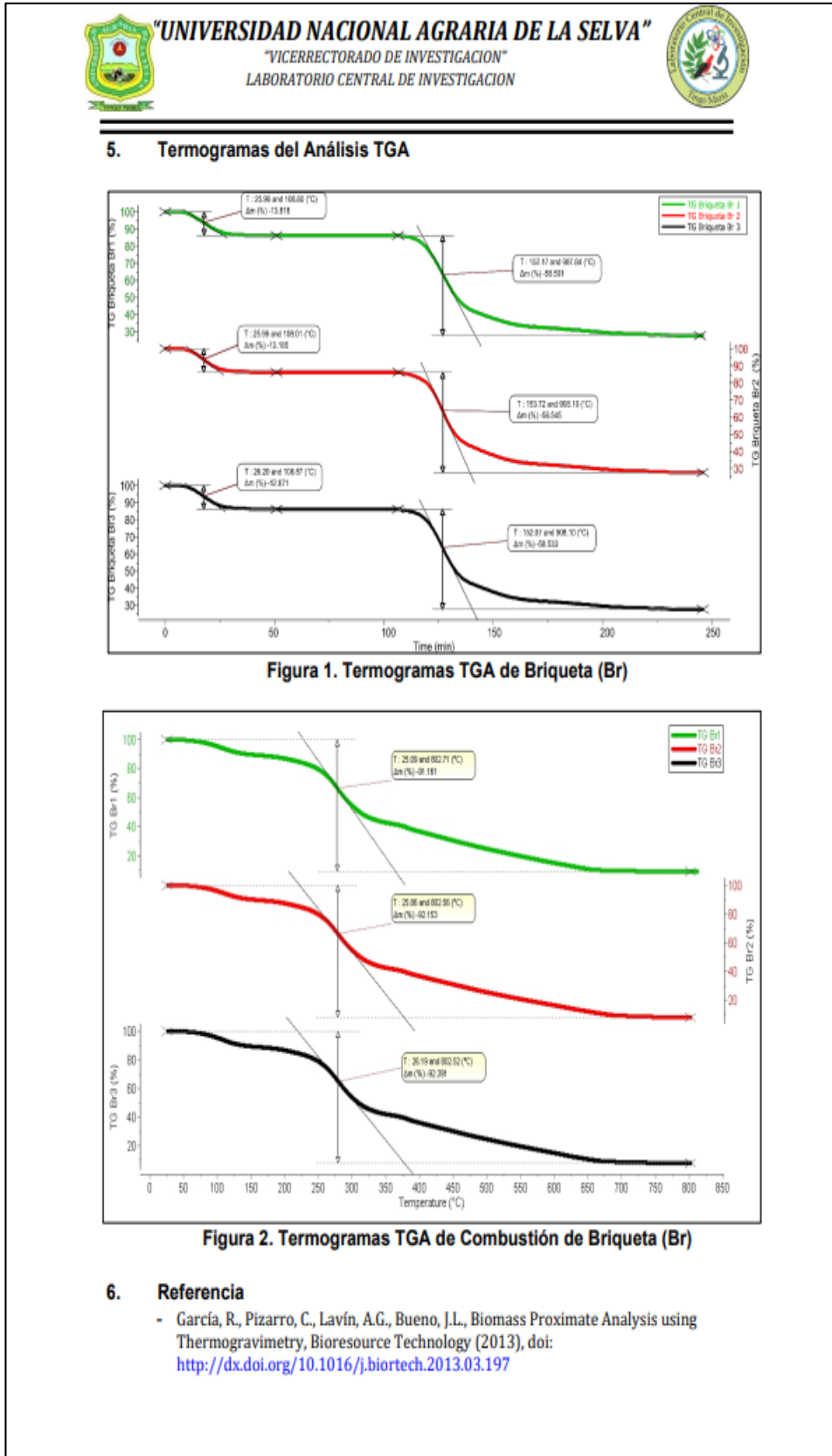




Figura 33. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo de la briqueta - 3



"UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA"
 "VICERRECTORADO DE INVESTIGACION"
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

1. Descripción de la muestra


| | |
|---------------------|---------------------------------|
| Fecha de recepción | 10/04/2023 Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth |
| Tipo de muestra | Carbón |
| Código | Cr |
| Cantidad muestra | 5.0 g |
| Humedad referencial | No especificada |
| Recibo | 23010452 |
| Observaciones | • Análisis TGA (Pirolisis) |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Carbón (Cr) |
| Nombre genérico | Experimento 3 |
| Peso de la muestra | 35 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|------------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento I | 25°C – 105°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Isoterma | 105°C – 105 °C | ----- | 50 min | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Calentamiento II | 105 °C – 900°C | 10 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |
| Enfriamiento | 900°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 50 mL/min | Nitrógeno |



Ing. Trujillo Ccanahuire, José L.
Especialista Área de Calorimetría



Dr. Soria Iturri, Melchor
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 34. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del carbón vegetal - 1

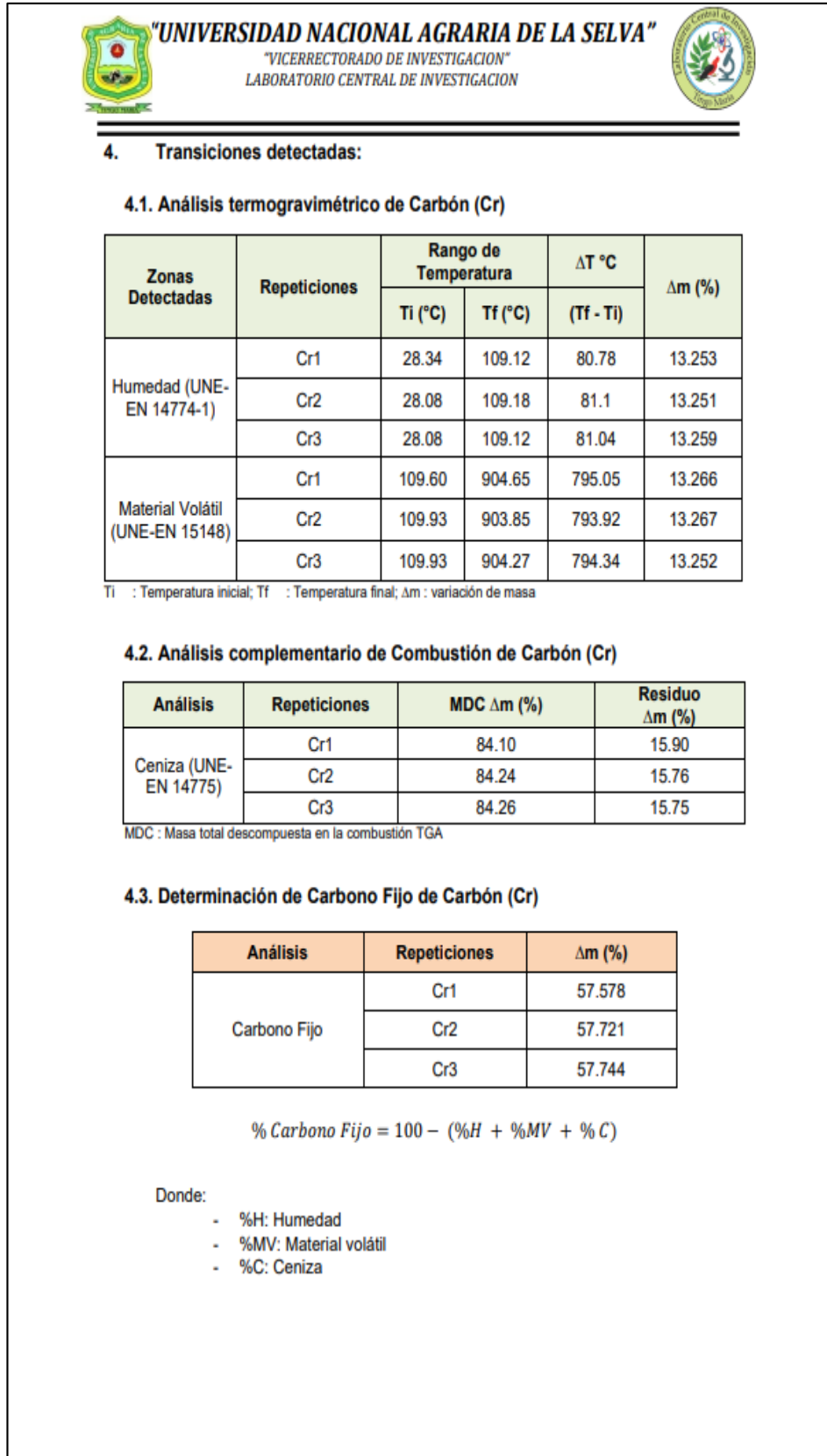


Figura 35. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del carbón vegetal - 2

5. Termogramas del Análisis TGA

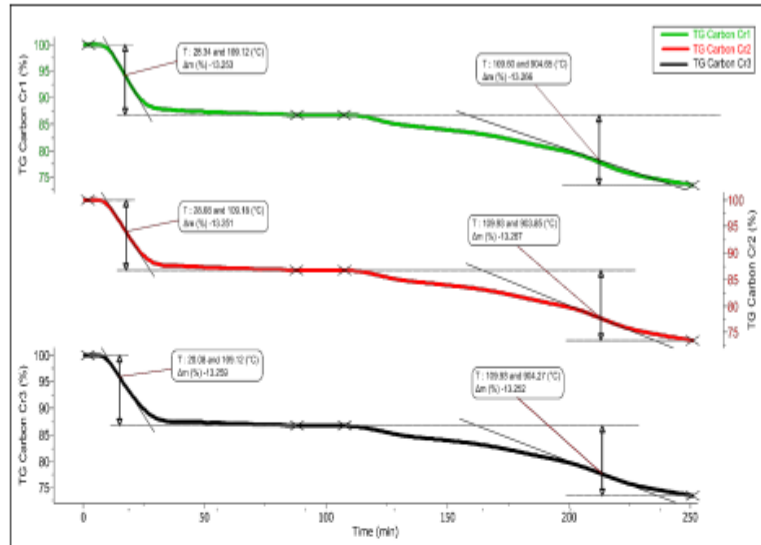


Figura 1. Termogramas TGA de Carbón (Cr)

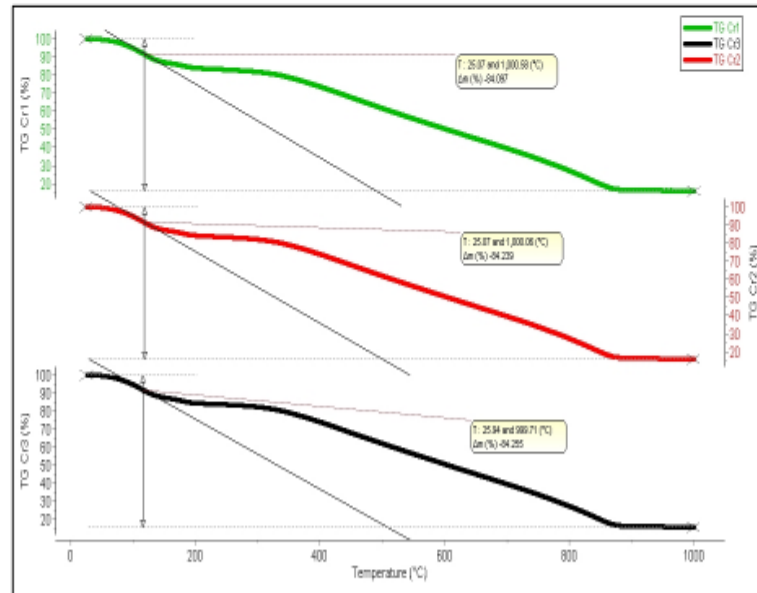



Figura 2. Termogramas TGA de Combustión de Carbón (Cr)


6. Referencia

- García, R., Pizarro, C., Lavín, A.G., Bueno, J.L., Biomass Proximate Analysis using Thermogravimetry, Bioresource Technology (2013), doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.03.197>

Figura 36. Resultados de análisis de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo del carbón vegetal - 3



“UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA”
 “VICERRECTORADO DE INVESTIGACION”
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



**RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO Y CALORIMETRÍA
 DIFERENCIAL DE BARRIDO EN SIMULTÁNEO (TGA/DSC)**

1. Descripción de la muestra


| | | |
|---------------------|--|------------------|
| Fecha de recepción | 10/02/2023 | Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth | |
| Tipo de muestra | Mazorca cacao | |
| Código | Mr | |
| Cantidad muestra | 5.0 g | |
| Humedad referencial | No especificada | |
| N° de Recibo | 23004630 | |
| Observaciones | • Análisis TGA y DSC simultáneo (Combustión) | |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Mazorca cacao (Mr) |
| Nombre genérico | Experimento 1 |
| Peso de la muestra | 30 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|----------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Calentamiento | 25°C – 800°C | 15 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Enfriamiento | 800°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |



Ing. Trujillo Ccanahuire, José L.
Especialista Área de Calorimetría



Dr. Sorja Iturri, Melchor
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 37. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 1



“UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA”

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACION”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



4. Transiciones detectadas:

4.1. Resultados de Termogravimetría TGA y DTG en muestra de Mazorca cacao (Mr)

| Zonas Detectadas | Repeticiones | Rango de Temperatura | | ΔT °C | Tp° máxima Degradación (°C) | Velocidad de pérdida (%/min) | Δm (%) |
|------------------|--------------|----------------------|---------|---------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| | | Ti (°C) | Tf (°C) | (Tf - Ti) | | | |
| Zona 1 | Mr1 | 41.71 | 157.41 | 115.7 | 105.88 | 4.249 | 12.97 |
| | Mr2 | 41.47 | 157.02 | 115.55 | 105.50 | 3.916 | 12.40 |
| | Mr3 | 41.74 | 157.90 | 116.16 | 105.11 | 3.951 | 12.87 |
| Zona 2 | Mr1 | 157.41 | 352.54 | 195.13 | 282.33 | 9.701 | 44.09 |
| | Mr2 | 157.02 | 352.85 | 195.83 | 282.71 | 9.471 | 44.44 |
| | Mr3 | 157.90 | 353.05 | 195.15 | 282.76 | 9.495 | 44.64 |
| Zona 3 | Mr1 | 352.54 | 688.03 | 335.49 | 393.36 | 3.480 | 34.14 |
| | Mr2 | 352.85 | 688.40 | 335.55 | 392.60 | 3.620 | 34.83 |
| | Mr3 | 353.05 | 688.86 | 335.81 | 393.49 | 3.469 | 34.62 |

Ti : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; Δm : variación de masa

4.2. Resultados Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en muestra de Mazorca de cacao (Mr)

| Transición | Repetición | Tipo de reacción | To (°C) | Tp (°C) | Tf (°C) | ΔH (J/g) |
|------------|------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|
| 1 | Mr1 | Endotérmica | 42.36 | 112.419 | 163.90 | 237.176 |
| | Mr2 | Endotérmica | 42.15 | 111.78 | 163.15 | 237.546 |
| | Mr3 | Endotérmica | 42.33 | 111.888 | 163.20 | 237.156 |
| 2 | Mr1 | Exotérmica | 189.97 | 637.957 | 680.45 | -8080.973 |
| | Mr2 | Exotérmica | 190.92 | 638.516 | 679.55 | -8078.065 |
| | Mr3 | Exotérmica | 190.75 | 637.271 | 680.23 | -8081.173 |

To : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; ΔH : Entalpía

4.3. Poder calórico de Mazorca de cacao (Mr)

| Muestra | Repetición | Poder Calórico (J/g) |
|---------------|------------|----------------------|
| Mazorca cacao | Mr1 | 7843.797 |
| | Mr2 | 7840.519 |
| | Mr3 | 7844.017 |

Figura 38. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 2



5. Termogramas del Análisis simultáneo TGA/DSC.

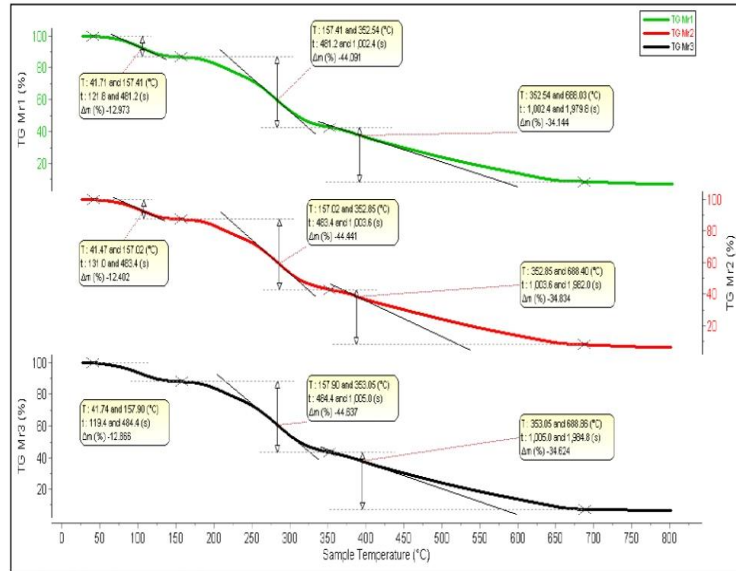


Figura 1. Termogramas TGA de Mazorca cacao (Mr)

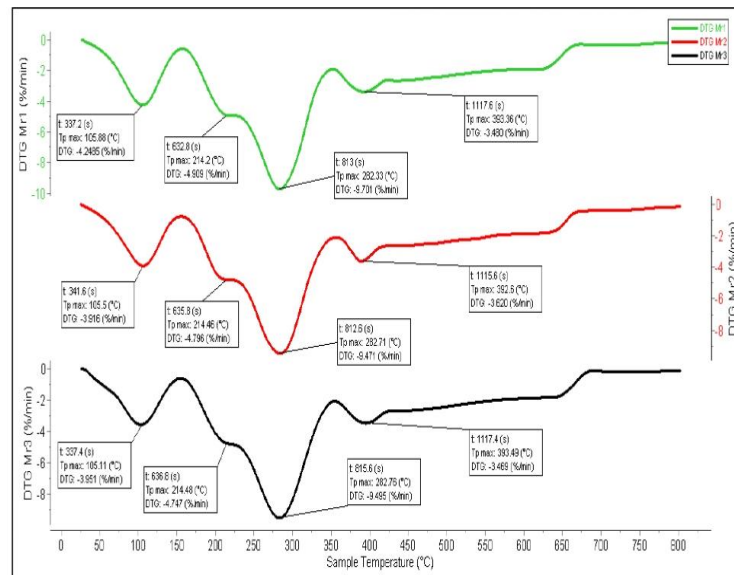


Figura 2. Termogramas DTG de Mazorca cacao (Mr)

Figura 39. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 3

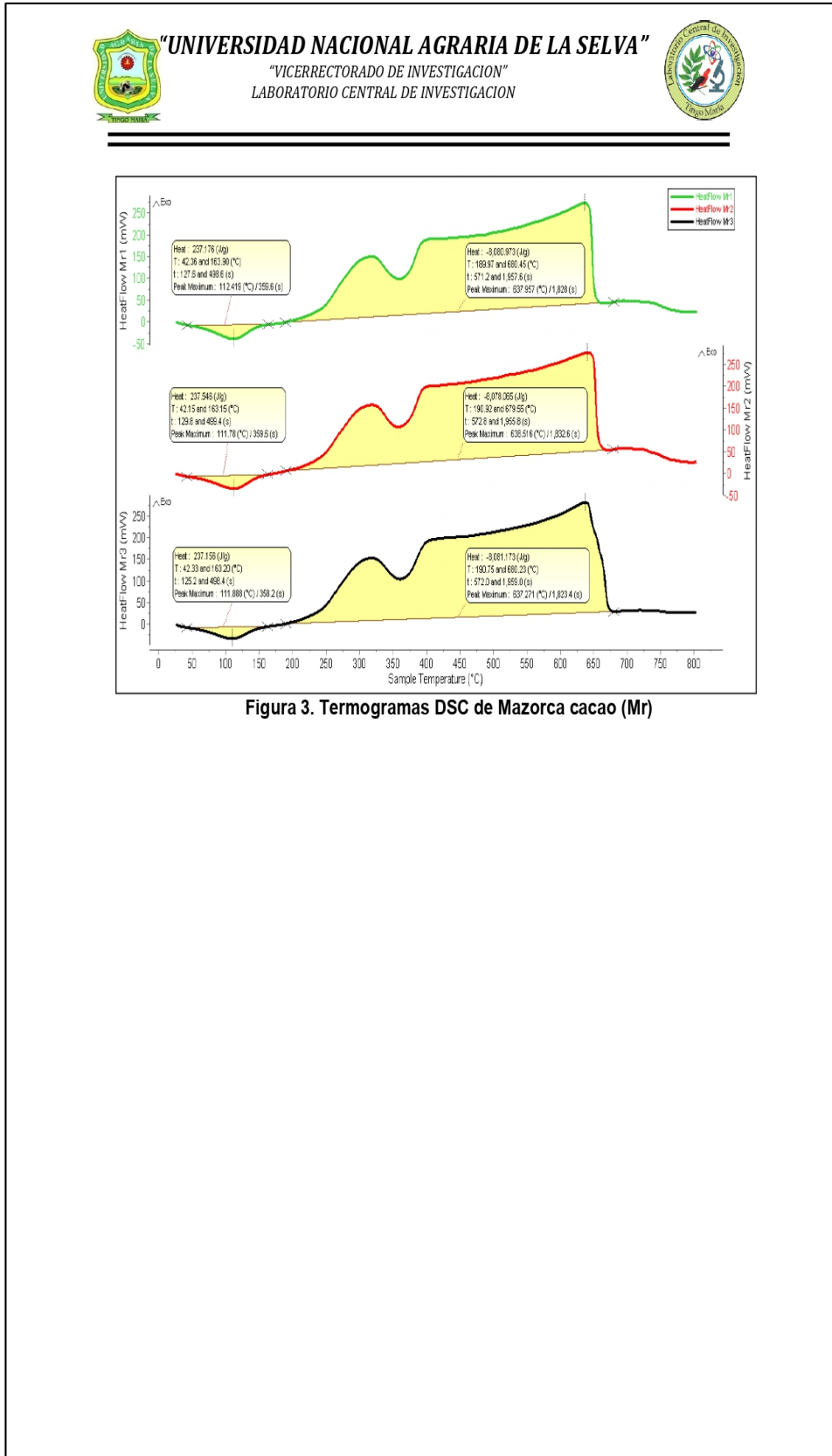




Figura 3. Termogramas DSC de Mazorca cacao (Mr)

Figura 40. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la mazorca de cacao - 4



“UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA”
 “VICERRECTORADO DE INVESTIGACION”
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



**RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO Y CALORIMETRÍA
 DIFERENCIAL DE BARRIDO EN SIMULTÁNEO (TGA/DSC)**

1. Descripción de la muestra


| | | |
|---------------------|--|------------------|
| Fecha de recepción | 10/02/2023 | Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth | |
| Tipo de muestra | Carbón | |
| Código | Cr | |
| Cantidad muestra | 5.0 g | |
| Humedad referencial | No especificada | |
| N° de Recibo | 23004630 | |
| Observaciones | • Análisis TGA y DSC simultáneo (Combustión) | |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Carbón (Cr) |
| Nombre genérico | Experimento 3 |
| Peso de la muestra | 30 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|----------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Calentamiento | 25°C – 1000°C | 15 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Enfriamiento | 1000°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |



Ing. Trujillo Ccanahuire, José L.
Especialista Área de Calorimetría



Dr. Soria Iturri, Melchor
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 41. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 1



“UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA”

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACION”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



4. Transiciones detectadas:

4.1. Resultados de Termogravimetría TGA y DTG en muestra de Carbón (Cr)

| Zonas Detectadas | Repeticiones | Rango de Temperatura | | ΔT °C (Tf - Ti) | Tp° máxima Degradación (°C) | Velocidad de pérdida (%/min) | Δm (%) |
|------------------|--------------|----------------------|---------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| | | Ti (°C) | Tf (°C) | | | | |
| Zona 1 | Cr1 | 44.43 | 161.19 | | 116.28 | 3.880 | 13.41 |
| | Cr2 | 44.06 | 159.02 | | 116.49 | 3.723 | 13.04 |
| | Cr3 | 45.63 | 161.40 | | 116.05 | 3.734 | 12.86 |
| Zona 2 | Cr1 | 161.19 | 222.56 | | 179.14 | 1.563 | 2.86 |
| | Cr2 | 159.02 | 223.04 | | 177.28 | 1.527 | 3.03 |
| | Cr3 | 161.40 | 222.27 | | 178.09 | 1.604 | 2.85 |
| Zona 3 | Cr1 | 271.56 | 896.28 | | 840.95 | 3.010 | 65.903 |
| | Cr2 | 270.39 | 895.01 | | 839.48 | 3.041 | 66.286 |
| | Cr3 | 271.97 | 896.40 | | 840.73 | 3.099 | 66.64 |

Ti : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; Δm : variación de masa

4.2. Resultados Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en muestra de Carbón (Cr)

| Transición | Repetición | Tipo de reacción | To (°C) | Tp (°C) | Tf (°C) | ΔH (J/g) |
|------------|------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|
| 1 | Cr1 | Endotérmica | 46.73 | 120.937 | 166.07 | 200.301 |
| | Cr2 | Endotérmica | 46.89 | 118.667 | 166.90 | 200.928 |
| | Cr3 | Endotérmica | 45.93 | 118.155 | 165.20 | 201.231 |
| 2 | Cr1 | Exotérmica | 181.64 | 729.055 | 905.38 | -16600 |
| | Cr2 | Exotérmica | 181.50 | 728.84 | 905.76 | -16900 |
| | Cr3 | Exotérmica | 181.35 | 730.719 | 906.61 | -16400 |

To : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; ΔH : Entalpía

4.3. Poder calórico de Carbón (Cr)

| Muestra | Repetición | Poder Calórico (J/g) |
|---------|------------|----------------------|
| Carbón | Cr1 | 16399.699 |
| | Cr2 | 16699.072 |
| | Cr3 | 16198.769 |

Figura 42. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 2



5. Termogramas del Análisis simultáneo TGA/DSC.

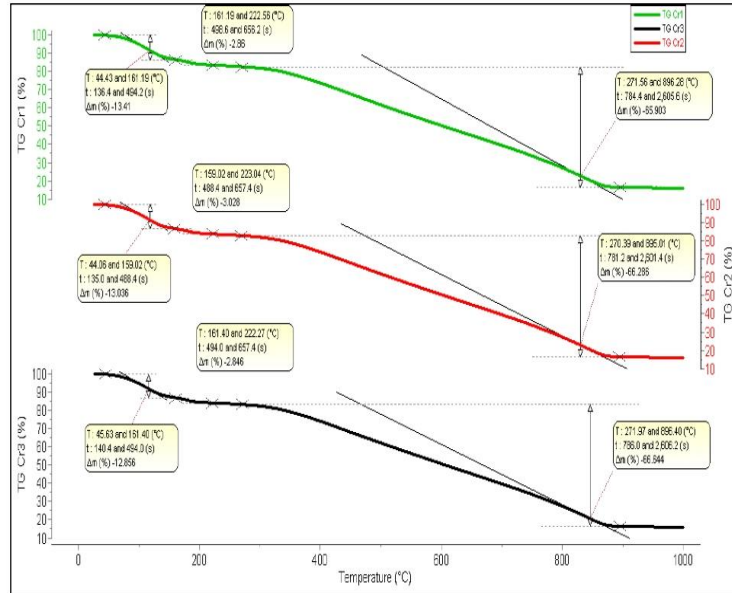


Figura 1. Termogramas TGA de Carbón (Cr)

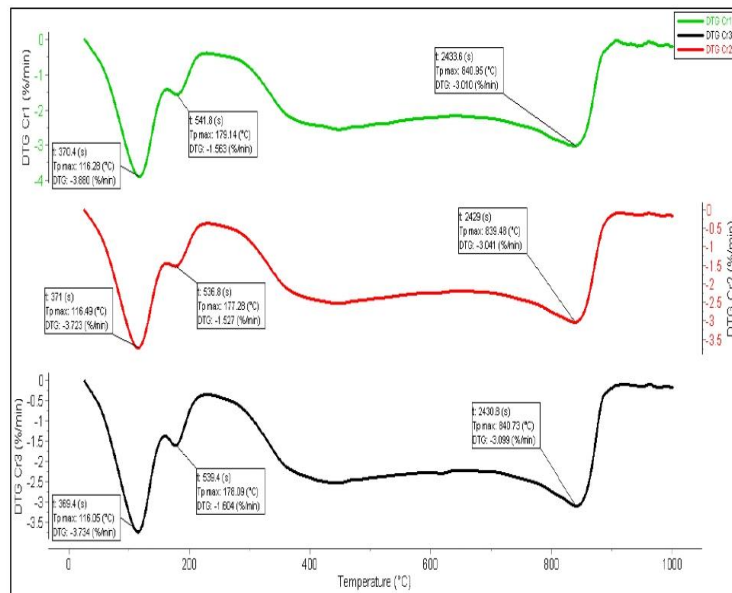


Figura 2. Termogramas DTG de Carbón (Cr)

Figura 43. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 3

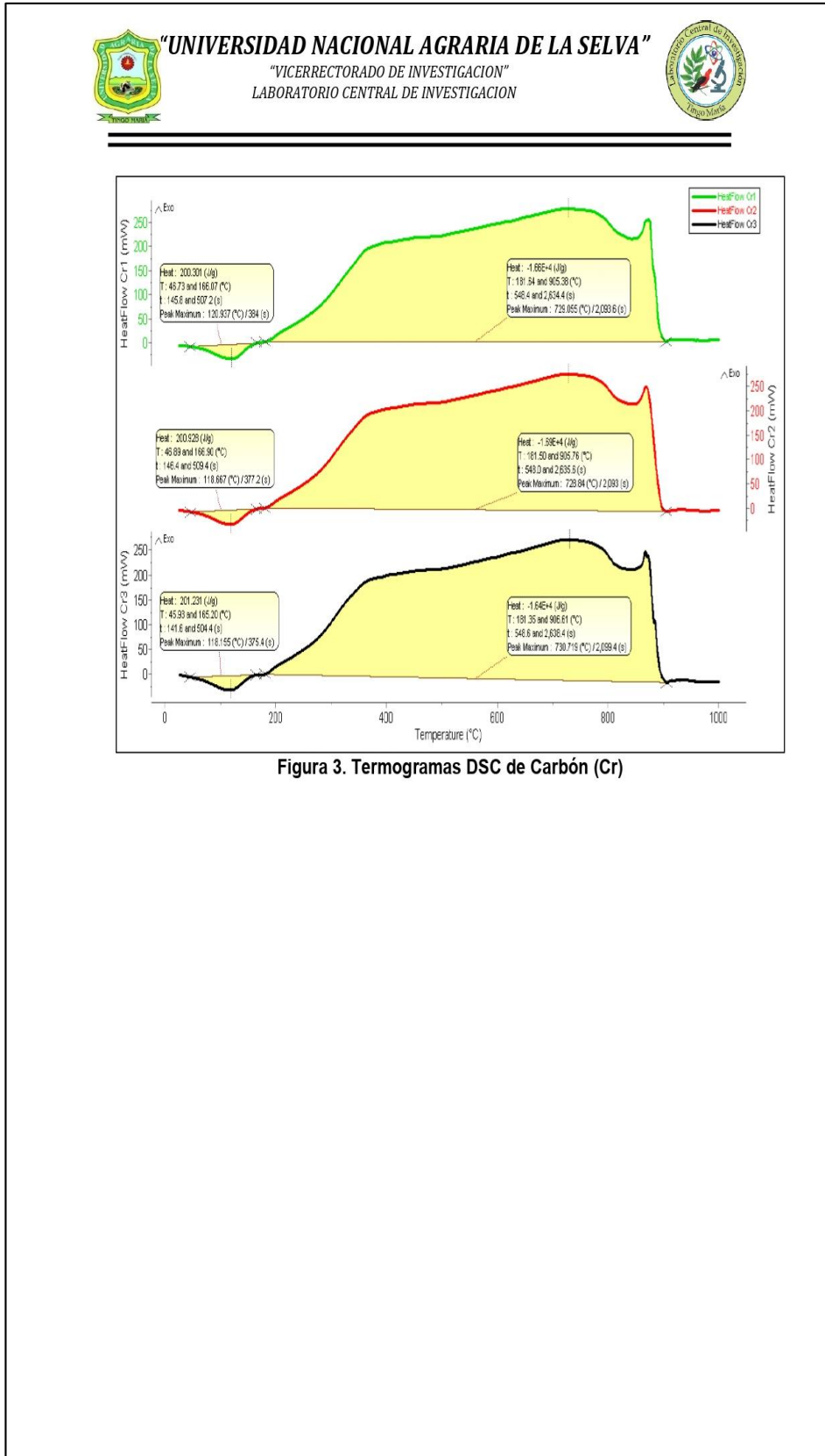




Figura 44. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo del carbón vegetal - 4



“UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA”
 “VICERRECTORADO DE INVESTIGACION”
 LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



**RESULTADOS DE ANÁLISIS TERMOGRAVIMÉTRICO Y CALORIMETRÍA
 DIFERENCIAL DE BARRIDO EN SIMULTÁNEO (TGA/DSC)**

1. Descripción de la muestra


| | | |
|---------------------|--|------------------|
| Fecha de recepción | 10/02/2023 | Hora: 11:00 a.m. |
| Solicitante | Ataucusi Flores Pierina Lisbeth | |
| Tipo de muestra | Briqueta | |
| Código | Br | |
| Cantidad muestra | 5.0 g | |
| Humedad referencial | No especificada | |
| N° de Recibo | 23004630 | |
| Observaciones | • Análisis TGA y DSC simultáneo (Combustión) | |

2. Programación del experimento


| | |
|------------------------|---|
| Calorímetro | Labsys Evo Robot – gas option TGA-DSC 1600 °C |
| Marca | SETARAM (Francia) |
| Calibración | Indio y Aluminio (99.999%) |
| Nombre del experimento | Briqueta (Br) |
| Nombre genérico | Experimento 2 |
| Peso de la muestra | 30 ± 0.5 mg |
| Tipo de crisol | Alúmina 100 µL |

3. Rampas de calentamiento

| Zona estándar | Rango de temperatura | Velocidad de escaneo | Tiempo | Flujo del gas | Gas usado |
|----------------|----------------------|----------------------|--------|---------------|-----------|
| Estabilización | 25°C – 25°C | ----- | 30 min | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Calentamiento | 25°C – 800°C | 15 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |
| Enfriamiento | 800°C – 30°C | 20 °C/min | ----- | 60 mL/min | Nitrógeno |
| | | | | 16 mL/min | Oxígeno |



Ing. **Trujillo Ccanahuire, José L.**
Especialista Área de Calorimetría



Dr. **Soria Iturri, Melchor**
Director del Laboratorio Central de Investigación - UNAS

Figura 45. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 1



"UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA"

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACION"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACION



4. Transiciones detectadas:

4.1. Resultados de Termogravimetría TGA y DTG en muestra de Briqueta (Br)

| Zonas Detectadas | Repeticiones | Rango de Temperatura | | ΔT °C | Tp° máxima Degradación (°C) | Velocidad de pérdida (%/min) | Δm (%) |
|------------------|--------------|----------------------|---------|---------------|-----------------------------|------------------------------|----------------|
| | | Ti (°C) | Tf (°C) | (Tf - Ti) | | | |
| Zona 1 | Br1 | 42.24 | 161.09 | 118.85 | 110.94 | 3.206 | 10.73 |
| | Br2 | 42.40 | 162.66 | 120.26 | 110.4 | 3.209 | 10.36 |
| | Br3 | 43.06 | 162.71 | 119.65 | 110.01 | 3.377 | 11.15 |
| Zona 2 | Br1 | 208.75 | 359.61 | 150.86 | 280.52 | 13.283 | 44.08 |
| | Br2 | 208.08 | 360.27 | 152.19 | 280.41 | 13.306 | 44.88 |
| | Br3 | 209.23 | 359.77 | 150.54 | 280.27 | 13.137 | 44.40 |
| Zona 3 | Br1 | 359.61 | 701.43 | 341.82 | 383.66 | 3.457 | 32.36 |
| | Br2 | 360.27 | 702.35 | 342.08 | 382.61 | 3.253 | 32.58 |
| | Br3 | 359.77 | 702.00 | 342.23 | 383.87 | 3.255 | 32.62 |

Ti : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; Δm : variación de masa

4.2. Resultados Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) en muestra de Briqueta (Br)

| Transición | Repetición | Tipo de reacción | To (°C) | Tp (°C) | Tf (°C) | ΔH (J/g) |
|------------|------------|------------------|---------|---------|---------|------------------|
| 1 | Br1 | Endotérmica | 41.79 | 114.077 | 162.48 | 187.188 |
| | Br2 | Endotérmica | 41.96 | 114.81 | 162.12 | 188.243 |
| | Br3 | Endotérmica | 41.51 | 114.405 | 161.74 | 188.965 |
| 2 | Br1 | Exotérmica | 208.12 | 643.871 | 713.99 | -8825.397 |
| | Br2 | Exotérmica | 209.20 | 649.268 | 714.78 | -8594.471 |
| | Br3 | Exotérmica | 208.87 | 644.665 | 713.48 | -8629.568 |

To : Temperatura inicial; Tf : Temperatura final; Tp : Temperatura pico; ΔH : Entalpía

4.3. Poder calórico en muestra de Briqueta (Br)

| Muestra | Repetición | Poder Calórico (J/g) |
|----------|------------|----------------------|
| Briqueta | Br1 | 8638.209 |
| | Br2 | 8406.228 |
| | Br3 | 8440.603 |

Figura 46. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 2



5. Termogramas del Análisis simultáneo TGA/DSC.

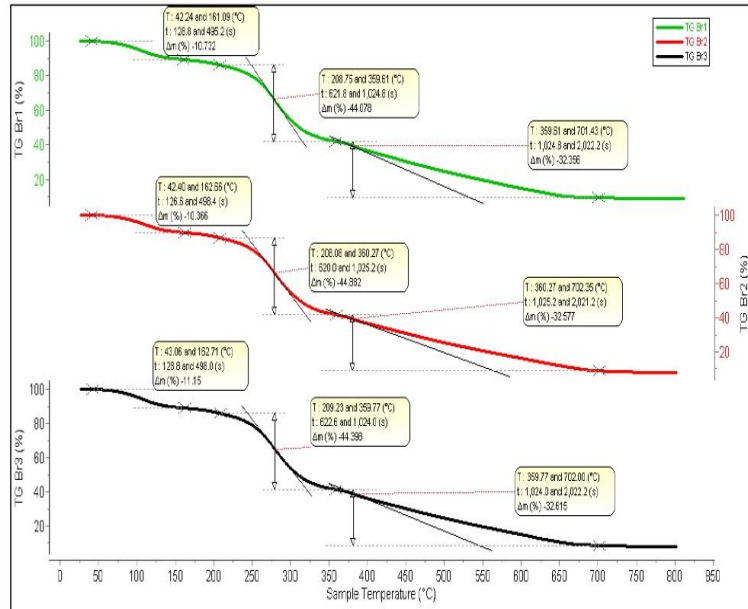


Figura 1. Termogramas TGA de Briqueta (Br)

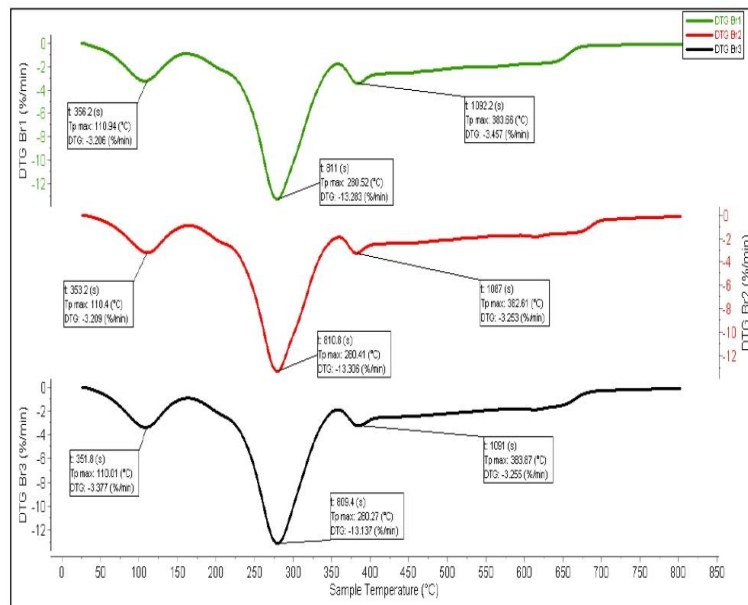


Figura 2. Termogramas DTG de Briqueta (Br)

Figura 47. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 3

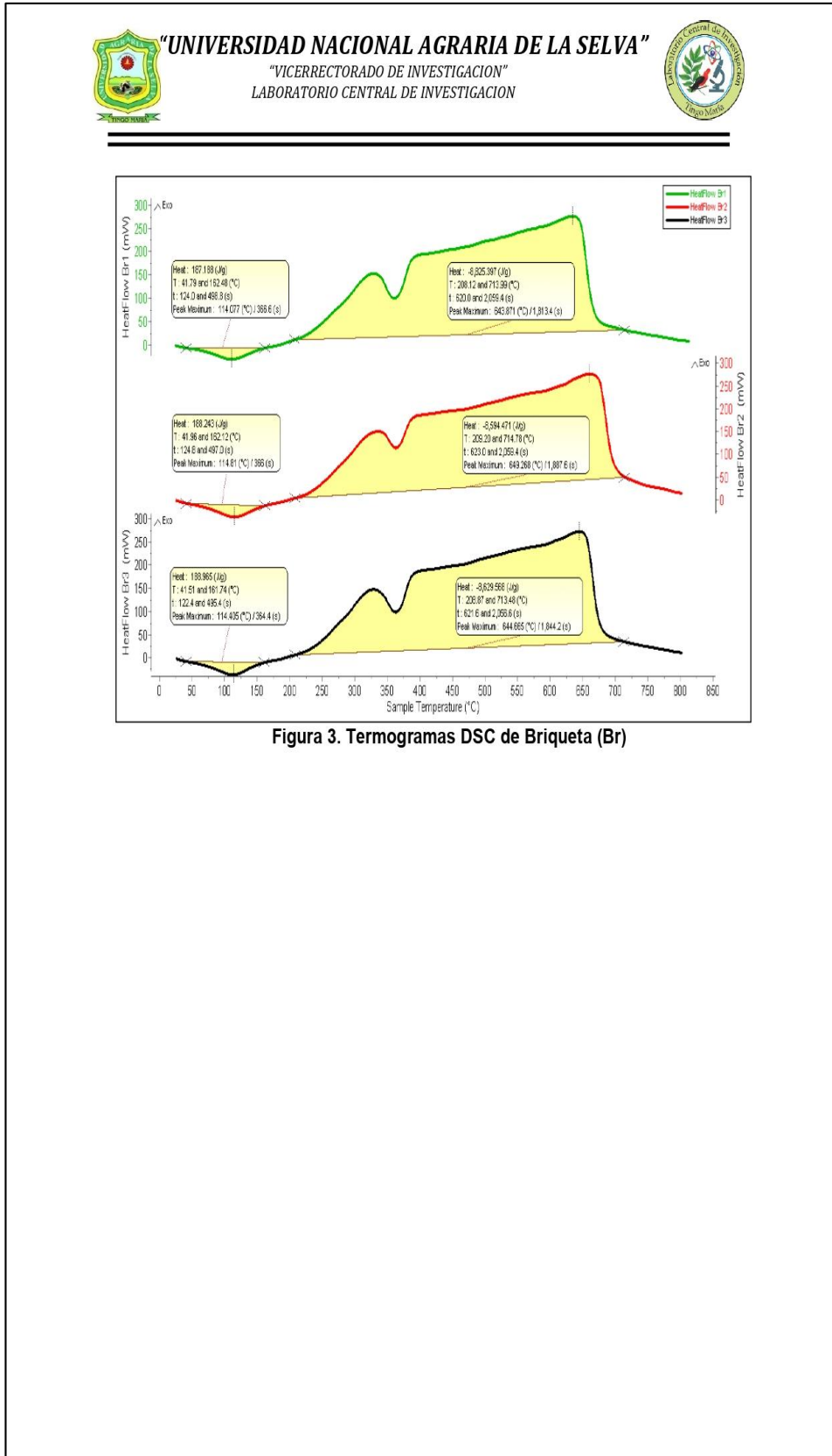


Figura 48. Resultados de análisis Termogravimétrico y Calorimetría Diferencial de Barrido en Simultaneo de la briqueta - 4

Anexo B. Panel fotográfico

Figura 49. Acondicionamiento de muestras para envío a laboratorio central



Figura 50. Tamizador N° 60 para muestras a analizar en laboratorios especializados



Figura 51. Secado de biomasa para producción de carbón vegetal



Figura 52. Molino para trituración de mazorcas de cacao



Figura 53. Producto obtenido en Tamiz N° -2 mm



Figura 54. Biomasa que ingresar al molino de cuchillas con malla N° 2 mm



Figura 55. Biomasa triturada en molino



Figura 56. Biomasa tamizada en malla N° -2 mm



Figura 57. Pesado de muestras a usar en la producción de briquetas



Figura 58. Briquetas elaboradas



Figura 59. Secado de briquetas de manera natural



Figura 60. Biomasa y productos del horno pirolítico



Figura 61. Pesado de carbón vegetal producido



Figura 62. Horno pirolítico



Figura 63. Verificación de emisiones de humo para el control de producción de carbón vegetal
– Perdida de agua



Figura 64. Verificación de emisiones de humo para el control de producción de carbón vegetal
– Indicador fin de proceso



Figura 65. Temperaturas obtenidas en el termómetro infrarrojo



Figura 66. Medición de temperatura de producción de carbón vegetal



Figura 67. Acompañamiento de asesor en el desarrollo de la tesis



Figura 68. Recopilación de leña para la carbonización



Figura 69. Secado de biomasa en estufa



Figura 70. Corte de biomasa para posterior secado



Figura 71. Recopilación de biomasa en campo



Figura 72. Mazorca de cacao



Figura 73. Impresión 3D de briquetadora

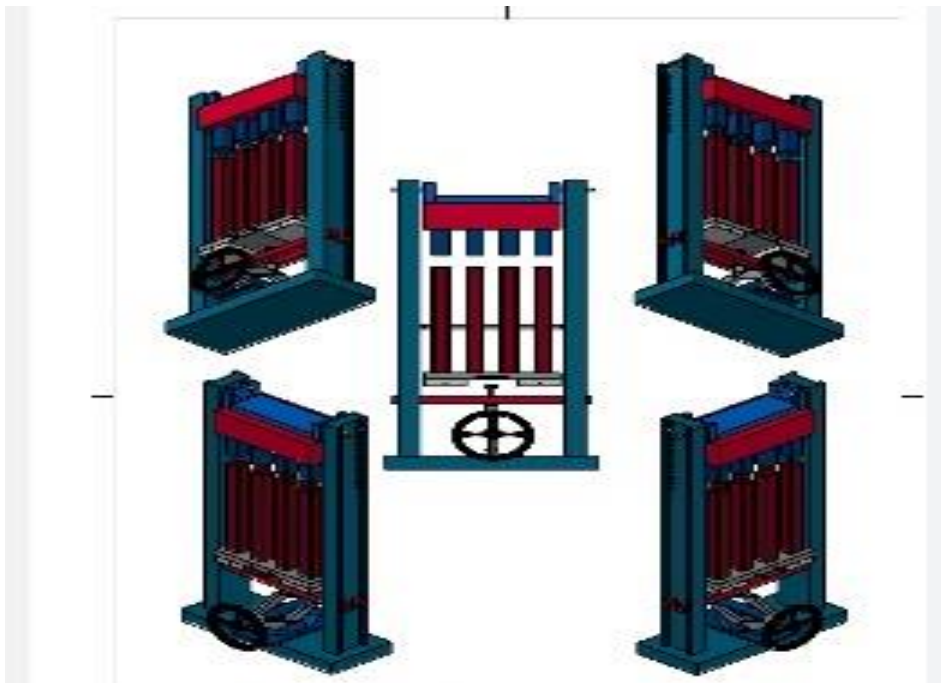


Figura 74. Diseño de maquina briquetadora



Figura 75. Compactación de 2 TN con maquina briquetadora



Figura 76. Maquina briquetadora



Figura 77. Pesado de briquetas



Figura 78. Rotulado de briquetas obtenidas



Figura 79. Aglutinantes usados en la elaboración de briquetas



Figura 80. Mezcla de biomasa y aglutinantes