UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Ambiental

"Caracterización de la biomasa acumulada en el Embalse Mazar"

Trabajo de titulación previo a la obtención

del título de Ingeniera Ambiental

Autora

Carolina Estefanía Flores Brito

CI: 0150314268

Correo electrónico: carofb7.cf@gmail.com

Director

Ing. José David Serrano Campoverde

CI: 0301964748

Cuenca – Ecuador

17 de marzo de 2022

Resumen

Dentro del embalse Mazar existe una gran acumulación de residuos de origen orgánico denominados palizada, un tipo de biomasa; y restos inorgánicos. Estos provienen de los ríos de los cantones Cuenca, Azogues, Paute, Chordeleg y Gualaceo que desembocan en la cuenca del río Paute, afluente de este embalse. Esta podría convertirse en zona de desarrollo de vectores de enfermedades, por putrefacción de la madera; emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera y degradar de la calidad hídrica local, estos últimos por consecuencia de la eutrofización. En este contexto los objetivos propuestos para las 2 zonas de palizada acumulada son: cuantificar la biomasa que ha llegado al embalse durante los últimos 5 años, aplicar un análisis proximal, elemental y de poder calorífico superior para conocer el potencial energético que la biomasa acumulada posee y en un futuro implementar una correcta gestión de esta. El proceso de muestreo se hizo en el mes de junio de 2021, dividiendo cada montículo de biomasa en 3 secciones: Alta, Media y Baja. Basándose en la metodología propuesta por la Norma Española, UNE-EN ISO, se hicieron los análisis de caracterización de biomasa. Para su procesamiento se aplicaron los test de ANOVA y Shapiro-Wilk, con el fin de conocer si existe diferencia entre las 3 secciones y así tratarlas por separado. Con los resultados obtenidos se calculó que en estos años de recolección se acumularon aproximadamente 5000 toneladas de biomasa. Asimismo, se determinó que la biomasa residual sí cumple con las condiciones idóneas como materia prima para la generación eléctrica y como biocombustible.

Palabras clave: Biomasa. Cuantificación. Análisis elemental. Análisis proximal. Poder calorífico superior.

Abstract

In the dam of Mazar, there is a great accumulation of organic waste, known as driftwood, a type of biomass, and inorganic waste. This driftwood originates in the rivers that belong to Cuenca, Azogues, Paute, Chordeleg and Gualaceo whose outlet is the Paute river, tributary of this dam. These residues may signify the biomass' shift into a vector development zone, due to wood decomposition; emission of greenhouse gases in to the atmosphere and degradation of local water, the last two as consequence of a eutrophication process. In this context, the objectives for the two zones of accumulated driftwood are: to quantify the biomass that has arrived in the last 5 years, to implement a proximate, ultimate and high heating value analysis to determine the biomass' energetic potential to enforce its proper management. The sampling process took place in June 2021, dividing each amount of biomass in 3 sections – High, Medium and Low. Based on the methodology proposed by the Spanish Norm, UNE – EN ISO, several analyses of biomass characterization were conducted. The ANOVA and Shapiro-Wilk test were applied for data processing in order to know if there is a difference between the three sections and manage them separately. From the results, it was estimated that around 5 000 tons of biomass were accumulated. In the same light, it was determined that the residual biomass meets the ideal conditions as a raw material for electric generation and biofuel.

Key words: Biomass. Quantification. Proximate analysis. Ultimate analysis. High heating value.

Índice

Resumen....2
Abstract....3
Agradecimientos....12
Dedicatoria....13
Glosario....14
CAPÍTULO I....15
1.1 Introducción....15
1.2 Identificación del problema y justificación....15
1.3 Antecedentes....17
1.3.1 Unidad de Negocio CELEC SUR....17
1.3.2 Gestión Social y Ambiental....18
1.3.3 Proyecto Hidroeléctrico Mazar....19
1.3.4 Cantón Guachapala....20
1.3.5 Asociación Agropecuaria Santa Teresita....21
1.4 Hipótesis....21
1.5 Objetivos....22
1.5.1 Objetivo general....22
1.5.2 Objetivos específicos....22
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO....23
2.1 Embalse....23
2.2 Biomasa....24
2.2.1 Tipos de biomasa....24
2.2.2 Biomasa Forestal....24
2.3 Densidad aparente (ρ)....25
2.4 Análisis proximal de biomasa....25
2.4.1 Humedad....25
2.4.2 Ceniza....25
2.4.3 Material volátil....26
2.4.4 Carbón fijo....26
2.5 Análisis químico de biomasa....26
2.6 Poder calorífico....26
2.6.1 Poder calorífico superior....27
2.7 Usos de biomasa forestal....27

2.7.1 Productos finales 27
2.7.2 Calefacción y cocina 27
2.7.3 Electrificación rural 28
2.7.4 Transporte 28
2.7.5 Mejorador de suelos 28
2.7.6 Filtrador de agua 28
2.8 Análisis estadístico 28
2.8.1 Coeficiente de variación 29
2.8.2 Test de Análisis de Varianza 29
2.8.3 Test de Kruskal – Wallis 29
CAPÍTULO III 30
3.1 Área de estudio 30
3.1.1 Mantenimiento del área de estudio 30
3.2 Toma de muestras 31
3.2.1 Tratamiento de muestras 33
3.3 Cuantificación de la biomasa acumulada en el embalse Mazar 34
3.3.1 Cálculo del volumen de la biomasa 34
3.3.2 Cálculo de densidad 35
3.3.3 Cálculo de masa total 35
3.4 Caracterización de las propiedades físicas de biomasa acumulada en el embalse Mazar 36
3.4.1 Humedad 36
3.4.2 Material volátil 37
3.4.3 Cenizas 37
3.4.4 Carbono fijo 38
3.5 Caracterización de las propiedades químicas de biomasa acumulada en el embalse Mazar 38
Procedimiento 38
3.6 Determinación del poder calorífico de biomasa acumulada en el embalse Mazar 39
Procedimiento 39
3.7 Tratamiento de datos 39
3.7.1 Prueba de ANOVA 40
3.7.2 Prueba de Kruskal - Wallis 40
3.7.3 Diagrama de cajas 41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 42

4.1 Cuantificación de la biomasa 42
4.2 Caracterización de propiedades físicas de la biomasa 43
4.3 Caracterización de propiedades químicas de biomasa. 51
4.4 Caracterización del poder calorífico 56
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 59
5.1 Conclusiones 59
5.2 Recomendaciones 62
Bibliografía y referencias 63
Anexos 74
Anexo 1: Formato de etiquetado para las muestras 74
Anexo 2: Resultados de laboratorio de la densidad de la biomasa 75
Anexo 3: Resultados de laboratorio 76
Anexo 4. Resultados de laboratorio de la humedad en base húmeda 94
Anexo 5: Código aplicado para las pruebas estadísticas 95

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio en el embalse Mazar ..……..…31
Figura 2. Vista panorámica del montículo de madera en San Carlos – junio 2021..……32
Figura 3. Montículo de madera en Sacre – junio 2021…….…….32
Figura 4. Montículo de madera en San Carlos – septiembre 2021……32
Figura 5. Montículo de madera en Sacre, vista superior – septiembre 2021…….33
Figura 6. Muestras trozadas y distribuidas en bandejas……34
Figura 7. Muestras colocadas en el secador ……34
Figura 8. Trituración de las muestras……34
Figura 9. Pesado de muestra……36
Figura 10. Estufa para secado de muestras…...……36
Figura 11. Diagrama de procesos del tratamiento de resultados …….…….……41
Figura 12. Diagrama de cajas de la variable humedad en base húmeda..……..……....48
Figura 13. Diagrama de cajas de la variable humedad en base seca…....……...…..…49
Figura 14. Diagrama de cajas de la variable cenizas….....…….50
Figura 15. Diagrama de cajas de la variable volátiles…….……50
Figura 16. Diagrama de cajas de la variable carbono fijo……...……...….51
Figura 17. Diagrama de cajas de la variable carbono……55
Figura 18. Diagrama de cajas de la variable nitrógeno……55
Figura 19. Diagrama de cajas del poder calorífico……....58

Índice de tablas

Tabla 1. Cuantificación de la biomasa acumulada en el embalse Mazar……..…42

Tabla 2. Promedio de cada variable física de la biomasa……..…..44

Tabla 3. Media y coeficientes de variación de los 3 grupos de datos para cada variable física……...……..45

Tabla 4. Prueba de normalidad para los datos de las variables físicas …..……46

Tabla 5. Pruebas de similitud de varianzas de las variables físicas……...……46

Tabla 6. Pruebas de similitud de grupos para las variables físicas……47

Tabla 7. Resultados de análisis a posteriori de la variable cenizas……47

Tabla 8. Promedio de cada variable química de la biomasa…….52

Tabla 9. Media y coeficientes de variación de los 3 grupos de datos para cada variable química……...…….53

Tabla 10. Prueba de normalidad para los datos de las variables químicas…..……...53

Tabla 11. Pruebas de similitud de varianzas de las variables químicas…..……...54

Tabla 12. Pruebas de similitud de grupos para la variable nitrógeno……..54

Tabla 13. Resultados de análisis a posteriori de la variable nitrógeno…….54

Tabla 14. Promedio de variación del poder calorífico de la biomasa……..…56

Tabla 15. Media y coeficientes de variación de los 3 grupos de datos para el poder calorífico……...…...56

Tabla 16. Prueba de normalidad para el poder calorífico…….…..……...57

Tabla 17. Pruebas de similitud de varianzas y de grupos para el poder calorífico……...…...57

Tabla 18. Formato de etiquetado para la identificación de las muestras……...……74

Tabla 19. Cálculo de la densidad de la biomasa ……...…….……75

Tabla 20: Resultados de laboratorio de la muestra ZIMI…….……76

Tabla 21: Resultados de laboratorio de la muestra ZIM2…..……...77

Tabla 22: Resultados de laboratorio de la muestra ZIM3……..……...78

Tabla 23Resultados de laboratorio de la muestra Z2MI…….……....79

Tabla 24: Resultados de laboratorio de la muestra Z2M2…….……...80

Tabla 25: Resultados de laboratorio de la muestra Z2M3……..……...81

Tabla 26: Resultados de laboratorio de la muestra Z3MI……..……...82

Tabla 27: Resultados de laboratorio de la muestra Z3M2……...83

Tabla 28: Resultados de laboratorio de la muestra Z3M3……...84

Tabla 29: Resultados de laboratorio de la muestra Z4MI…….……...85

Tabla 30: Resultados de laboratorio de la muestra Z4M2…….……...86

Tabla 31: Resultados de laboratorio de la muestra Z4M3……...87

Tabla 32: Resultados de laboratorio de la muestra Z5MI……..……...……88

Tabla 33: Resultados de laboratorio de la muestra Z5M2……...89

Tabla 34: Resultados de laboratorio de la muestra Z5M3…….……..90

Tabla 35: Resultados de laboratorio de la muestra Z6MI…….……..……91

Tabla 36: Resultados de laboratorio de la muestra Z6M2……...92

Tabla 37: Resultados de laboratorio de la muestra Z6M3……..….93

Tabla 38. Cálculo de la humedad en base húmeda…….….94

Cláusula de Propiedad Intelectual

Carolina Estefanía Flores Brito, autora del trabajo de titulación "Caracterización de la biomasa acumulada en el embalse Mazar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 7 de enero de 2022

Carolina Estefanía Flores Brito

C.I: 0150314268

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Carolina Estefanía Flores Brito, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Caracterización de la biomasa acumulada en el embalse Mazar", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 7 de enero de 2022

Carolina Estefanía Flores Brito

C.I: 0150314268

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi madre y mi padre por haber sido un apoyo constante a lo largo de mi carrera universitaria y sobre todo en el desarrollo de este trabajo de titulación. A mis hermanos Adrián y Pedro por ayudarme y siempre aconsejarme sabiamente.

Agradezco a mi tutor el Ing. José Serrano Campoverde quien con paciencia y su experiencia supo ayudarme e instruirme en todas las actividades que implicaron este trabajo. A mis asesores, el Ing. Santiago Manobanda por guiarme en cada paso a seguir y ser un amigo incondicional y el Ing. Pedro Alvarado quien fue apoyo y guía en este trabajo. De igual manera a todos los docentes quienes fueron un pilar fundamental en mi educación durante estos 5 años de carrera.

Finalmente, a todos quienes me apoyaron con su tiempo, conocimientos y apoyo emocional para que este trabajo pueda llevarse a cabo. De manera especial a: Santiago Nathaly, Priscila, Daniela, Mónica, Cristina, Gabriela y María José.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a toda mi familia. Pero de manera especial a mi hermano Adrián quien siempre ha sido un guía a lo largo de mi vida, por siempre apoyar mis ideas, respaldar mis decisiones; sus consejos siempre han llegado en el momento correcto y ha sabido ser mi ejemplo de amor y perseverancia.

Glosario

1. **Culicoides**: Son insectos de la familia Ceratopogonidae. Se encuentran distribuidos por todo el mundo a excepción de zonas polares. Afecta a rumiantes domésticos y silvestres, este insecto es el principal vector del virus de la lengua azul.
2. **Mansonelosis:** Es una enfermedad que se distribuye en América del Sur, Caribe y África subsahariana. Comúnmente no presenta síntomas, pero también puede generar fiebre mialgias, erupciones cutáneas, sensación de frío en piernas y síntomas neuropsiquiátricos, como trastornos de conducta o alteración de apetito y sueño.
3. **Dendroenergía**: Se define como dendroenergía a la energía producido a base de biomasa forestal, ya sea biocombustible o electricidad.
4. **UNE-EN ISO**: Normas Españolas desarrolladas por los Comités Técnicos de Normalización, estas se emplean en el ámbito tecnológico, EN refiriendo al idioma español e ISO que se encuentran aprobadas por la red de la Organización Internacional de Normalización.

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

Los ríos suelen ser receptores de residuos generados por actividades antrópicas e inclusive por fenómenos naturales. Su agua es hogar de animales y plantas acuáticas, esta suele emplearse para consumo, generación de energía, actividades recreativas etc. Por ello lo ideal es que estos residuos sean removidos para así evitar problemas socioambientales a futuro como la alteración de la calidad del agua o convertirse en vectores de enfermedades.

Tal es el caso de las cuencas hidrográficas que forman el río Paute, que arrastran residuos hasta la formación del embalse Mazar. Estos son recolectados a orillas del embalse en dos comunidades, San Carlos y Sacre, pertenecientes al cantón Guachapala. La mayoría de residuos son de origen orgánico, conocidos también como biomasa. Estos pueden seguir cumpliendo su ciclo de vida y ser potenciales fuentes de combustible y electricidad.

El presente estudio se enfocó en cuantificar la biomasa que se encuentra recolectada, aplicar un análisis proximal, elemental y de poder calorífico de estos residuos. Esto con la intención de conocer aproximadamente la masa de residuos que ha llegado al embalse en los últimos 5 años. Igualmente, conocer las características que estos poseen para generar una base para futuras investigaciones que beneficiará a la comunidad de Guachapala y al proyecto Hidroeléctrico Mazar.

1.2 Identificación del problema y justificación

En la cola del embalse de Mazar se presenta una gran acumulación de basura orgánica e inorgánica. De acuerdo con el estudio realizado por Alvarado (2013), en el embalse se arrastra gran cantidad de residuos flotantes, como ramas, troncos, residuos plásticos, neumáticos e inclusive animales muertos. El embalse Mazar aprovecha el caudal del río Paute que se forma por las aguas de los cantones: Azogues, Biblián, Déleg, Cuenca, Paute, Guachapala, El Pan, Sevilla de Oro, Gualaceo, Chordeleg y Sígsig; que se encuentran ubicados a lo largo de la subcuenca. Durante todo el año las aguas de los ríos aledaños a estos cantones arrastran residuos, evento que se acentúa entre los meses de marzo a julio, meses de máximo caudal en el río Paute (CELEC EP, 2014). Dentro de esta cuenca predominan dos épocas meteorológicas que son la húmeda y seca, con más importancia la época húmeda ya que con las crecidas de los ríos se arrastra una gran cantidad de material orgánico provenientes de la vegetación ribereña (CELEC EP, 2015). La estación

seca más prolongada se da entre los meses de agosto a octubre y hay otra de más corta entre los meses de diciembre a febrero. Mientras que la estación húmeda se produce en el mes de noviembre, la cual es baja y no muy pronunciada en comparación con la principal temporada de lluvias que se produce entre los meses de mayo a julio (Buytaert et al., 2006). Frente a esta situación, la acumulación de biomasa en el embalse es constante, ya sea en pequeñas o grandes cantidades, durante todo el año. En el trabajo presentado por Moreno (2011) se indica que desde el mes de octubre de ese año hasta la actualidad CELEC SUR en conjunto con la Asociación Agropecuaria Santa Teresita se encargan de la limpieza de residuos orgánicos que llegan al embalse. Iniciaron con la remoción de lechuguines y desde el 2015 se empezó con la recolección de palizada que llega a la cola del embalse. Se empezó nivelando el terreno y rellenándolo con la palizada recolectada inicialmente después esta se empezó a acumular (CELEC EP, 2016). A pesar de estas acciones, la presencia de estos residuos en las orillas del embalse deriva en varias condiciones indeseables.

La biomasa acumulada causa problemas socioambientales, pues se encuentra madera podrida y hojarasca en descomposición, llegando a ser un lugar idóneo para el desarrollo de vectores portadores de enfermedades. Tal es el caso del mosquito del género Culicoides[1] que con su picadura es capaz de infectar con mansonelosis[2] a humanos, provocándoles fiebre, dolores de cabeza o molestias pulmonares. También transmite el virus de la lengua azul (BTV), que afecta a animales rumiantes interfiriendo en el crecimiento ideal de su lana, hemorragias en mucosas, malformaciones fetales o causarles la muerte (Escandón, 2011; González, 2020; Verdezoto, 2016). En un estudio realizado en Ecuador, publicado por Verdezoto (2016), se recolectaron 295 muestras de sangre de ganado donde el 98,9 % se encontraba infectado con BTV, confirmando que es un virus que se encuentra en el país y que puede afectar a especies animales y humanos. Otra consecuencia de la acumulación de estos residuos en el agua; es el proceso de eutrofización debido a que sus aguas se enriquecen con nutrientes, como fósforo y nitrógeno, aportados en su mayoría por los desechos de origen orgánico; esto genera un abundante crecimiento de algas, plantas y poblaciones bacterianas como cianobacterias; y como consecuencia final de la eutrofización, el agua perderá su calidad y ya no podrá albergar vida por falta de oxígeno (Ramos, 2018). Un caso de estudio muestra que, en el embalse de Betania, Colombia, se hizo un conteo de cianobacterias como indicadoras de calidad de agua y como resultado en la época de lluvia, donde se produjo una gran

cantidad de palizada, hubo el mayor conteo de cianobacterias (Comba, 2009). Es por ello que actualmente se considera que los embalses son fuente de gases de efecto invernadero como CO_2 y CH_4 debido a la degradación bacteriana de la materia orgánica (Lopera et al., 2016; Medina et al., 2017).

Para poder mitigar estos problemas relacionados con la acumulación de biomasa y con la intención de encontrar medidas viables para el tratamiento a los residuos orgánicos, inicialmente, se requiere saber cuál es la cantidad de biomasa que se acumula, creando así un primer registro de la biomasa que llega al embalse. Además, al conocer las características físico - químicas que posee esta, se aporta con información que aún no ha sido generada por CELEC SUR y así elaborar una base para el inicio de futuras aplicaciones tecnológicas a estos residuos (Moreno, 2011). En términos generales lo que se busca es hacer una cuantificación y caracterización de la biomasa que se encuentra en el embalse de Mazar para su posterior tratamiento y uso.

1.3 Antecedentes

El embalse Mazar tiene una longitud aproximada de 31 km (Alvarado, 2013), el cual trae consigo diferentes residuos y es en el cantón Guachapala donde se realiza la limpieza de estos, los cuales provienen de los ríos: Tarqui, Yanuncay, Tomebamba, Machángara, Matadero, Burgay, Jadán y Gualaceo afluentes al río Paute (CELEC EP, 2006). Desde finales del 2015 en la zona de San Carlos y Sacre, pertenecientes al cantón Guachapala, se recolectan los residuos flotantes del embalse donde se separan los inorgánicos; como plásticos de diferentes tipos, residuos de cuero, llantas, vidrio, etc.; y orgánicos, principalmente troncos y ramas de árboles. Esta gestión de limpieza se lleva a cabo por la Unidad de Negocio CELEC SUR con la ejecución de la Asociación Agropecuaria Santa Teresita.

1.3.1 Unidad de Negocio CELEC SUR

La Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP cuenta con varias unidades de negocio que controlan la generación: térmica, hidroeléctrica y eólica del país. Una de ella es la Unidad de Negocio CELEC SUR, antes denominada CELEC Hidropaute hasta el 2020 (CELEC EP, 2020). Esta brinda mantenimiento, se encarga de la operación y administra las centrales eléctricas: Mazar, Molino, Sopladora y Minas San Francisco, que suman una capacidad instalada de 2027 MW. Igualmente se encarga de los futuros proyectos

hidroeléctricos Zamora Santiago y Cardenillo, este último vinculado con Mazar, Molino y Sopladora conformando Paute Integral (CELEC EP, 2021).

1.3.2 Gestión Social y Ambiental

La Jefatura de Gestión Ambiental y Responsabilidad Social busca prevenir la contaminación, preservar el ecosistema y minimizar los efectos del cambio climático. Sus actividades en general se desempeñan en los campos de (CELEC EP, 2017):

- Manejo de la subcuenca
- Relaciones comunitarias
- Calidad ambiental
- Eficiencia en el uso de recursos
- Investigación y vinculación académica
- Plataforma de la gestión de información
- Comunicación y concienciación

Los dos primeros campos de acción se relacionan directamente con el estudio de esta investigación.

a) Manejo de subcuenca:

- **Gestión integral de desechos en cuerpos de agua**

Las hidroeléctricas que conforman Paute Integral depende del agua embalsada de los ríos Paute y Collay, y por lo ya mencionado, sus afluentes aportan con desechos orgánicos e inorgánicos de sus cantones aledaños, sobre todo en épocas de crecientes. Por ello CELEC SUR gestiona la limpieza, recolección y disposición de estos residuos mencionados, reduciendo así la proliferación de vectores, malos olores, alteración de la calidad de agua resguardando así la salud de los habitantes de las comunidades cercanas al embalse (CELEC EP, 2017).

b) Relación comunitaria

- **Apoyo a la inclusión social y económica**

Ante diferentes necesidades que presentan las comunidades del área de influencia de los proyectos Hidroeléctricos de la Unidad de negocio CELEC SUR, se priorizan acciones para alcanzar su bienestar. Por lo que se apoya a los grupos comunitarios mediante la inclusión socio-económica, capacitación, contratación de actividades necesarias para la Unidad de Negocio y fortalecimiento de sus asociaciones. Dentro de las organizaciones

beneficiadas se encuentran: ASOLIAMALUZA, ASOSERMASUR, Asociación de artesanos San Pablo de Guarainag, Asociación Agropecuaria Santa Teresita y más (CELEC EP, 2017).

1.3.3 Proyecto Hidroeléctrico Mazar

El Proyecto Mazar está ubicado al sur-este del Ecuador entre las provincias de Azuay y Cañar, en los cantones Azogues, Paute, Guachapala, El Pan y Sevilla de Oro. Este fue construido como regulador de caudal para la Hidroeléctrica Molino, por lo que se ubica aguas arriba de esta central. La central posee una presa de enrocado con pantalla de hormigón y aporta con 170 MW para el Sistema Nacional Interconectado (CELEC EP, 2006). La Hidroeléctrica Mazar empezó a operar desde el año 2010, formando así el embalse que lleva su mismo nombre con aguas provenientes del río Paute (Pacheco & Matovelle, 2021).

a) Embalse Mazar

El embalse Mazar tiene una longitud aproximada de 31 km, con un volumen total de 410 hm^3, el cual comúnmente se alcanza en la cota de 2153 msnm que es nivel máximo normal de operación mientras que la mínima cota alcanza los 2098 msnm. En el evento de Crecida Máxima Probable, que se da cuando se combinan eventos meteorológicos e hidrológicos críticos, en el embalse se llenará hasta la cota 2166 msnm (Bajaña, 2019; Brandt, 2017).

b) Medio físico

El Área de Influencia Directa (AID) del proyecto engloba a la presa y su embalse, dentro de las cotas de 2008 msnm a 2166 msnm. Estas superficies de influencia directa comprenden los taludes del río Paute, los cuales presentan suelos erosionados y afloramientos rocosos, donde no se puede dar actividades agroproductivas. Solo se encuentran remanentes de matorrales y hábitats de una reducida fauna silvestre. La segunda AID corresponde a la zona de riesgo inmediato hacia las obras del proyecto, que son las superficies bajo la cota de las vías de acceso al proyecto, es decir, el margen derecho e izquierdo del río Paute. Aquí existen restricciones de actividades agrícolas y ganaderas por las fuertes pendiente, por lo que son aptas para actividades forestales o protectivas o sistemas mixtos silvopastoriles o agrosilvopastoriles (CELEC EP, 2006).

c) Medio biótico

Del análisis de la vegetación en el AID se encontraron 190 especies de plantas vasculares superiores, de las cuales 11 son especies endémicas: 2 de ellas, *Vernonia nonoensis* y *Joosia standleyana*, están en peligro de extinción y 5: *Matelea harlingii*, *Berberis pindilicensis, Altensteinia citrina, Monactis holdwayae* y *Calceolaria rosmarinifolia* están en la categoría de vulnerables. En cuanto a la fauna silvestre no hay una alta biodiversidad pero se han identificado 13 especies endémicas y 9 amenazadas, lo que denota la importancia biológica que tiene el área donde se emplaza este proyecto (CELEC EP, 2006).

d) Medio acuático

La vida acuática que se desarrolla en el embalse Mazar está representada por: truchas (*Onchorynchus mykiss*), preñadillas (*Astroblepus sabalo*) y carpas (*Cyprinus carpio*). No se encontraron peces migratorios y la pesca no es una actividad relevante que influya en la economía local (CELEC EP, 2006).

1.3.4 Cantón Guachapala

El cantón Guachapala pertenece a la provincia del Azuay, limita al norte con el río Paute, al sur con Gualaceo, este con El Pan y Sevilla de Oro y oeste con el río Paute y el cantón Paute. El clima predominante es templado, caliente en la parte baja del río Paute, templado en la cabecera cantonal y en la parte alta de Andacocha es frío. La precipitación media anual es de 104 mm, los meses más secos son diciembre y enero con un promedio de 57 mm y los meses de mayor precipitación son abril y octubre con un registro promedio de 119 mm (Díaz et al., 2017). Según el INEC, en su censo del 2010, Guachapala posee una población aproximada de 3409 habitantes, de ellos el 46 % es económicamente activo. La agricultura de tomate de árbol, maíz, frejol, arvejas, y la ganadería son las principales actividades de generación de ingresos de este cantón; seguidas de construcción, artesanía, comercio, transporte y turismo. Los productos de mayor producción de la zona son la leche y el tomate de árbol; aunque, no aplican buenas prácticas agrícolas ya que sus sistemas mayormente usan mangueras, muy pocos aspersores, cultivos en terrazas en lugares de grandes pendientes y no se identifica una rotación de cultivos (Cárdenas, 2019). La falta de empleo es un problema que ha

ocasionado una corriente migratoria principalmente a Cuenca y al exterior (GAD Guchapala, 2013).

1.3.5 Asociación Agropecuaria Santa Teresita

En el 2009, con el aporte de CELEC EP a través del Fondo de Compensación Ambiental por el represamiento del río Paute para la Hidroeléctrica Mazar se viene apoyando a varios proyectos para el desarrollo de las comunidades afectadas, por lo que se conforma legalmente la *Asociación Agropecuaria Santa Teresita*. Esta inicialmente recibió capacitaciones de panadería y pastelería para las mujeres, y electricidad para los hombres. En actualidad en ella participan 36 miembros. Posterior al desastre de la Josefina en el año 1993, quedó una huella de residuos, sobre todo de plásticos, que quedaron en mayor evidencia con el represamiento del río Paute para el proyecto Mazar. Para solucionar este problema CELEC EP inició la limpieza de los ríos Paute y Collay por lo que desde el año 2015 se le otorgó un presupuesto para que se encarguen de este trabajo, mismo que continúa hasta el día de hoy (Cárdenas, 2019).

1.4 Hipótesis

La biomasa acumulada los últimos 5 años en la cola del embalse Mazar supera las 5000 toneladas. Adicionalmente las características físico - químicas de esta biomasa son óptimas para su futuro aprovechamiento y gestión. Para las propiedades físicas: el porcentaje de humedad en base húmeda es menor al 50 %, para humedad en base seca menor al 10 %, la concentración de cenizas para biomasa forestal no sobrepasa el 1,5 %, el porcentaje de material volátil es mayor al 80 %, con respecto al carbono fijo sus concentraciones pueden variar entre 16 al 25 % y en el porcentaje de poder calorífico para biomasa forestal es mayor al 18 %. En las características químicas: el porcentaje de carbono varía entre 30 al 60 %, para el nitrógeno entre 0 al 2 % y para el azufre no supera el 0,3 %.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Caracterizar los principales factores físicos y químicos de la biomasa acumulada en el embalse Mazar.

1.5.2 Objetivos específicos

- Cuantificar la biomasa que se ha acumulado en el embalse Mazar en los últimos 5 años.
- Determinar las características físicas (humedad, cantidad de cenizas, cantidad de compuestos volátiles y carbón fijo) en la biomasa acumulada en los últimos 5 años.
- Determinar las características químicas (Carbono, Nitrógeno y Azufre) en la biomasa acumulada en los últimos 5 años.
- Determinar el poder calorífico en la biomasa acumulada en los últimos 5 años.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Embalse

Un embalse se define como la acumulación de agua de manera artificial, formado por la construcción de una presa sobre un río o arroyo cerrando parcial o totalmente su cauce. La edificación de presas para la formación de embalses ha sido históricamente una práctica socioeconómica para el desarrollo urbano, industrial y agrícola. La implementación de estas se ha realizado durante miles de años por razones que incluyen, control de inundaciones, riego, suministro de agua, navegación, recreación, etc. Aunque es probable que anteriormente ya existieron presas, la de Jawa en la actual Jordania es la primera presa que se ha registrado en la historia (~3000 a.C.). En los últimos 100 años, las represas más avanzadas se han construido para el suministro de agua, control de inundaciones, recreación e hidroelectricidad (Brandt, 2017; Hanks, 2020).

Para la producción de hidroenergía es necesaria una gran cantidad de agua, por lo que, se realiza esta intervención física en la vía fluvial para así administrar el agua con este fin. El embalse proporciona una reserva de agua para ser utilizada con fines energéticos. Dentro de la presa hay canales que permiten guiar el agua del embalse hacia las turbinas hidráulicas, las cuales proporcionan la potencia mecánica para impulsar un generador y proporciona energía eléctrica (Breeze, 2018).

Si bien las presas han mejorado la condición humana durante siglos y ciertamente han sido fundamentales para el desarrollo de la sociedad, también han sido perjudiciales en muchos contextos socio-ecológicos. Por ejemplo, el desastre de la presa Vajont en Italia donde el deslizamiento de una de las laderas del embalse creó una ola de 200 m de altura que arrasó con las poblaciones aledañas provocando la muerte de 2500 personas (Pollard, 2021). Otro caso más común es del embalse El Guavio del departamento de Cundinamarca en Colombia donde al represar los ríos Guavio, Batatas y Chivor se sumergieron y perdieron tierras altamente fértiles, lo que causó molestias en la población y pérdidas económicas (Barriga, 2019; Hanks, 2020; Wolter et al., 2016).

Es común que, por la caída de árboles ribereños, ya sea por vejez, efectos del viento o desestabilización del suelo por las fuertes corrientes de los ríos, caigan troncos y ramas a los cauces de los ríos. Estos son conocidos también como palizadas que posteriormente llegarán a acumularse en un embalse y retendrán consigo otro tipo de residuos que en

conjunto traerán consecuencias indeseadas para el objetivo por el que el río se embalsó (Velásquez et al., 2021).

2.2 Biomasa

La biomasa es la parte o fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico por labores de silvicultura, agrarias e industrias relacionadas (de Lucas & del Peso, 2012; Neri, 2002). Dentro de la biomasa la energía de la luz solar se almacena en enlaces químicos. Cuando los enlaces entre las moléculas adyacentes de carbono, hidrógeno y oxígeno se rompen por digestión, combustión o descomposición, liberan su energía química almacenada. La biomasa siempre ha sido una fuente importante de energía para la humanidad y su suministro a nivel mundial es algo incierto. Mientras unos prevén que sea entre el 14 y el 22 % en el 2060, otros como el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático prevé del 25 al 46 % (McKendry, 2002; Yolanda, 2018).

Se estima que la producción mundial de biomasa es de aproximadamente 130 mil millones de toneladas por año. A través de tecnologías biológicas y/o termoquímicas, los recursos de biomasa pueden transformarse en productos químicos, combustibles y materiales sostenibles. Estos productos se obtienen por medio de diferentes métodos incluidos los procesos bioquímicos, termoquímicos y fisicoquímicos (Shen et al., 2020). Se han encontrado diferentes tipos de biomasa, ya sea, por su origen, su composición o su estado.

A continuación, se detalla la clasificación de los tipos de biomasa:

2.2.1 Tipos de biomasa

Según su composición: Oleaginosa, alcoholígena, amilácea y lignocelulósica.

Según su origen: Natural, residual, cultivo energético

Según se estado: Sólida, líquida y gaseosa

En esta investigación se enfocará en el estudio de la biomasa de origen natural, producida de forma espontánea y dentro de esta se encuentra la biomasa forestal.

2.2.2 Biomasa Forestal

Es la materia orgánica cuyo origen proviene de la mejora de las masas forestales, caída natural de ramas y subproductos de industrias que transforman la madera. Por lo general el tratamiento de estos residuos es en uso térmico, eléctrico, compost y camas para el

ganado. El 100 % de estos residuos representa una fuente de energía renovable. En cuanto a la composición química de compuestos, la leña se compone fundamentalmente de madera, y esta de celulosa, hemicelulosa y lignina (de Lucas & del Peso, 2012).

La presente investigación busca cuantificar y caracterizar biomasa, por lo que, para determinar la cantidad de madera se debe calcular su densidad aparente (Remaycuna, 2019).

2.3 Densidad aparente (ρ)

La densidad aparente es la masa por unidad de volumen de material obtenidos con el mismo contenido de humedad de las muestras. Cuando la densidad aparente de la madera es elevada, la superficie de sus paredes también lo es y el volumen de sus poros será menor. Igualmente, mientras mayor sea la densidad aparente, más favorable será la relación de energía por unidad de volumen (de Lucas & del Peso, 2012; Ortiz, 2018).

Para la caracterización de la biomasa se implementarán los análisis: proximal, elemental y poder calorífico.

2.4 Análisis proximal de biomasa

Se denomina análisis proximal, a los que determinan la humedad, ceniza, material volátil y carbono fijo (Vásquez & Herrera, 2006).

2.4.1 Humedad

La humedad es la relación del agua contenida por kilogramo de masa de materia. Para la biomasa se puede medir en base húmeda y base seca donde se toma en cuenta el peso previo a ser secada en la estufa y el peso posterior al secado respectivamente. Mientras menos humedad haya mejor será el poder calorífico y su combustión. (de Lucas & del Peso, 2012; Nuñez et al., 2019).

2.4.2 Ceniza

La cantidad de ceniza es el material mineral que no se combustiona por kilogramo de materia, es una medida útil para determinar los minerales contenidos en la biomasa (Vásquez & Herrera, 2006). El contenido de cenizas también afecta negativamente el calor de la combustión al reducir el valor calorífico por unidad de peso de la madera (Piętka et al., 2019).

2.4.3 Material volátil

Son las emisiones gaseosas de la materia orgánica e inorgánica durante el calentamiento de la muestra de materia. Estas emisiones contienen agua, hidrógeno, dióxido de carbono, metano y otros (Vásquez & Herrera, 2006).

2.4.4 Carbón fijo

El carbón fijo es la masa de materia orgánica restante que queda después de que se libera el material volátil y la humedad. Se le considera el componente de mayor importancia energética. Genera una estructura cristalina en donde el enlace químico se rompe en átomos de carbono (Bustamante et al., 2016). La relación carbono fijo y volátiles es un indicador de la capacidad que tiene la biomasa como un combustible al indicar la facilidad que tenga para la ignición (López et al., 2020).

2.5 Análisis químico de biomasa

Conocido como análisis último o elemental, determina la composición química de una muestra de residuo de biomasa y tiene como propósito la determinación de los principales elementos químicos que la constituyen (Liu, 2011). Para este análisis se consideran los elementos más importantes como el carbono, nitrógeno y azufre. Es necesario analizar la composición química de la materia orgánica para conocer si representaran algún impacto en el medioambiente y en la salud humana. Así se podrá evaluar que alternativas de aprovechamiento y procesamiento se puede dar a esta materia orgánica (Fuertes, 2020). Igualmente es relevante conocer la relación C/N, ya que, indica el grado de descomposición de la materia y la incorporación de nitrógeno en las sustancias húmicas (Da Silva et al., 2018).

2.6 Poder calorífico

El poder calorífico es la base de la bioenergía y es una de las características más importantes, que se define como la cantidad de energía térmica liberada durante la combustión del tejido vegetal (Lunguleasa et al., 2020; Wang et al., 2020). El poder calorífico de la biomasa forestal depende principalmente de la composición química de casa especie arbórea y de la humedad de la madera. El poder calorífico bruto de la madera no varía mucho de una especie de árbol a otra pero es ligeramente mayor en las maderas blandas que en las duras (Piętka et al., 2019).

2.6.1 Poder calorífico superior

El poder calorífico superior considera el agua resultante de la combustión, la cual se encuentra en estado líquido, es decir que considera la energía liberada por la condensación de agua. Los elementos de la combustión, el combustible y el aire, son tomados a 0 °C y sus productos, los gases de combustión, también se llevan a 0 °C después de la combustión, de esta manera el vapor de agua se condensará (Ayala et al., 2016; Carvajal et al., 2018).

Esta caracterización tiene como fin conocer que propiedades poseen la madera acumulada y así, poderla usar de manera óptima.

2.7 Usos de biomasa forestal

Por lo general la biomasa forestal residual es tratada mediante una quema controlada o simplemente es acumulada cerca de la zona de recolección. En otras ocasiones es triturada in situ y dispersada en el suelo para su mejoramiento. Esto debido a que su tratamiento representa un costo adicional que no es considerado al momento de su recolección (Velásquez et al., 2021). La biomasa forestal es un recurso de la naturaleza que aún puede aprovecharse para diferentes fines, sobre todo en zonas rurales y debe ser una alternativa estratégica para su desarrollo pues se generan rentas y empleo (Ulloa et al., 2018). Según la FAO, en 2017 más de 2000 millones de personas dependen de la dendroenergía[3] para actividades cotidianas como cocinar o para entrar en calor; más aún en países en vías de desarrollo (Canalís, 2013; Torres et al., 2017).

2.7.1 Productos finales

La biomasa residual puede recibir un tratamiento para ser usada como energía térmica, estos se los llama biocombustibles sólidos. Estos productos pueden ser las briquetas, pellets y el carbón vegetal que puede usarse para comparar con tecnologías más eficientes y analizar su efectividad (FAO, 2014). También existe un producto más sencillo conocido como *chips* o astillas de madera, en el que se tritura madera a un tamaño de 3 a 5 cm (Diez et al., 2017).

2.7.2 Calefacción y cocina

El biogás comunitario es una alternativa de biomasa forestal que puede usarse dentro de los hogares. Este se genera por digestión anaerobia de residuos orgánicos en conjunto con el estiércol, lo que es posible de elaborar en la ruralidad dada la disponibilidad de estos

residuos. El biogás puede sustituir a la leña o inclusive a los combustibles fósiles, sobre todo en lugares que no tiene fácil acceso a estos (FAO, 2014).

2.7.3 Electrificación rural

El uso de biomasa para la generación de electricidad puede ayudar a comunidades que no tienen acceso permanente a esta (Altamirano et al., 2015). Dentro de las alternativas que generan electricidad se encuentra la gasificación donde se obtiene por incineración parcial de la biomasa un combustible conocido como syngas. Otra alternativa es la combustión en donde la biomasa será el combustible y se generará vapor que podrá mover una turbina (FAO, 2014).

2.7.4 Transporte

Se espera que para el año 2030 el 25 % de los combustibles usados en el transporte provengan de la biomasa (García & García, 2006). Los residuos de biomasa forestal pueden usarse como combustibles para el transporte de vehículos y son conocidos como biocombustibles dentro de estos se encuentra el bioetanol y biodiesel (FAO, 2014).

2.7.5 Mejorador de suelos

El biochar es producido a través de la pirólisis de la biomasa y presenta varios beneficios para el suelo en el ámbito ambiental y agronómico. No altera las características fisicoquímicas del suelo, mejora su calidad al aportar en el crecimiento de las plantas y al retener mejor la humedad en el suelo (Eileyn, 2015).

2.7.6 Filtrador de agua

El carbón activado llega a ser utilizado en varios procesos de absorción por la estructura y distribución de sus poros, es por ello que se lo usa como medio filtrante (Minaya et al., 2020). Este se obtiene como producto de un proceso llamado activación que eleva la porosidad del carbón vegetal (Ames & Samaniego, 2019).

2.8 Análisis estadístico

Para la interpretación de los resultados de los análisis proximales, último y de poder calorífico se implementaron pruebas estadísticas. Estas son herramientas que permite condensar los resultados, para poder llegar a un análisis conciso de estos.

2.8.1 Coeficiente de variación

Es una herramienta estadística que permite conocer la dispersión de las variables medidas, por lo tanto, se lo emplea para comparar distintas poblaciones y en un inicio poder intuir que variables presentan valores disímiles. Este coeficiente representa la relación entre la desviación estándar y su media. Se considera que las poblaciones son similares entre ellas si este coeficiente es menor a 5 %, en el caso de superar este valor se podría suponer que las poblaciones difieren entre ellas (de la Puente, 2018).

2.8.2 Test de Análisis de Varianza

Conocido también como ANOVA y diseñado para grupos de observaciones distribuidos normalmente con una varianza común. El ANOVA de una vía es usado para hallar una diferencia significativa entre las medias de 2 o más grupos no pareados de una misma población, el cual encaja para el presente estudio. Los datos deben cumplir las siguientes condiciones:

- Seguir una distribución normal
- Los grupos de datos de cada población deben tener varianzas similares (Mendenhall et al., 2010; Quispe et al., 2019)

2.8.3 Test de Kruskal – Wallis

Esta prueba estadística se aplica para datos no paramétricos, es decir que no siguen una distribución normal, conocida por ser similar al ANOVA, pues evalúa la diferencia entre 2 o más grupo de datos no paramétricos de una misma población. Este tipo de datos. Los datos deben cumplir las siguientes condiciones:

- No seguir una distribución normal
- Los grupos de datos de cada población deben tener varianzas similares (Mendenhall et al., 2010; Quispe et al., 2019)

CAPÍTULO III

3.1 Área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la cuenca del río Paute específicamente en el cantón Guachapala provincia del Azuay, donde inicia el embalse Mazar, lugar llamado comúnmente como “cola del embalse”. La recolección de biomasa se realizó en dos comunidades pertenecientes a este cantón. San Carlos que se encuentra en las coordenadas 755 591,00 m E, 9 694 086,00 m S, y 2 km aguas abajo se ubica Sacre con las siguientes coordenadas 756 484,00 m E, 9 694 585,00 m S; (Figura 1).

3.1.1 Mantenimiento del área de estudio

El área destinada para acumular la biomasa, en estas 2 comunidades, se encuentra a orillas del embalse dónde la morfología de este presenta concavidades que ayudan al almacenamiento de la madera. Para que esta no siga la corriente del río se colocan mangueras de un extremo al otro y así se retienen los residuos flotantes. Con ayuda de una retroexcavadora estos son retirados del embalse y se clasifican entre orgánicos como lo es la palizada que representa un gran porcentaje de residuos y en menor cantidad los inorgánicos como lo son: plásticos, balones, neumáticos, etc. Visualmente en los cúmulos de biomasa se evidencian 3 secciones: Baja, Media y Alta. En San Carlos la sección Baja inicia desde el nivel del suelo hasta los 3 m de altura, la sección Media entre los 3 a 6,5m y sección Alta desde 6,5 a 10 m. En Sacre estas se dividieron para: la sección Baja desde el nivel del suelo hasta 3 m, la sección Media entre 3 a 5 m y la Alta desde 5 hasta 7 m, ver Figuras 2 y 3. La madera inicialmente se coloca en la sección Baja del cúmulo de biomasa y conforme llega nueva madera arrastrada por el río, esta palizada antigua se va ubicando en las secciones superiores; es decir, en la sección Media y finalmente en la Alta. Por lo que en la sección Alta se encuentra la madera más vieja. Cuando los residuos orgánicos son de gran tamaño se los aparta para ser cortados para posteriormente ubicarlos en la sección Baja

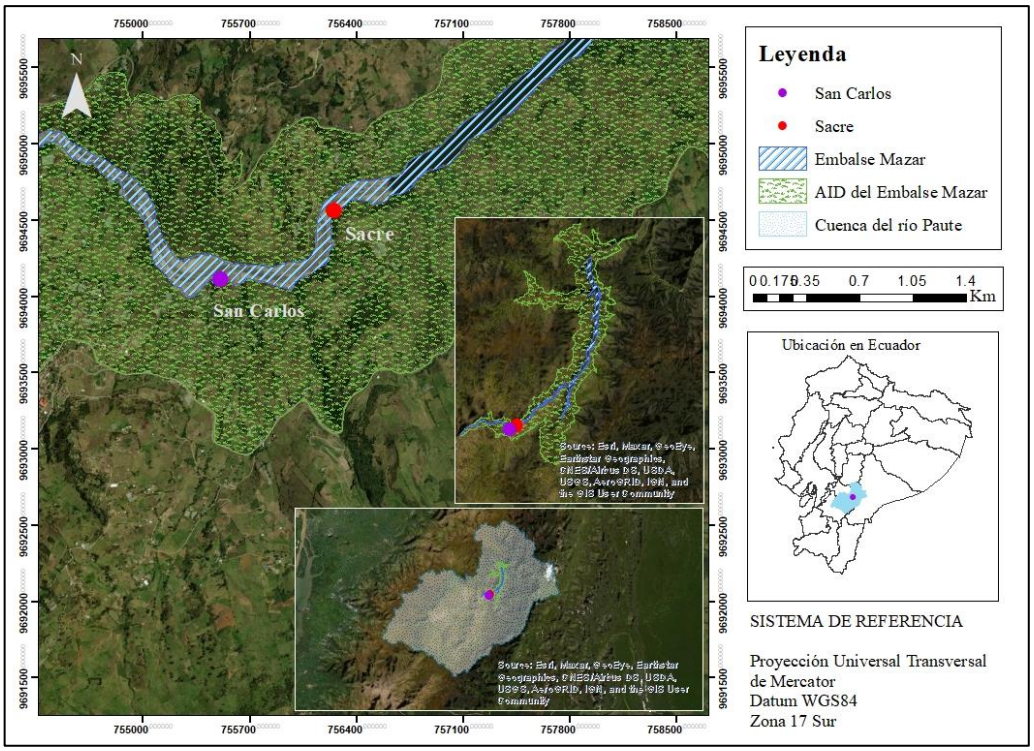


Figura 1: *Ubicación de las zonas de estudio en el embalse Mazar*
Fuente: Fuente: ODEPLAN 2012_WGS84 & Autora, 2021

3.2 Toma de muestras

En primer lugar, se realizó un reconocimiento del área de estudio, donde se identificaron las comunidades ya mencionadas. Se evidenciaron dos montículos de madera, uno en cada localidad. Del volumen total de biomasa se procedió a dividirlo en 6 zonas; 4 en la comunidad de San Carlos por ser la que almacenaba más biomasa en la fecha que se definió la metodología de muestreo, mayo de 2021. Y las 2 zonas restantes en Sacre, como se puede ver en las Figuras 2 y 3. Se calculó una distancia entre zonas de 10 m. Cabe aclarar que la distribución de la biomasa presentaba estas condiciones hasta la fecha del muestreo, aunque posteriormente continuó la temporada lluviosa que arrastró más biomasa y la disposición de los residuos se concentró mayormente en Sacre, ver Figuras 4 y 5. En cada sección se tomó una muestra por triplicado diferenciándolas en secciones: Baja, Media y Alta, dando un total de 18 muestras, de esta manera se aseguró la representatividad de las muestras.

Figura 2: *Vista panorámica del montículo de madera en San Carlos – junio 2021*
Fuente Autora, 2021

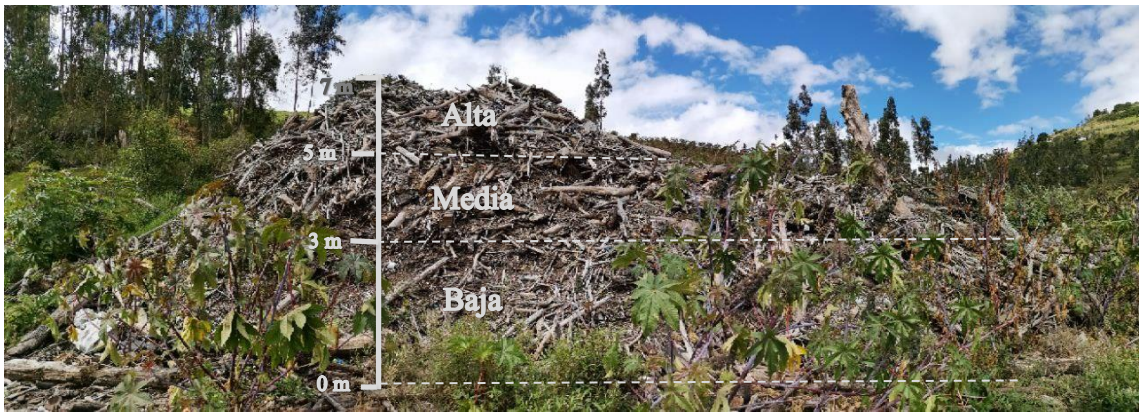


Figura 3: *Montículo de madera en Sacre – junio 2021*
Fuente Autora, 2021

Figura 4: *Montículo de madera en San Carlos – septiembre 2021*

Fuente: CELEC SUR, 2021

Figura 5: *Montículo de madera en Sacre, vista superior – septiembre 2021*
Fuente: CELEC SUR, 2021

Se siguió la metodología de discos, donde se extrajeron 24 discos de un espesor de 2,5 cm cada uno, con la ayuda de una motosierra, que en total formaban una muestra (Pereyra & Gelid, 2003). Cada una fue almacenada de forma separada en sacos, donde se garantizó la independencia total de las muestras. Para la facilidad en el manejo de la información, las muestras se identificaron mediante una etiqueta con la mayor cantidad de información referente a la muestra (Vásquez & Herrera, 2006). En la etiqueta constó información general como el nombre del área de estudio con sus coordenadas, la fecha de toma de la muestra y un código único para cada muestra donde se especificó la zona con la letra Z y el número de esta del 1 al 6; seguido de la letra M y un número del 1 al 3; 1 indicando la sección Alta, 2 la sección Media y 3 la sección Baja. El formato se puede ver en el Anexo 1, Tabla 18.

3.2.1 Tratamiento de muestras

El tratamiento que se siguió inicialmente fue el secado al aire libre de las muestras, durante 7 días debido a las lluvias que se presentaron en el mes de junio. Luego estas se fragmentaron en pequeñas secciones transversales al disco con la ayuda de un machete y un hacha, alcanzando un tamaño aproximado de 2x2x2,5 cm. Esto se realizó con el fin de que las muestras puedan dispersarse óptimamente en bandejas para introducirlas en el deshidratador del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad de Cuenca, donde fueron secadas durante 12 horas a 71.1 °C (160 °F), como se visualiza en las Figuras 6 y 7.

Figura 6: *Muestras trozadas y distribuidas en bandejas* Figura 7: *Muestras colocadas en el secador*
Fuente: Autora, 2021

Finalmente, las muestras fueron trituradas en el Laboratorio de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca; (Figura 8), se pesaron para cumplir el peso mínimo de 200 g requerido para el laboratorio y se empacaron en sobres de papel.

Figura 8: *Trituración de las muestras*
Fuente: Autora, 2021

3.3 Cuantificación de la biomasa acumulada en el embalse Mazar

3.3.1 Cálculo del volumen de la biomasa

Para conocer el volumen total de biomasa se elaboraron Modelos Digitales de Elevación de los cúmulos de madera de San Carlos y Sacre. Inicialmente para la obtención de la topografía del lugar de estudio se empleó un dron y la fotogrametría de las imágenes generadas por este fueron procesadas con los softwares Agisoft PhotoScan y AutoCAD (Molina, 2019; CELEC EP, 2021). Este procesamiento fue elaborado y entregado por CELEC SUR; las imágenes se generaron en el mes de septiembre del 2021 para

considerar la biomasa forestal arrastrada por la temporada lluviosa. Para el cálculo del volumen (V_c) de cada zona se empleó el Modelo Digital de Elevación con el apoyo el software QGis. Finalmente se multiplicó este resultado con el factor de apilamiento 0,784 para considerar únicamente el volumen de madera (V_T) y eliminar los espacios entre ramas y troncos (Remaycuna, 2019).

$$V_T = V_C \times 0{,}784 \qquad [1]$$

3.3.2 Cálculo de densidad

Para el cálculo de la densidad (δ) se usó el método del máximo tenor de humedad. El cual consistió en tomar una pequeña sección de cada muestra y sumergirla en agua hasta la saturación y se procedió a anotar este peso saturado (PS). Estas porciones de cada muestra se llevaron a la estufa, del laboratorio de Ingeniería de Reactores y Catálisis de la Universidad de Cuenca, hasta que llegaron a peso constante a una temperatura de 105 ± 2ºC y con una balanza analítica se determinó el peso seco (P_s) de cada, como se muestra en la Figura 9 y 10 (Foelkel et al., 1971).

$$\delta = \frac{1}{\frac{PS}{Ps} - 0.347} \qquad [2]$$

3.3.3 Cálculo de masa total

En base a los datos calculados de volumen y densidad se aplicó la ecuación correspondiente a la densidad, para así hallar el valor de la masa.

$$\delta = \frac{m}{v} \qquad [3] \qquad m = \delta \times v \qquad [4]$$

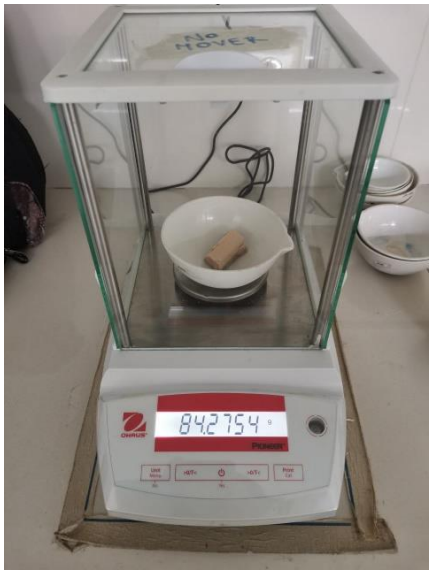


Figura 9: *Pesado de muestra*

Figura 10: *Estufa para secado de muestras*

Fuente: Autora, 2021

3.4 Caracterización de las propiedades físicas de biomasa acumulada en el embalse Mazar

Los parámetros que involucran la caracterización de la biomasa dentro de la presente investigación fueron: humedad en base seca, cenizas, volátiles, poder calorífico, carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre. Para los análisis de estos parámetros, se enviaron las 18 muestras a los laboratorios de Investigación y Vinculación la Universidad de Bolívar, basándose en la metodología presentada por las normas UNE-EN ISO[5]. La humedad en base húmeda se obtuvo siguiendo el procedimiento de la misma norma y se realizó en el laboratorio de Ingeniería de Reactores y Catálisis de la Universidad de Cuenca.

3.4.1 Humedad

Indicado en la norma UNE-EN ISO 18134.3, 2016.

Procedimiento

Se colocan las muestras en crisoles individuales y se pesa cada una en la balanza analítica previamente calibrada, se registran como m_1. A continuación se ubican las muestras en el horno a 105 ± 2 °C, por 1 hora, se retiran y almacenan en un desecador hasta que alcancen temperatura ambiente. Finalmente, se pesa el crisol con su contenido. Se repite el proceso hasta obtener una masa constante, se registra como m_2, generalmente el secado total es de hasta 3 hora (Bermudez et al., 2020).

Cálculos

El cálculo de contenido de humedad se hace de la siguiente manera:

$$Humedad\ (\%) = 100 \times \frac{m1 - m2}{m2} \quad [5]$$

3.4.2 Material volátil

Indicado en la norma UNE-EN ISO 18123.

Procedimiento

Se pesa el crisol con su tapa y se registra como m_1. En este se coloca una porción de muestra seca y se pesa, esta se registra como m_2; posteriormente se la ubica en el horno a 900 ± 10 °C por 7 min. Se deja enfriar por 5 min y se deja en un desecador hasta temperatura ambiente, finalmente se pesa registrándose como m_3 (Bermudez et al., 2020).

Cálculos

El cálculo de la pérdida de peso se hará con la siguiente ecuación:

$$Pérdida\ de\ peso\ (\%) = \frac{100 \times (m2 - m3)}{m2 - m1} \quad [6]$$

Para el cálculo del porcentaje de material volátil se aplicará la siguiente fórmula

$$Material\ volátil\ (\%) = A - B \quad [7]$$

Donde:

A= Pérdida de peso (%)

B= Humedad (%)

3.4.3 Cenizas

Indicado en la norma UNE-EN ISO 18122.

Procedimiento

Se pesa el crisol con su tapa y se registra como m_1. Luego se coloca una porción de muestra, se cubre y pesa registrándola como m_2. Se inserta la muestra al horno a temperatura ambiente y se eleva la temperatura a 250 ± 5 °C. Alcanzada dicha temperatura se deja por 60 min. Posteriormente se eleva a 550 ± 10 °C por 120 min. Se

retira el crisol y por 5 min se deja enfriar sobre una superficie resistente, consecutivamente se coloca en un desecador. Finalmente se pesará el crisol cubierto con la muestra tan pronto como esté frío y registrará como m_3 (Bermudez et al., 2020).

Cálculos

Para calcular el porcentaje de cenizas se aplica la siguiente ecuación:

$$Ceniza\ (\%)\ =\ \frac{m3\ -\ m1}{m2\ -\ m1}\ *\ 100 \qquad [8]$$

3.4.4 Carbono fijo

Cálculo

Para obtener el resultado del carbono fijo se requieren los resultados del material volátil, ceniza y humedad (Vásquez & Herrera, 2006).

$$Carbono\ fijo\ (CF)\ =\ 100\ -\ (H\ +\ C\ +\ MV) \qquad [9]$$

Donde:

H= Contenido de humedad

C = Cenizas

MV= Material volátil

3.5 Caracterización de las propiedades químicas de biomasa acumulada en el embalse Mazar

El análisis elemental experimental se determina el carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S) según la norma UNE-EN ISO 16948.

Procedimiento

Se colocan 10 mg de muestra seca con wolframio en contenedores cilíndricos de estaño y se los dobla para evitar pérdidas. Después se las ubican en el analizador elemental el cual se encuentra a 1000 °C y finalmente se ingresan en el equipo el valor de la masa de la muestra introducida (Paredes, 2019).

3.6 Determinación del poder calorífico de biomasa acumulada en el embalse Mazar

El poder calorífico se determina basándose en el proceso indicado por la norma UNE-EN 18125:2018.

Procedimiento

Se toma 1 g de muestra y se introduce en la copa de combustión de una bomba calorimétrica. Se abre la válvula de alimentación de oxígeno hasta llegar el nivel requerido y a una presión de 30 bar. Se digita el valor de la masa de la muestra y se espera 25 min hasta obtener le resultado del Poder Calorífico Superior, el cual se presentará en MJ/kg (Paredes, 2019; Bermudez et al., 2020).

3.7 Tratamiento de datos

Con la intención de hallar si existe una diferencia significativa entre la biomasa ubicada en cada una de las 3 secciones - Alta, Media y Baja - en las que se dividió cada zona del área de estudio, se aplicaron las pruebas de ANOVA y Kruskal-Wallis para cada variable medida: humedad en base humedad, humedad en base seca, cenizas, volátiles, carbón fijo, carbono, nitrógeno, azufre y poder calorífico. Finalmente, los datos de las variables fueron representados en diagramas de cajas.

Para el empleo de las pruebas se usó el software RStudio 4.1.2. Donde se aplicó la estadística descriptiva como promedios y coeficientes de variación para cada variable. Igualmente, los test de ANOVA y Kruskal-Wallis, aunque previamente se aplicaron las siguientes 2 pruebas estadísticas para verificar que cumplen las condiciones que requirieren los test de análisis de varianza.

La prueba de Shapiro-Wilk se empleó para identificar qué variables siguen o no una distribución paramétrica con un nivel de significancia de 0,05 (α), y donde la hipótesis nula (H_0) dice que la muestra sigue una distribución normal (Kang et al., 2017).

$$H0: X \sim N(\mu, \sigma^2)$$
$$H1: X \nsim N(\mu, \sigma^2)$$

Para verificar el cumplimiento de homocedasticidad de varianzas (σ^2) se aplicó test de Fligner-Killeen, donde se comparan la similitud de varianzas basándose en su mediana. La hipótesis nula dicta que las varianzas son similares, con un nivel de significancia de

0,5. De ser el caso que se rechace la hipótesis nula en alguna variable no se puede continuar con los test y termina su análisis.

$$H0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \cdots = \sigma_n^2$$
$$H1: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \neq \sigma_n^2 \text{ no todas son iguales}$$

3.7.1 Prueba de ANOVA

En las variables donde la hipótesis nula del test de Shapiro-Wilk fue aceptada se utilizó la prueba de ANOVA. La H_o de esta prueba estadística plantea que no hay diferencia significativa entre las varianzas de los 3 grupos de datos de cada variable; todas las pruebas siguen un nivel de significancia o α (0,05).

$$H0: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_n$$
$$H1: \mu_1 \neq \mu_n \text{ no todas son iguales}$$

En los casos donde se rechazó la hipótesis nula de ANOVA se aplicó un test a posteriori (post hoc) denominado Tukey, como lo propone (Balderrama et al., 2021). Esta muestra entre qué pares de datos se da la diferencia estadística igualmente con un α de 0,05. (Bautista et al., 2020; Jiménez et al., 2015).

3.7.2 Prueba de Kruskal - Wallis

La prueba de Kruskal-Wallis se aplicó en los casos que se rechazó la hipótesis nula del método de Shapiro-Wilk, es decir que no siguen una distribución normal. Se empleó un α de 0,05, con el fin de aceptar o rechazar la hipótesis nula. La H_o afirma que no hay diferencia significativa entre las varianzas de los grupos de datos.

$$H0: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_n$$
$$H1: \mu_1 \neq \mu_n \text{ no todas son iguales}$$

Donde se rechazó la hipótesis nula en la prueba de Kruskal Wallis se aplicó método a posteriori de Dunn como lo sugiere Balderrama (2021). Con este se identificaron cuáles eran los pares de datos que presentaban la diferencia como referencia un α de 0,05.

El procedimiento a seguir para el tratamiento de datos se resume en la Figura 11.

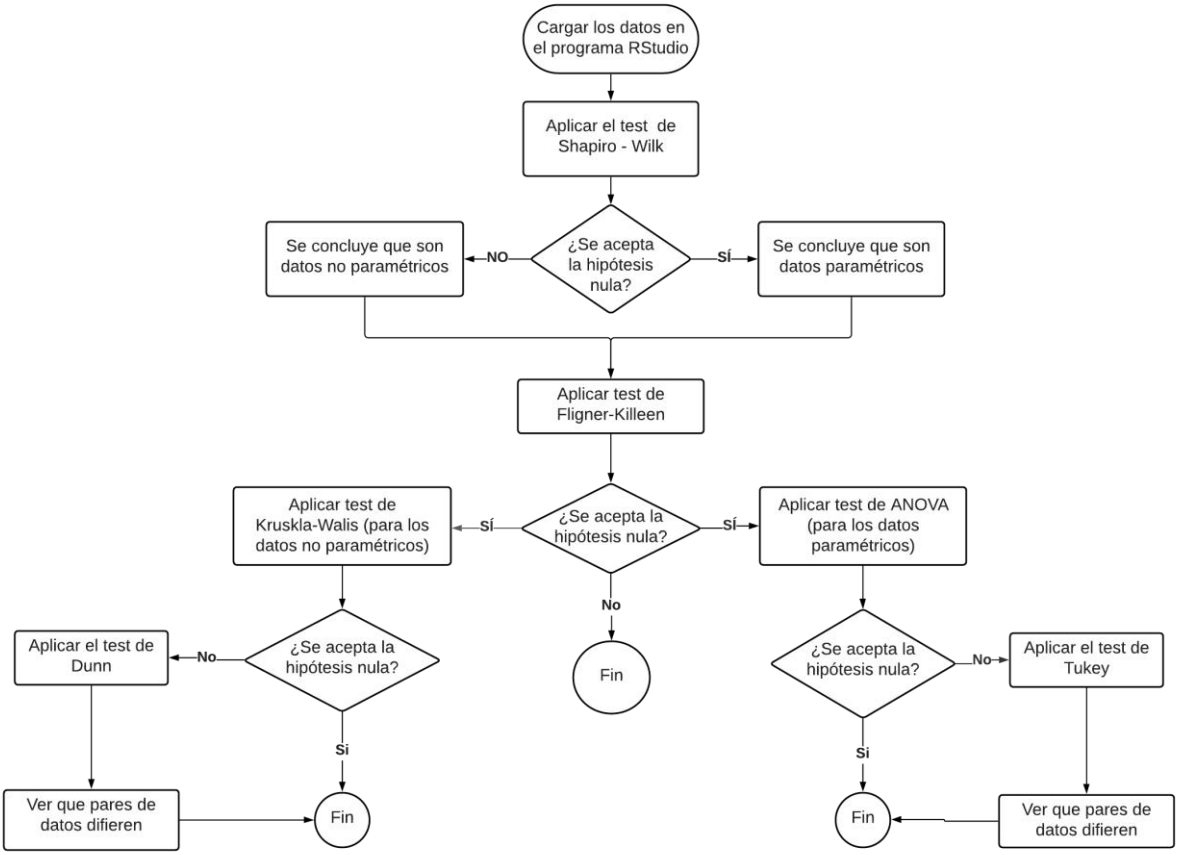


Figura 11. *Diagrama de procesos del tratamiento de resultados*
Fuente: Autora, 2021

3.7.3 Diagrama de cajas

En esta representación gráfica de los resultados se muestra cómo estos se dispersan con respecto a su mediana, que equivale al segundo cuartil. La caja se cierra en la parte inferior con el valor del primer cuartil y en la superior con tercer cuartil, es decir el rango intercuartílico (RIQ). Los "bigotes" se extenderán 1,5 veces el RIQ, restándose del primer cuartil para los valores inferiores e igualmente 1,5 por el RIQ sumándose al tercer cuartil para los valores superiores. Los valores que no estén dentro de este rango se consideran extremos (Flores & Flores, 2018).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la siguiente sección se presentarán los resultados de los análisis en los que se enfocó el presente estudio

4.1 Cuantificación de la biomasa

Con la intención de conocer la cantidad de biomasa que se ha acumulado en los últimos 5 años se calculó el volumen de los dos cúmulos de madera residual, donde se consideró el factor de apilamiento. Se obtuvo la densidad de cada muestra de esta biomasa con el método del máximo tenor, ver Anexo 2 en la Tabla 19. Finalmente, con los resultados de volumen y densidad se halló la masa de estos residuos, resultados que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. *Cuantificación de la biomasa acumulada en el embalse Mazar*

	Volumen calculado [cm^3]	**Volumen total [cm^3]**	**Densidad [g/cm3]**	**Masa [g]**	**Masa [T]**
San Carlos	$724{,}62 \times 10^7$	$568{,}10 \times 10^7$	0,636	$361{,}42 \times 10^7$	3614,15
Sacre	$399{,}14 \times 10^7$	$312{,}92 \times 10^7$	0,541	$169{,}16 \times 10^7$	1691,57
				Masa total de residuos forestales	5305,72

Fuente: Autora, 2021

Los resultados de la densidad obtenidos de las 18 muestras es de 0,636 g/cm^3 para la biomasa de San Carlos y 0,541 g/cm^3 en la de Sacre, que la contrastarlos son valores similares a la caracterización de 59 especies forestales en Brasil, donde el 68 % tienen una densidad básica entre 0,51 y 0,80 g/cm^3 (Riesco et al., 2019). Como resultado de la cuantificación de biomasa se calculó que en San Carlos hay un aproximado de 3600 toneladas y en Sacre 1700 toneladas. Dando un total de 5305,72 toneladas de madera residual acumulada en 5 años. Se podría decir que al año llegan 1060 toneladas aproximadamente, valor que sobrepasa al análisis de residuos madereros hechos en dos municipios del Chocó en Colombia en el cual se recolecta 723,15 T/año en Quibdó y 51,42 T/año en Riosucio (Escobar et al., 2018). Igualmente, este resultado es un indicio para conocer la cantidad de materia prima para futuros aprovechamientos de la biomasa. Tomando como base un ejemplo para la elaboración de pellets según Aldunate (2015) se requieren 6,81 m^3 de residuos madereros con una humedad del 50 % para elaborar 1 kg de pellets, por lo que con la biomasa almacenada en Mazar resultarían 1300 kg de pellets.

4.2 Caracterización de propiedades físicas de la biomasa

El análisis proximal o caracterización de las propiedades físicas analiza los resultados de las variables: humedad en base húmeda y seca, cantidad de cenizas, cantidad de compuestos volátiles y carbono fijo de la biomasa acumulada en los últimos 5 años (ver Tabla 20-37 del Anexo 3)

Inicialmente se muestra el valor promedio de cada variable. La media de humedad en base húmeda es de 34,6 %, resultado que está por debajo del 50 %, el cual es el máximo admisible para el uso de biomasa en forma de "chips" (Juan Escobar & Weil, 2018).

El promedio de la humedad en base seca es de 9,1%, siendo menor al límite permisible de 10 % de humedad para madera residual previa al tratamiento para elaboración de pellets o briquetas (Arteaga, 2020).

El porcentaje medio de cenizas es de 1,6 %, lo que indica un combustionado con la mayor cantidad de biomasa, es decir, se podría aprovechar más energía para combustión (Lima, 2013); este resultado es muy cercano a un estudio donde se compararon los contenidos de cenizas de 4 especies forestales para uso como biocombustible donde el valor máximo fue de 1,54 % (Arroyo, 2016).

En cuanto a la media de material volátil, los resultados mostraron un porcentaje 83,6 %, valor en el que según Fernández (2021), la ignición de la biomasa se puede dar a menor temperatura; por ende, habrá menor gasto de energía para su combustión y su poder calorífico será alto, útil para usarla como combustible sólido. Se espera que el porcentaje de material volátil no sea inferior a 80 % pues significa la presencia de impurezas que interfieren en la combustión (Fernández, 2021).

Finalmente, el promedio de carbono fijo, o residuo carbonoso, es de 5,6 % lo que representa un valor bajo para otros estudios. En una investigación esta variable varía entre 14 – 20 % para residuos de especies forestales de Portugal, entre ellas *Eucalyptus globulus*, la cual si está presente a orillas de las cuencas del área de estudio (Telmo et al., 2010) o de 7 - 13 % de palizada colectada en costas italianas (Cotana et al., 2016). El resultado de la relación carbono fijo y volátiles indica la facilidad de combustión de la biomasa, esta es de 0,068; y se espera que la madera siempre tiene una relación Cf / V menor a 0,25 (López et al., 2020). Estos valores se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. *Promedio de cada variable física de la biomasa*

	Humedad base húmeda [%]	Humedad base seca [%]	Cenizas [%]	Volátiles [%]	Carbono fijo [%]	Cf / V
Media	34,64	9,21	1,60	83,55	5,64	0,0675

Fuente: Autora, 2021

Los resultados de los análisis de las 18 muestras tomadas se agruparon en las 3 secciones identificadas al momento de su muestreo. La sección Alta representa las muestras que tienen en su código M1; en la sección Media M2 y la sección Baja M3. La Tabla 3 nos muestra los resultados de la media de los grupos, o secciones, con respecto a cada variable, con la intención de identificar los resultados de cada sección (Novales, 2010).

Iniciando con la humedad en base húmeda los resultados de sus análisis se muestran en el Anexo 4, Tabla 38.

El valor más alto de la humedad en base húmeda se da en la sección Baja (M3) con una media de 40,93 % y como se mencionó anteriormente la biomasa que se recolectó recientemente se coloca en esta sección. A diferencia de la parte Alta (M1), lugar donde se ubica la palizada recolectada en los primeros años de limpieza; en esta sección el promedio de humedad en base húmeda es de 24,22 %. Su coeficiente de variación (CV) sobrepasa el 5 %, por que se podría decir que sus datos se encuentran muy dispersos.

De forma similar ocurre con los resultados de la humedad en base seca. La sección Baja con una media de 9,35% presenta porcentajes más altos comparados a la sección Alta que tiene una media de 9,13 %. Los CV de esta variable se encuentran cercanos al 5 %, por lo que se intuye que sus datos son similares entre ellos.

Con lo referente a los resultados de las cenizas, el porcentaje más extremo se concentra en la parte Baja con una media de 1,93 %, lo que puede deberse a que las muestras tomadas en esta sección contenían más cortezas donde se acumulan impurezas como arena y minerales (Bustamante et al., 2016). Los valores calculados para el coeficiente de variación de cada sección evidencian que podría haber diferencia entre ellas.

En referencia al resultado del material volátil, se observa que no hay diferencia significativa entre zonas, pues en general en los 3 grupos se encuentran en un 83 % de

volátiles. Los CV son menores al 5 %, por lo que se podría suponer que entre las secciones no hay diferencias.

Finalmente, el resultado de carbono fijo presenta valores similares en la zona Baja y Alta con un 5,8 % en sus medias aritméticas. La sección Media (M2) tiene un promedio de 5,25 %. Esta variable representa el residual de la biomasa sometida a incineración y es el potencial carbón que puede usarse como combustible, como mejorador de suelos (biochar) o carbón activado para filtración de agua, pero para que la biomasa tenga el máximo provecho esta variable debe tener un valor aproximado del 16 al 25 % (Arteaga, 2020; Fernández, 2021; Moya, 2017). Al superar el 5 % en sus CV se espera que haya dispersión entre los grupos de datos de esta variable.

La relación de carbono fijo y material volátil muestra resultados de una media en la sección Alta de 0,07 disminuye ligeramente en la sección Media y sube en la sección Baja con una media de 0,71, en general los resultados son muy similares. Estos resultados se pueden relacionar con la relación Cf / V de residuos madereros de pino y acacia, donde esta es de 0,358 y 0,449 (López et al., 2020).

Tabla 3. *Media y coeficientes de variación de los 3 grupos de datos para cada variable física*

Código de las muestras		Humedad base húmeda [%]	Humedad base seca [%]	Cenizas [%]	Volátiles [%]	Carbono fijo [%]	Cf / V
ALTA	Z1M1	Media aritmética					
	Z2M1						
	Z3M1	24,221	9,129	1,478	83,561	5,832	0,0697
	Z4M1	Coeficiente de variación					
	Z5M1						
	Z6M1	49,73	4,477	39,281	2,044	21,389	-
MEDIA	Z1M2	Media aritmética					
	Z2M2						
	Z3M2	38,785	9,141	1,403	84,205	5,252	0,0623
	Z4M2	Coeficiente de variación					
	Z5M2						
	Z6M2	62,501	4,106	50,617	1,515	22,968	-
BAJA	Z1M3	Media aritmética					
	Z2M3						
	Z3M3	40,925	9,352	1,926	82,879	5,843	0,0705
	Z4M3	Coeficiente de variación					
	Z5M3						
	Z6M3	59,892	5,327	32,306	1,863	12,864	-

Fuente: Autora, 2021.

Las pruebas estadísticas fueron aplicadas en el programa RStudio y su código se detalla en el Anexo 5. Inicialmente, para las 5 variables físicas se aplicó una prueba estadística para conocer si siguen una distribución normal o no, para esto se empleó el test de Shapiro-Wilk y así se comprobó su distribución de manera numérica. La hipótesis nula dice que los datos siguen una distribución normal y para aceptarla los valores de *p* deben ser mayores o iguales al nivel de significancia propuesto, que para la presente investigación se utilizó 0,05. En la Tabla 4 se muestra que: Humedad en base húmeda, el material volátil y el carbono fijo tienen una distribución normal; la humedad en base seca y las cenizas presentan datos no paramétricos.

Tabla 4. *Prueba de normalidad para los datos de las variables físicas*

Variable	**Test de Shapiro - Wilk**	
	p-value	Decisión
Humedad en base húmeda	0,089	Se acepta la hipótesis nula
Humedad en base seca	0,016	Se rechaza la hipótesis nula
Cenizas	0,005	Se rechaza la hipótesis nula
Volátiles	0,385	Se acepta la hipótesis nula
Carbono fijo	0,252	Se acepta la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021

En la Tabla 5 se muestra los resultados de la aplicación del test de Fligner - Killeen que se usa para corroborar que los datos tengan varianzas similares, una condición que deben cumplir los grupos de datos para posteriormente aplicar las pruebas de ANOVA o Kruskal Wallis. La hipótesis nula afirma que las varianzas son similares, por lo que si el *p valor* es mayor o igual a $\alpha = 0,05$ se aceptará esta hipótesis. Afirmación que ocurrió con todas las variables.

Tabla 5. *Prueba de similitud de varianzas de las variables físicas*

Variable	**Test de Fligner - Killeen**	
	p-value	Decisión
Humedad en base húmeda	0,151	Se acepta la hipótesis nula
Humedad en base seca	0,565	Se acepta la hipótesis nula
Cenizas	0,861	Se acepta la hipótesis nula
Volátiles	0,294	Se acepta la hipótesis nula
Carbono fijo	0,05	Se acepta la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

Al aplicar la prueba de ANOVA, para las variables que siguen una distribución normal, se analiza si es que se da una diferencia estadística significativa entre algún par de grupos de los 3 analizados, sección Alta, Media, Baja. No se cumplió la diferencia entre las 3 secciones, pues todos los valores de *p* fueron mayores a α, por lo que no se aplicó la prueba a posteriori con este tipo de variables.

Con la misma H_o empleada para los valores paramétricos, *p* debe ser mayor a 0,05, para confirmar que grupo son similares. En la prueba de Kruskal Wallis la variable de cenizas se rechaza la hipótesis nula, lo que significa que sí hay una diferencia entre alguno de los 3 grupos de datos.

Tabla 6. *Pruebas de similitud de grupos de las variables físicas.*

Variable	**Test de ANOVA**		**Test de Kruskal -Wallis**	
	p-value	Decisión	p-value	Decisión
Humedad en base húmeda	0,251	Se acepta la hipótesis nula	-	-
Humedad en base seca	-	-	0,364	Se acepta la hipótesis nula
Cenizas	-	-	0,005	Se rechaza la hipótesis nula
Volátiles	0,200	Se acepta la hipótesis nula	-	-
Carbono fijo	0,977	Se acepta la hipótesis nula		

Fuente: Autora, 2021.

Para conocer en qué pares de datos hubo una diferencia estadística se empleó el test de Dunn y se analizaron los grupos donde *p* fue menor a 0,05. El resultado de las cenizas es la única variable que presentó diferencia estadística - como se visualiza en la Tabla 7 - entre la sección Alta-Baja y Baja-Media, corroborando con los datos de la mediana de la Tabla 3 donde los valores de la parte Baja se diferencian de las otras 2 secciones. Además, se comprueba la deducción del coeficiente de variación

Tabla 7. *Resultados de análisis a posteriori de la variable cenizas*

Variable	**Test de Dunn – método de Bonferroni**		
	Comparación	p-value	Decisión
Cenizas	Alta – Baja	0,0292	Se rechaza la hipótesis nula
	Alta – Media	1	Se acepta la hipótesis nula
	Baja - Media	0,0087	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

Los datos también fueron interpretados en diagramas de cajas y bigotes para que los resultados puedan representarse de manera gráfica.

Referente a los resultados de la humedad en base húmeda, ver Figura 12, en la parte Alta los valores tienen una asimetría negativa, es decir, que los datos menores a la mediana se encuentran más dispersos desde esta. En la sección Media se distribuyen de una manera uniforme, aunque tienden a ser mayores con respecto a los valores de la parte Alta. Finalmente, en la sección Baja se observa que la mediana es similar a la sección Media y los datos entre la mediana y el tercer cuartil no varían de manera considerable, aunque con un valor extremo que se dispara hasta alcanzar un valor cercano a 80 % de humedad.

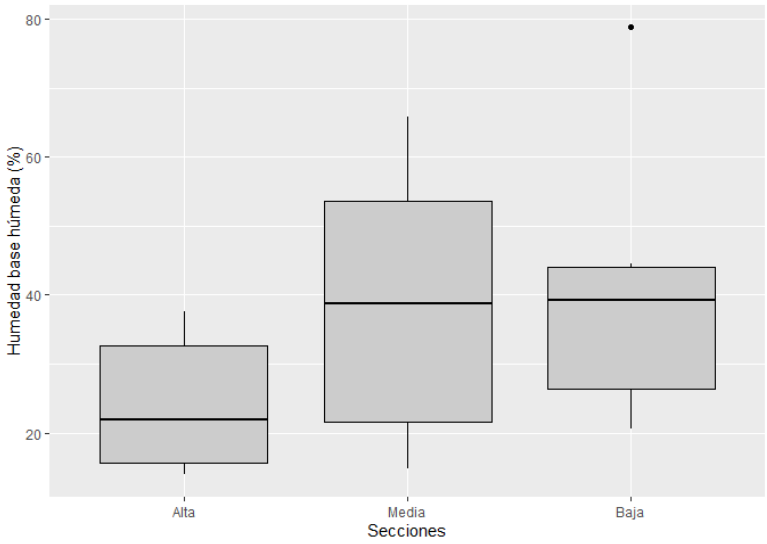


Figura 12. *Diagrama de cajas de la variable humedad en base húmeda*
Fuente: Autora, 2021.

En la Figura 13 se graficó los resultados de humedad con base seca, donde las medianas de la sección Alta y Media son similares e igualmente tiene una asimetría positiva, es decir, que los valores mayores a la mediana se encuentran muy dispersos. Mientras que, en la sección Baja, la asimetría es igual a las secciones M1 y M2 y sus datos tienden a ser mayores hasta llegar a un máximo que sobrepasa una humedad de 10 %.

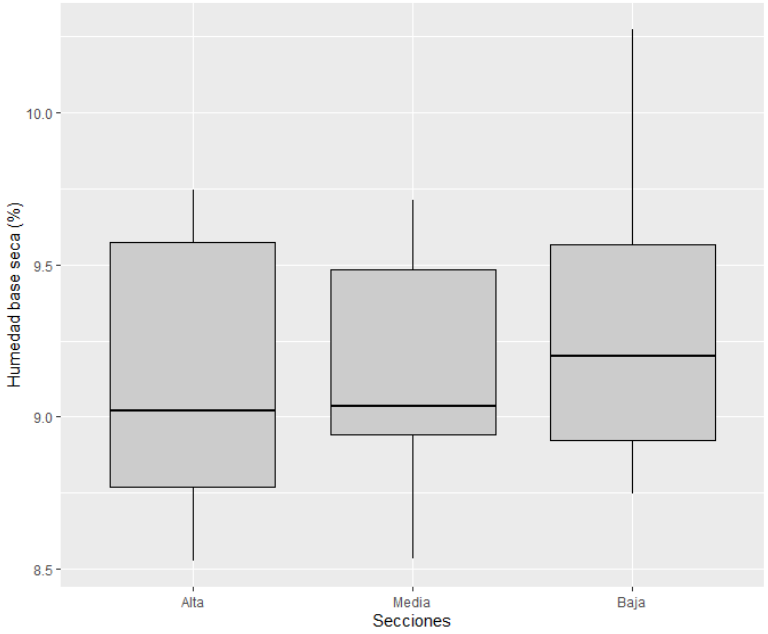


Figura 13. *Diagrama de cajas de la variable humedad en base seca*
Fuente: Autora, 2021.

Los resultados del porcentaje de cenizas se muestran en la Figura 14. En la sección Alta con asimetría positiva se presentan los porcentajes más bajos de esta variable. En la parte Media, el 50 % de los datos se encuentran poco dispersos y se concentran en gran medida hacia su mediana, pero con valores extremos, en un sentido muy cercanos a 0 % y en el otro sentido aproximadamente cercanos el 3%. Los valores más altos de cenizas se dan en la última sección con un valor extremo que sobrepasa el 3 % donde se puede observar gráficamente la conclusión obtenida con la prueba estadísticas de Kruskal Wallis de la existencia de una diferencia entre los grupos de datos y también con la prueba de Dunn y que esta diferencia se da en la sección Baja.

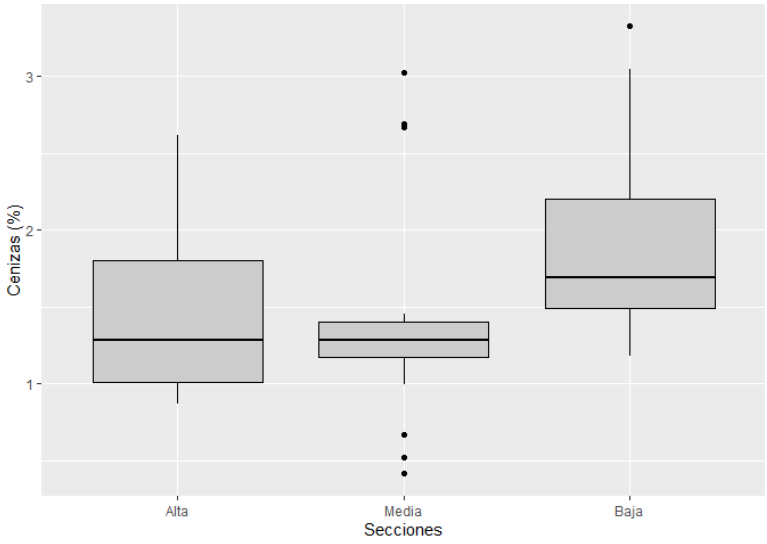


Figura 14. *Diagrama de cajas de la variable cenizas*
Fuente: Autora, 2021.

Los datos del material volátil se visualizan en la Figura 15 donde las medianas entre la sección Alta y Media fueron de 83,6% aunque siguen simetrías diferentes. En la parte Alta la simetría es negativa y su mínimo llega aproximadamente a un 81 % de material volátil, a diferencia de en la parte Media en donde su mínimo es cercano a 83 % y los datos se ven más dispersos desde su mediana hasta su máximo que sobrepasa el 86 %. En la parte Baja los datos tienden hacia los valores de menor porcentaje.

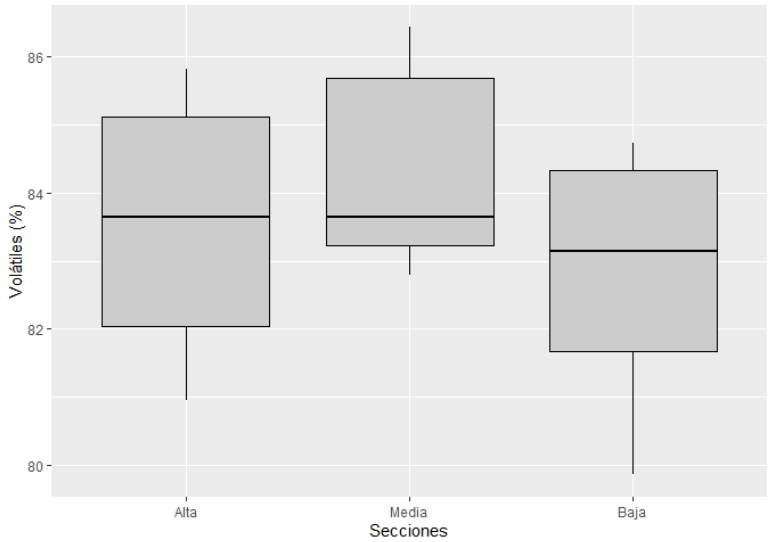


Figura 15. *Diagrama de cajas de la variable volátiles*
Fuente: Autora, 2021.

Finalmente, el carbono fijo, Figura 16, en las secciones Media y Alta tuvo asimetría positiva. En la sección Alta, su máximo se acerca a un 9 % de carbono fijo, mientras que el porcentaje va disminuyendo en las otras secciones. Aunque los valores más bajos se dieron en la sección Media con una mediana cercana al 5 % y un valor mínimo

aproximado de 3,8 %, se graficaron datos muy dispersos. Por otro lado, en la parte Baja los datos se concentran hacia su mediana que se aproxima al 6 % y el mínimo no baja del 4,5 %.

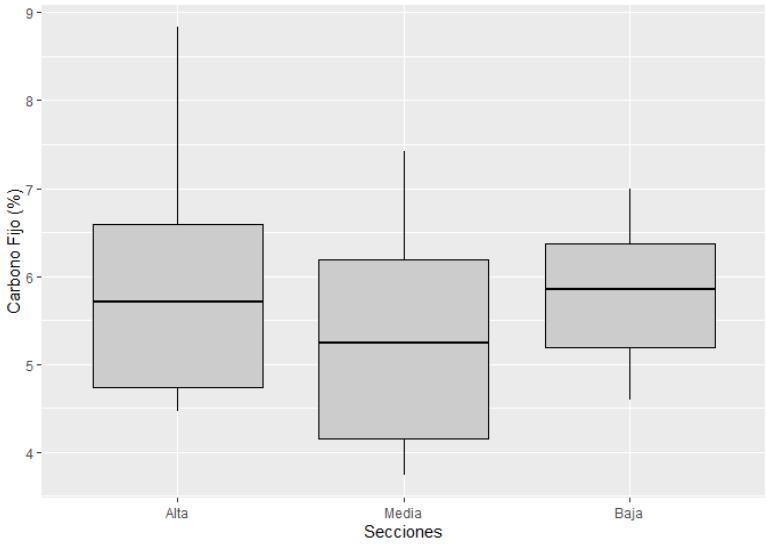


Figura 16. *Diagrama de cajas de la variable carbono fijo*
Fuente: Autora, 2021.

4.3 Caracterización de propiedades químicas de biomasa.

Mediante el análisis elemental, o análisis último, se obtiene la concentración de carbono, nitrógeno y azufre de la biomasa acumulada en los últimos 5 años.

En la Tabla 8 se muestra que hay un promedio de carbono elemental de 49,7 % que coincide con la bibliografía donde se menciona que la biomasa tiene un contenido de 30 al 60 % de este elemento, también será una guía para posteriormente estimar cuanto CO_2 se emitirá cuando se combustione esta madera (Fernández, 2021). Según Sun (2017) para la elaboración de biochar el contenido de carbono en la biomasa puede variar entre 27 al 50 %. Con respecto al carbono cabe aclarar que el valor de carbono fijo no es igual al carbono elemental ya que durante el proceso en el que se va eliminando el material volátil, es decir la devolatilización, se pierde una parte de carbono elemental.

En referencia al nitrógeno, en general hay un promedio de 0,36 % y para evitar que al combustionarse este elemento emita gases perjudiciales a la atmósfera elemento o absorba calor en este proceso y su aporte energético sea bajo, el contenido de nitrógeno en la biomasa debe estar entre 0 a 2 % (Fernández, 2021; Qatarneh et al., 2021).

Finalmente, los valores de azufre en todos los análisis fueron nulos lo que desde un punto de vista medioambiental es apropiado, por los gases derivados de este, como los óxidos

de azufre SO_X, podrían emitirse y acumularse en la atmósfera, lo que convierte a esta biomasa en un ideal producto para ser aprovechado a nivel energético (Fernández, 2021). Según Fernández (2021) para varias especies de *Eucalyptus* la concentración de azufre varía entre 0,15 a 0,3 % valores que resultan bajos al igual que los del presente estudio.

Un indicador adicional es la relación C/N donde su promedio es 139,35/1 resultado que se puede contrastar con la caracterización de biomasa forestal de la costa rusa donde la relación C/N para abedul 622/1, pino 1453/1 y abeto 1590/1 (Romashkin et al., 2021) o con la caracterización de residuos forestales de Italia en la que esta relación es de 85/1 (Cotana et al., 2016).

Tabla 8. *Promedio de cada variable química de la biomasa*

	Carbono [%]	**Nitrógeno [%]**	**Azufre [%]**	**C/N**
Media	49,65	0,356	-	139,35

Fuente: Autora, 2021.

La comparación de cada sección con respecto al análisis elemental se puede ver en la Tabla 9 donde el porcentaje de carbono es muy similar en las 3 secciones pues su promedio es de 49,6 %. En la sección Alta se da el valor más alto con 49,77 %, este decrece en la parte Media con un 0,2 % y aumenta levemente a 49,7 %. Lo que se esperara, es que la biomasa forestal en su concentración de carbono descienda conforme esta se va degradando (Chao et al., 2017). En base a los coeficientes de variación de esta variable se puede suponer que sus datos son muy similares entre ellos.

En caso del nitrógeno, la sección donde se concentra el valor más elevado es en la M3 con un promedio de 0,4 %. Estos resultados se acercan a la caracterización de madera residual que se usó para la elaboración de biochar el cual fue de 0,56 % de nitrógeno (Bartocci et al., 2017). Este valor después decrece un 0,04 % en la sección M2 (0,36 %) y más aún en la parte Alta hasta llegar a una media de 0,3 %. Valores que contradicen la tendencia que tiene el nitrógeno en la madera en descomposición, pues este tiende; aunque puede descender conforme pasa el tiempo, no disminuye de la concentración inicial (Bantle et al., 2014; Chao et al., 2017; Romashkin et al., 2021). Los CV dan a suponer que entre los grupos de datos se da una gran dispersión.

La relación Carbono/Nitrógeno presentan un valor de 162,08 en la sección Alta y esta se va reduciendo en la sección Media, con 135,71, y sección Baja con 123,5. Justamente

porque tiene una relación inversamente proporcional con el Nitrógeno ya que este al contrario va aumentando. Esta relación ayudará a conocer el grado de descomposición de la biomasa (Romashkin et al., 2021).

Tabla 9. *Media y coeficiente de variación de los 3 grupos de datos para cada variable química*

Código de las muestras		Carbono [%]	Nitrógeno [%]	Azufre [%]	C/N
ALTA	Z1M1				
	Z2M1	Media aritmética			
	Z3M1	49,654	0,306	-	167.083
	Z4M1				
	Z5M1	Coeficiente de variación			
	Z6M1	1,465	31,961		
MEDIA	Z1M2				
	Z2M2	Media aritmética			
	Z3M2	49,629	0,360	-	135.710
	Z4M2				
	Z5M2	Coeficiente de variación			
	Z6M2	0,985	23,042		
BAJA	Z1M3				
	Z2M3	Media aritmética			
	Z3M3	49,670	0,402	-	123.548
	Z4M3				
	Z5M3	Coeficiente de variación			
	Z6M3	0,391	24,411		

Fuente: Autora, 2021.

Continuando, se aplicó la prueba de normalidad, Tabla 10, en el caso del carbono con un *p* cuyo valor es mayor a 0,05 se acepta la hipótesis nula, es decir, se afirma una distribución normal. A diferencia del nitrógeno donde la hipótesis se rechaza por lo que tienen una distribución no paramétrica.

Tabla 10. *Prueba de normalidad para los datos de las variables químicas*

Variable	Test de Shapiro - Wilk	
	p-value	Decisión
Carbono	0,275	Se acepta la hipótesis nula
Nitrógeno	0,045	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

La prueba de Fligner-Killeen se empleó para corroborar la similitud de varianzas con un α de 0,05. Como resultado, se rechaza la hipótesis nula, en la variable carbono, demostrando que no poseen varianzas similares ninguno de los 3 grupos de datos. Por ello se continúa aplicando el test de ANOVA. Para la variable nitrógeno se acepta la hipótesis nula por lo que se puede continuar con la siguiente prueba, ver Tabla 11.

Tabla 11. *Prueba de similitud de varianzas de las variables químicas*

Variable	**Test de Fligner - Killeen**	
	p-value	Decisión
Carbono	0,002	Se rechaza la hipótesis nula
Nitrógeno	0,756	Se acepta la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

En la Tabla 12 se muestra los resultados de la aplicación del test de Kruskal Wallis para la variable nitrógeno ya que sigue una distribución no paramétrica. En esta se rechazó la hipótesis nula y se concluye que sí hay una diferencia estadística entre alguno de los grupos de datos, lo que apoya la deducción con el coeficiente de variación.

Tabla 12. *Prueba de similitud de grupos para la variable nitrógeno*

Variable	**Test de Kruskal -Wallis**	
	p-value	Decisión
Nitrógeno	0.011	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

El análisis a posteriori de la Tabla 13 para los grupos pertenecientes a la variable nitrógeno muestra que esta diferencia se da entre la sección Alta – Baja.

Tabla 13. *Resultados de análisis a posteriori de la variable nitrógeno*

Variable	**Test de Dunn – método de Bonferroni**		
	Comparación	p-value	Decisión
Nitrógeno	Alta – Baja	0,008	Se rechaza la hipótesis nula
	Alta – Media	0,246	Se acepta la hipótesis nula
	Baja – Media	0,621	Se acepta la hipótesis nula

Fuente: Autora, 2021.

En la Figura 17 del diagrama de cajas se aprecia que las medianas de las secciones Alta y Baja poseen asimetría negativa, pero en la distribución de sus datos hay diferencia. La sección Alta tiene los valores muy dispersos desde la mediana hasta su valor mínimo, lo

que muestra que estos tienden a descender. En cambio, en la sección Baja el 50 % de los datos se concentran hacia la mediana que tiene un valor de 49,7 % aproximadamente. En la sección Media los datos no se encuentran tan dispersos y tienen una asimetría positiva.

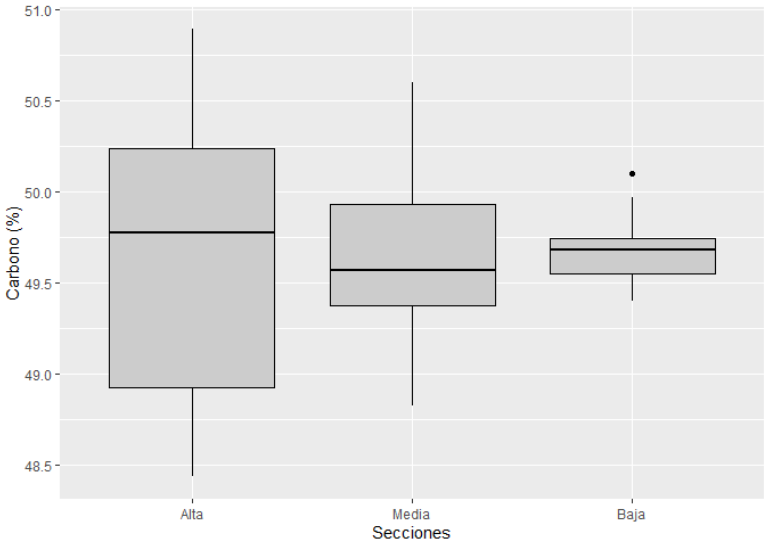


Figura 17. *Diagrama de cajas de la variable carbono*
Fuente: Autora, 2021.

En la Figura 18 se aprecia que las 3 secciones siguen una asimetría positiva. En la sección Alta se visualizan los valores menores y un valor extremo cercano al 0,5 % de concentración. En la parte Media, los datos aumentan y los que se encuentran entre el tercer cuartil y la mediana están muy dispersos. Finalmente, en la sección Baja, los datos tienden a aumentar hasta el valor máximo que llega a 0,6 % y se puede observar el resultado de la prueba de Dunn donde hay diferencia entre las secciones Alta – Baja. Esta distribución de datos es completamente diferente a la propuesta en la bibliografía, pues al aumentar el tiempo de degradación de la biomasa el nitrógeno debería acumularse.

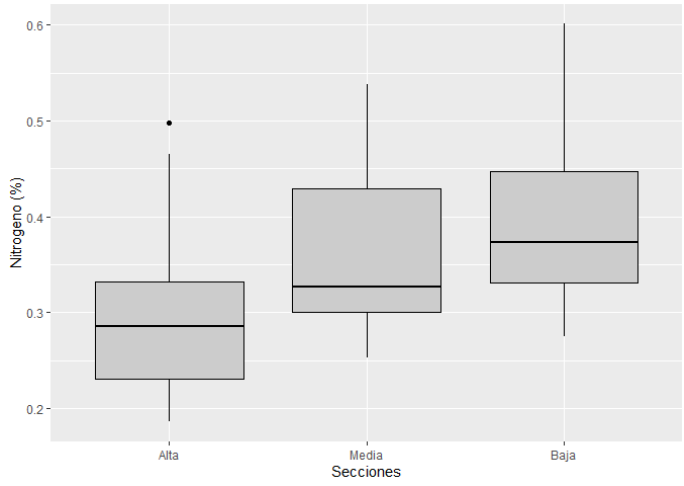


Figura 18. *Diagrama de cajas de la variable nitrógeno*
Fuente: Autora, 2021.

4.4 Caracterización del poder calorífico

Para fines energéticos el poder calorífico es la variable a considerar como prioridad, con esta se conoce la capacidad que tiene la biomasa como combustible. En la Tabla 14 se muestra que el promedio del poder calorífico es de 17,42 MJ/kg dato cercano a 18 MJ/kg, el cual es propuesto por Lima en (2013), como el valor mínimo para biomasa de tipo forestal con el fin de biocombustible. Aunque en una investigación donde se procesó biomasa se muestran valores inferiores de poder calorífico como 17,24 MJ/kg para biogás y 15,85 MJ/kg para syngas, dando resultados eficientes en estos productos (Carvajal et al., 2018). El coeficiente de variación podría indicar que los grupos de datos de esta variable son muy similares.

Tabla 14. *Promedio y coeficiente de variación total del poder calorífico de la biomasa*

Poder Calorífico [MJ/kg]	
Media	17,421

Fuente: Autora, 2021

En la Tabla 15 la zona Alta presenta un 17,2 MJ/kg de promedio de poder calorífico, la sección Media se muestra el promedio más alto con un valor de 17,65 MJ/kg. Finalmente, en la sección Baja los valores de la media descienden a 17,39 MJ/kg, lo que afirma que, en esta sección al tener mayor concentración de humedad, menor es el poder calorífico. El coeficiente de variación de cada grupo indica que hay la posibilidad de una gran similitud entre los datos.

Tabla 15. *Media de los 3 grupos de datos para el poder calorífico*

Código de las muestras		**Poder Calorífico [MJ/kg]**
ALTA	Z1M1	
	Z2M1	Media aritmética
	Z3M1	17,218
	Z4M1	
	Z5M1	Coeficiente de variación
	Z6M1	3,144
MEDIA	Z1M2	
	Z2M2	Media aritmética
	Z3M2	17,646
	Z4M2	
	Z5M2	Coeficiente de variación
	Z6M2	1,465
BAJA	Z1M3	
	Z2M3	Media aritmética

	Z3M3	17,398
	Z4M3	
	Z5M3	Coeficiente de variación
	Z6M3	2,104

Fuente: Autora, 2021.

Aplicado el test de normalidad se rechaza la hipótesis nula, es decir que los datos del poder calorífico siguen una distribución no normal, ver Tabla 16.

Tabla 16. *Prueba de normalidad para el poder calorífico*

Variable	**Test de Shapiro - Wilk**	
	p-value	Decisión
Poder calorífico	0,0071	Se rechaza la hipótesis nula

Fuente: Autora,2021.

Para conocer si las varianzas son similares se emplea la prueba de Fligner - Killeen con un *p* valor menor a 0,05 se descarta la similitud de varianzas. El test de Kruskal Wallis no se pudo aplicar por los resultados anteriores (Tabla 17).

Tabla 17. *Pruebas de similitud de varianzas y de grupos para datos no paramétricos del poder calorífico*

Variable	**Test de Fligner - Killeen**		**Test de Kruskal - Wallis**	
	p-value	Decisión	p-value	Decisión
Poder calorífico	0,041	Se rechaza la hipótesis nula	-	-

Fuente: Autora, 2021.

En la Figura 19 se muestra que los valores de la sección Alta siguen asimetría negativa, con un mínimo inferior a 16,4 MJ/kg y un valor máximo de 18 MJ/kg, similar al estimado para para residuos de *Eucalyptus globulus* que es de 18 – 20 MJ/kg según (Remaycuna, 2019). En la sección Media el 50 % de los valores se concentran hacia la mediana de 17,6 %. Finalmente, en la sección Baja, los datos descienden a una mediana de 17,4 MJ/kg y un dato extremo cercano a 16,5 MJ/kg.

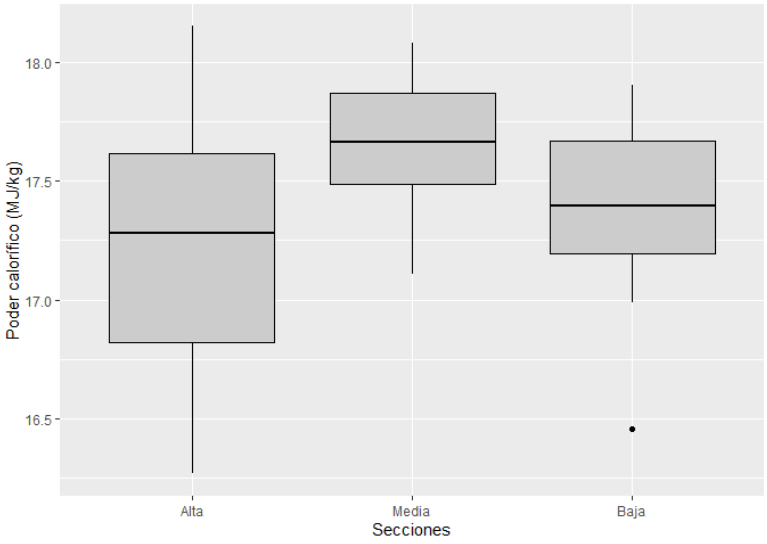


Figura 19. *Diagrama de cajas del poder calorífico*
Fuente: Autora, 2021.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La cuantificación de la biomasa acumulada en el embalse Mazar muestra que en los 5 años en los que se ha realizado la limpieza de este se recolectaron más de 5 000 toneladas, evidenciando que hay un gran volumen de biomasa en potencia y presenta la oportunidad de aprovecharse como fuente de energía, transformarse en un producto para mejorador de suelo o de calidad de agua.

Cabe aclarar que a lo largo de los 5 años en los que se han recolectado los residuos forestales, estos se han enterrado y acomodado en las mismas zonas donde se acumulan para estabilizar las mismas; igualmente, una parte ha sido entregada a los habitantes de la zona para múltiples usos. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que la fuente de biomasa es constante, ya que está sujeta a fenómenos meteorológicos que se dan en las cuencas del río Paute, por lo que anualmente se puede esperar que llegue aproximadamente 1000 toneladas entre las 2 zonas de estudio y la fuente de residuos forestales no sea un limitante para posibles aplicaciones.

Se ha determinado en los análisis proximales de los residuos que no hay diferencia entre las variables de las 3 secciones identificadas en el cúmulo de biomasa, a excepción de cenizas. En general se podría decir que la biomasa puede manejarse en conjunto indistintamente de la sección en la que se encuentre, pero se debería tomar en cuenta que no tenga impurezas, como arena, para así evitar valores altos de cenizas cuando la biomasa se procese.

Al comparar los resultados de humedad en base húmeda y seca del área de estudio con madera residual usada para aplicaciones bioenergéticas, estos cumplen con las condiciones estimadas. En los gráficos de cajas de estas variables se confirma que en la sección Baja es donde se concentra un mayor porcentaje de humedad ya que esta fue recolectada en los últimos meses; 40,925 % para humedad en base húmeda y 9,352 % en base seca.

Los resultados de las cenizas en las secciones Alta y Media se encuentran dentro del rango admisible. Pero en la parta Baja superan ligeramente este rango, pues en promedio tiene 1,6 %. Lo que puede deberse a que la biomasa de esta sección se encuentra contaminada con impurezas y es donde los residuos forestales tienen más corteza, lugar donde se pueden almacenar estos sedimentos.

El material volátil contenido en la biomasa indica que esta es apta para una buena combustión con bajo consumo energético y apoya la idea de aplicaciones de estos residuos como combustible, con una media de 83,6 %. En los diagramas de cajas se visualiza cómo los resultados de esta variable no se dispersan en gran medida y demuestran una concentración óptima para este fin.

Los resultados de carbono fijo, no superan el 5,85 %, valores bajos a comparación con otras investigaciones, pero al relacionarlo con el material volátil se concluye que los residuos forestales son idóneos para la obtención de gases y biochar.

En la caracterización de las propiedades químicas se obtuvieron datos nulos en la variable de azufre lo que resulta positivo, pues la combustión de este elemento genera óxidos de azufre que es perjudicial en el aspecto medioambiental y para la salud humana.

Las concentraciones de carbono de aproximadamente un 50 % se comparan con otros estudios similares y coindicen. Igualmente, se concluye que es un porcentaje idóneo para usar esta biomasa como mejorador de suelo. También en los gráficos se observa cómo conforme la madera se degrada, la biomasa ubicada en la sección Alta, pierde el contenido de carbono lo que se corrobora con la bibliografía.

Algo similar ocurre con el porcentaje de nitrógeno, con una media de 0,36 %, aunque contradice la tendencia de concentración que varios estudios afirman. Esto puede deberse a que el nitrógeno se pierde por su volatilización y el lavado que se da por las lluvias, como se simula en el estudio con residuos forestales en Italia (Cotana et al., 2016), pues los residuos se encuentran en la intemperie. Por ello, sí hay una diferencia estadística entre los resultados de esta variable en las secciones identificadas en el estudio. La relación C/N debe tomarse en consideración si la intención es producir biogás y abono, pues en los residuos madereros esta relación es alta, como lo muestran los resultados; la posible solución es procesar los residuos y aumentar el nivel de nitrógeno con amoniaco (Aeberhard et al., 2007).

El poder calorífico es una variable determinante para el aprovechamiento bioenergético de la biomasa acumulada. Inicialmente se comprueba la relación del poder calorífico con la humedad: mientras mayor sea esta, el poder calorífico disminuirá. Los resultados presentados de esta caracterización se consideran relativamente apropiados para uso de la biomasa como combustible presentando una media de 17,5 %, valor muy similar al que se evidencia en estudios con la biomasa forestal.

En base a los resultados presentados, expertos sugieren diferentes aplicaciones de esta biomasa. Principalmente, considerando el contexto ambiental, social y económico, proponen enfocarse en la generación de carbón vegetal y a la par biochar, pues requiere de una baja inversión económica y es de utilidad para los pobladores de las zonas aledañas al embalse Mazar. La elaboración de chips es la siguiente alternativa recomendada, por su tamaño, no requiere que se mezcle con otros productos y su producción no implica emisiones gaseosas. Posteriormente se propone enfocarse en la elaboración de pellets y briquetas, estos para la generación de bioenergía, los limitantes de estos productos es la maquinaria, la energía que consume su elaboración y un mercado dispuesto a consumir el producto. El biogás y bioetanol son productos que se pueden elaborar a nivel de laboratorio al considerar los costos de productos y la cantidad de materia prima que se requiere para implementarlos a gran escala y finalmente, el carbón activado ya que es un producto que requiere de experticia en el área y una gran inversión de producción (Peláez, comunicación personal, 25 de octubre de 2021; Alvarado, comunicación personal, 15 de noviembre de 2021).

Finalmente, se puede concluir que la biomasa es medio de obtención de energía limpia, aunque es un término poco popular en el Ecuador, pero ha ido escalando en los últimos años sobre todo con los residuos agrícolas. La biomasa es un recurso renovable y sostenible, y se debe comprender que estos restos no son basura sino un producto aprovechable para diferentes fines, los cuales están a la espera de seguir cumpliendo su ciclo natural. Son los seres humanos quienes pueden involucrarse en este ciclo y en el proceso obtener un beneficio de ellos generando bajos impactos ambientales.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda hacer un monitoreo anual de la biomasa que llega al embalse Mazar y es acumulada en las dos zonas de estudio, para así tener un registro constante del volumen de material que llega a este y eventualmente poder estimar cuánta biomasa se espera que llegue en los próximos años

Se propone implementar una metodología para la separación de plásticos de los restos forestales, pues al muestrear la biomasa se evidencia que esta tiene restos plásticos entre ella y pueden influir en el producto final que se implemente.

Para un futuro uso de esta biomasa se podría hacer una limpieza superficial y así evitar la presencia de impurezas.

Finalmente se recomiendo iniciar con estudios más detallados de las aplicaciones sugeridas para así conocer su factibilidad en el medio

Bibliografía y referencias

Aeberhard, R., Corace, J., Martina, P., García, E., Tortosa, G., & Ventín, A. (2007). Procesos De Mejoramiento En El Rendimiento Del Aserrín Utilizado Como Materia Orgánica En Un Biodigestor. *Departamento de Termodinámica y Máquinas Térmicas – Facultad de Ingeniería Universidad Nacional del Nordeste*, 11–15. http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/93881/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aldunate, J. (2015). *Plan de negocios para una fábrica de pellets de madera en Chile*. http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137547

Altamirano, A., Schlegel, B., Thiers, Ó., Miranda, A., Pilquinao, B., Orrego, R., & Rocha, C. (2015). Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía en el centro-sur de Chile. *Bosque*, *36*(2), 223–237. https://doi.org/10.4067/S0717-92002015000200008

Alvarado, P. (2013). *Factibilidad del uso de lechuguin del embalse Mazar para la elaboración de compost* [Universidad del Azuay]. http://201.159.222.99/bitstream/datos/466/1/09390.pdf

Ames, F., & Samaniego, B. (2019). *Optimización de la adsorción de la rodamina B sobre el carbón activado preparado a partir de la madera tornillo (Cedrelinga cateniformis Ducke)*.

Arroyo, J. (2016). *Aprovechamiento Del Recurso Biomasa a Partir De Los Desechos*.

Arteaga, J. (2020). Caracterización de cascarilla de arroz como biomasa residual para combustible térmico. En *Universidad Internaciona SEK*. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.02.027

Ayala, E., Aparicio, A., & García, C. (2016). Revisión del cálculo de poder calorífico y punto de rocío del gas natural , y de la estimación de sus incertidumbres. *Revista ION*, *29*(2), 87–99.

Bajaña, L. (2019). Calibración del Índice de Calidad de Agua (ICA) para la cuenca hidrográfica del Río Paute región sur interandina del Ecuador. En *Panorama*.

Balderrama, Í. de F., Stuani, V. de T., Cardoso, M. V., Oliveira, R. C., Lopes, M. M. R., Greghi, S. L. A., & Adriana Campos Passanezi, S. A. (2021). The influence of implant surface roughness on decontamination by antimicrobial photodynamic therapy and chemical agents: A preliminary study in vitro. *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*, *33*(November 2020). https://doi.org/10.1016/j.pdpdt.2020.102105

Bantle, A., Borken, W., & Matzner, E. (2014). Dissolved nitrogen release from coarse woody debris of different tree species in the early phase of decomposition. *Forest Ecology and Management*, *334*(3), 277–283. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.015

Barriga, J. (2019). Evaluación De La Calidad Hídrica E Impactos Socioambientales De Los Embalses De Cundinamarca, Colombia. *Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Estudios Ambientales y Rurales*, *53*(1), 1–136. http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2016.08.001%0Ahttps://medium.com/idols-of-the-theatre/the-problems-with-colonial-science-and-technology-transfer-5eb6bd7c0800%0Ahttps://www.dawsonera.com/readonline/9781848133815%0Apapers3://publication/uuid/F4832ADD-8D

Bartocci, P., Barbanera, M., D'Amico, M., Laranci, P., Cavalaglio, G., Gelosia, M., Ingles, D., Bidini, G., Buratti, C., Cotana, F., & Fantozzi, F. (2017). Thermal degradation of driftwood: Determination of the concentration of sodium, calcium, magnesium, chlorine and sulfur containing compounds. *Waste Management*, *60*, 151–157. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.035

Bautista, M., Victoria, E., Vargas, L., & Hernández, C. (2020). Pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas: su clasificación, objetivos y características. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, *9*(17), 78–81. https://doi.org/10.29057/icsa.v9i17.6293

Bermudez, A., Fabián, Y., & Salgado, Z. (2020). Densificación de Biomasa Como Alternativa de Aprovechamiento y Valorización de Residuos Agrícolas. *Programa de Bioingenieria Universidad Santiago de Cali*, *1962*, 1–14. https://construinnova.files.wordpress.com/2017/03/estructura-del-coco.jpg?w=620&h=412.

Brandt, M. (2017). Dams and Reservoirs. En *Consult Eng (London)* (Vol. 42, Número 5, pp. 159–204). https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100025-0.00005-3

Breeze, P. (2018). Dams and Barrages. En *Hydropower* (pp. 23–33). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812906-7.00003-x

Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J., Corral, J., & Hernandez, J. (2016). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista mexicana de ciencias forestales*, *7*(38), 5–24.

Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., Bièvre, B. De, & Wyseure, G. (2006). Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. *Journal of Hydrology*, *329*(3–4), 413–421. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.02.031

Canalís, J. (2013). Apuntes sobre dendroenergía. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 10–12.

Cárdenas, M. (2019). *Comunicación interna, una mirada desde las organizaciones comunitarias: análisis de caso Asociación Agropecuaria "Santa Teresita" Cantón Guachapala*.

Carvajal, C., Tafur, P., Villavicencio, A., & Gutiérrez, E. (2018). Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico. *Científica*, *22*(2), 113–123. http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Villavicencio-Ángelo_termoquimico.pdf%0Ahttps://www.researchgate.net/profile/Paul_Michael_Tafur_Escanta/publication/340665505_Characterization_of_the_Calorific_Power_of_the_Residual_Biomass_of_Cacao_CCN5

CELEC EP. (2006). *Proyecto Hidroelectrico Mazar Estudio De Impacto Ambiental Definitivo (EIAD) Resumen Ejecutivo*. 1–43.

CELEC EP. (2014). *Informe Anual 2014*. https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/stories/INFORMES_DE_GESTION/2014/site9161618.91.webydo.com/index.html

CELEC EP. (2015). *Subcuenca del Río Paute*. Gestión Socioambiental. https://www.celec.gob.ec/hidropaute/es/sociedad-y-ambiente/subcuenca-del-rio-

paute.html

CELEC EP. (2016). Informe Anual 2016. En *Corporación Eléctrica del Ecuador*. https://economipedia.com/definiciones/unidad-de-negocio.html

CELEC EP. (2017). *Informe Anual 2017*. https://www.celec.gob.ec/hidropaute/images/stories/INFORMES_DE_GESTION/2017/index.html

CELEC EP. (2020). *CELEC EP crea Unidad de Negocio CELEC SUR*. https://www.celec.gob.ec/#

CELEC EP. (2021). *Historia - CELEC Sur*. https://www.celec.gob.ec/celecsur/index.php/heh-ecuador/historia

Chao, K. J., Chen, Y. S., Song, G. Z., Chang, Y. M., Sheue, C. R., Phillips, O. L., & Hsieh, C. F. (2017). Carbon concentration declines with decay class in tropical forest woody debris. *Forest Ecology and Management*, *391*, 75–85. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.020

Comba, N. (2009). Las cianobacterias como indicadores de la calidad del agua en el embalse de Betania (Cuenca Alta del río Magdalena). En *Universidad de Bogotá Jorage Tadeo Lozano*. https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/handle/20.500.12010/1213#.X5nxPTnsnrQ.mendeley

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(065-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(066-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(067-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(068-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(069-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(070-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(071-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(072-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(073-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(074-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(075-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(076-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(077-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(078-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(079-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(080-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(081-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cortez, E (2021). Caracterización de biomasa.(082-2021) Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar

Cotana, F., Buratti, C., Barbanera, M., Cavalaglio, G., Foschini, D., Nicolini, A., & Pisello, A. L. (2016). Driftwood biomass in Italy: Estimation and characterization. *Sustainability (Switzerland)*, *8*(8), 1–12. https://doi.org/10.3390/su8080725

Da Silva, R. R., Lucena, G. N., MacHado, Â. F., De Freitas, G. A., Matos, A. T., & Abrahão, W. A. P. (2018). Spectroscopic and elementary characterization of humic substances in organic substrates. *Comunicata Scientiae*, *9*(2), 264–274. https://doi.org/10.14295/CS.v9i2.2734

de la Puente, C. (2018). *Estadística descriptiva e Inferencial*.

de Lucas, A., & del Peso, C. (2012). Bloque I. Materias Primas. En *Biomasa, Biocombustible y Sostenibilidad* (Vol. 13, Número 2, pp. 1–216).

Díaz, L., Canto Sáenz, M., Alegre Orihuela, J., Camarena Mayta, F., & Julca Otiniano, A. (2017). Sostenibilidad social de los subsistemas productivos de tomates de árbol (Solanum betaceum Cav) en el cantón Guachapala. *Ecología Aplicada*, *16*(2), 99. https://doi.org/10.21704/rea.v16i2.1013

Diez, J. P., Varela, S., Martinez, A., Caballé, G., & Claps, L. (2017). Aprovechando residuos forestales : una alternativa de manejo integral de plantaciones de pino ponderosa en la cuenca de Arroyo del Medio. *INTA EEA Bariloche*, *68*, 9–14.

Eileyn, P. (2015). *Evaluación de un carbonizador portátil de bajo costo en la valorización de residuos biomásicos lignocelulósicos*.

Escandón, A. M. (2011). Lengua Azul en Bovinos. En *Universidad de Cuenca*. http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/es/lengua_azul.pdf

Escobar, Jhoan, Cañon, J., Aguilar, Y., Aspirilla, D., & Mayurana, J. (2018). Análisis del aprovechamiento sustentable de los residuos generados en la transformación de madera en dos municipios del departamento del Chocó. *Universidad de Antioquia*, *37*(2), 66. https://search.proquest.com/docview/2287428999?accountid=136844%0Ahttp://link.periodicos.capes.gov.br/sfxlcl41?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&genre=article&sid=ProQ:ProQ%3Aelectronicscomms&atitle=Análisis+del+aprovechamiento+

Escobar, Juan, & Weil, E. (2018). *Identificación de la Cadena Productiva de Elaboración de Pellets de Madera*.

FAO. (2014). *Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluacion rápida (BEFs RA) Manual de usuario*.

Fernández, M. (2021). *Caracterización energética de las principales especies forestales de Galicia. Modelización del podel calorífico de la biomasa en función de su análisis elemental y composición mineral*.

Flores, J., & Flores, R. (2018). La Enseñanza del Diagrama de Caja y Bigotes para Mejorar su Interpretación. *Revista Bases de la Ciencia.*, *3*(1), 69–75. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v3i1.1107

Foelkel, C. E. B., Brasil, M. A. M., & Barrichelo, L. E. G. (1971). Métodos para determinação da densidada básica de cavacos para coníferas e folhosas. *Ipef*, *2/3*, 65–74.

Fuertes, K. (2020). *Optimización en las fases de separación enla fuente, tratamiento y disponibilidad final de los residuos sólidos urbanos en el cantón San Pedro de Huaca*.

GAD Guchapala. (2013). *Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Guachapala*.

García, J. M., & García, J. Á. (2006). *Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol*.

González, M. (2020). *Los Ceratopogónidos y su importancia en sanidad humana y animal*. Universidad de Sevilla.

Hanks, D. (2020). Dams: Anthrome Enablers. En *Encyclopedia of the World's Biomes* (pp. 169–179). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.12035-4

Jiménez, J., Argimon, J., Martín, A., & Vilardell, M. (2015). *Publicación científica biomédica*. http://www.sciencedirect.com/science/book/9788480864619%5Cnhttp://cataleg.ub.edu/record=b2166494~S1*cat

Kang, S., Hyung, J., Hong, Y., Lee, D., Kim, K., & Jeon, E. (2017). Estimation of optimal biomass fraction measuring cycle for municipal solid waste incineration facilities in Korea. *Waste Management*, 5. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.028

Lima, L. (2013). *Evaluacióm de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía*.

Liu, H. (2011). Biomass fuels for small and micro combined heat and power (CHP) systems: Resources, conversion and applications. En *Small and Micro Combined Heat and Power (CHP) Systems: Advanced Design, Performance, Materials and Applications* (pp. 88–122). https://doi.org/10.1533/9780857092755.1.88

Lopera, L. M., Oviedo, L. M., Rodriguez, D. C., & Peñuela, G. A. (2016). Aplicación de ensayos en discontinuo para la determinación de flujos de metano y dióxido de carbono en la degradación del material vegetal en el embalse Topocoro. *Ingenierías USBMed*, *7*(2), 67–73. https://doi.org/10.21500/20275846.2598

López, L., Leidy, V., Rendón, C., & Tobón, S. (2020). Caracterización de los residuos de la industria maderera para su aprovechamiento en diferentes aplicaciones. *Ingeniería y Desarrollo*, *38*(1), 104–124. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612020000100104&lng=en&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-34612020000100104&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Lunguleasa, A., Spirchez, C., & Zeleniuc, O. (2020). Evaluation of the calorific values of wastes from some tropical wood species. *Maderas. Ciencia y tecnología*, *22*(3), 269–280. https://doi.org/10.4067/s0718-221x2020005000302

McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*, *83*(1), 37–46. https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3

Medina, R., Mendoza, A., Hansen, A., Falcón, A., Bravo, L., Sanchez, J., Peñaloza, X., López, A., Huerto, R., Estrada, E., García, J., & Mejía, V. (2017). *Invernadero (GEI) en el embalse de Valle de Bravo*.

Mendenhall, W., Beaver, R., & Beaver, B. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística*.

Minaya, M., Cari, P., Garate, J., & Rodríguez, L. (2020). Carbón activado de residuos maderables de shihuahuaco (Dipteryx micrantha), y su aplicación en decoloración de aceite de castaña (Bertholletia excelsa). *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, *8*(1), 1–16. https://doi.org/10.22386/ca.v8i1.277

Molina, L. (2019). Monitoreo De Obra Mediante Modelos Digitales De Elevacion

Generados Por Fotogrametria Con Drones. En *Universidad de Los Andes*.

Moreno, C. (2011a). Seguimiento al proyecto Hidroeléctrico Mazar. En *Instituto de Altos Estudios Nacionales*. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Moreno, C. (2011b). *Seguimiento al Proyecto Hidroeléctrico Mazar* [Institutp de Altos Estudios Nacionales]. http://repositorio.iaen.edu.ec/bitstream/24000/2622/1/Tesis Carlos Moreno.pdf

Moya, R. (2017). *Uso de la biomasa forestal y resultados de propiedades dendroenergéticas para especies de interés*.

Neri, F. J. (2002). *Caracterización y cinética de la pirólisis del bagazo de caña de azucar*.

Novales, A. (2010). *Análisis de Regresión*.

Nuñez, V., Escobedo, M., Reveles, M., Ruiz, F., & Parra, A. (2019). Efecto del contenido de humedad sobre pélets de aserrín de madera de Pinus spp. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *6*(2), 136–144.

Ortiz, C. M. (2018). *Caracterización de la densidad de madera de balsa (Ochroma pyramidale) en dos zonas edafoclimáticas de la costa ecuatoriana*.

Pacheco, J., & Matovelle, C. (2021). Análisis de la influencia del embalse Hidroeléctrico Mazar en el bioclima de la ciudad de Paute. *ConcienciaDigital*, *4*(2), 39–54. https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i2.1626

Paredes, G. (2019). Aprovechamiento de los residuos del café molido y pasado para elaborar un biocombustible de segunda generación. En *Universidad Central Del Ecuador*. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19242

Pereyra, O., & Gelid, M. (2003). Estudio de la variabilidad de la densidad básica de la madera de Pinus taeda para plantaciones de misiones y norte de corrientes. *Floresta*, *33*(1), 3–19. https://doi.org/10.5380/rf.v33i1.2308

Piętka, J., Gendek, A., Malaťák, J., Velebil, J., & Moskalik, T. (2019). Effects of selected white-rot fungi on the calorific value of beech wood (Fagus sylvatica L.). *Biomass and Bioenergy*, *127*. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105290

Pollard, J. (2021). TheEccentric Engineer. *EandTmagazine*, *December 2020*, 2021.

Qatarneh, A. F., Dupont, C., Ruiz-Villanueva, V., da Silva Perez, D., Ashour, R. M., Piégay, H., & Franca, M. J. (2021). Evaluating river driftwood as a feedstock for biochar production. *Waste Management*, *134*(July), 197–205. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.08.017

Quispe, A., Calla, K., Yangali, J., Rodrigez, J., & Pumacayo, I. (2019). *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS , MINITAB Y EXCEL*.

Ramos, G. (2018). *Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones*. iAgua. https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones

Remaycuna, J. (2019). *Estudio de la capacidad calorífica de la especie forestal más utilizada como combustible nlas comunidades campesinas de Piruro y San Miguel de Pangora y del distrito de Lajas - Chota -Cajamarca*.

Riesco, G., Imaña, I., & de Paula, J. (2019). Wood density of 59 tree species in the order sapindales from natural forests in Brazil. *Madera y Bosques*, *25*(2), 1–12. https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521817

Romashkin, I., Shorohova, E., Kapitsa, E., Galibina, N., & Nikerova, K. (2021). Substrate quality regulates density loss, cellulose degradation and nitrogen dynamics in downed woody debris in a boreal forest. *Forest Ecology and Management*, *491*(November 2020), 119143. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119143

Shen, F., Xiong, X., Fu, J., Yang, J., Qiu, M., Qi, X., & Tsang, D. C. W. (2020). Recent advances in mechanochemical production of chemicals and carbon materials from sustainable biomass resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *130*(38), 1–20. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109944

Sun, X., Shan, R., Li, X., Pan, J., Liu, X., Deng, R., & Song, J. (2017). Characterization of 60 types of Chinese biomass waste and resultant biochars in terms of their candidacy for soil application. *GCB Bioenergy*, *9*(9), 1423–1435. https://doi.org/10.1111/gcbb.12435

Telmo, C., Lousada, J., & Moreira, N. (2010). Proximate analysis, backwards stepwise regression between gross calorific value, ultimate and chemical analysis of wood.

Bioresource Technology, *101*(11), 3808–3815. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.021

Torres, D., Ordoñez, C., Buendía, E., & Águilar, P. (2017). Determinación de áreas aptas para el aprovechamiento de Biomasa Forestal Residual en la Umafor 1008 "El Salto", Durango, México. *Revista de Aplicación Cientiíica y Técnica*, *3*(9), 1–9.

Ulloa, A., Camacho, D., Arias, D., & Valverde, J. C. (2018). Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, *15*, 43–50. https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i1.3722

Vásquez, E., & Herrera, J. (2006). Metodología para la Caracterización de Combustibles Sólidos Maderables del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *59*(2), 3557–3564.

Velásquez, Y., Villabona, S. L., & Palacio, H. (2021). Influencia de palizadas en la estructura del zooplancton en un embalse tropical. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, *45*(174), 217–228. https://doi.org/10.18257/raccefyn.1269

Verdezoto, J. (2016). *Investigación de Orbivirus en ganado vacuno y sus posibles vectores* [Universidad San Francisco de Quito]. https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5875/1/124754.pdf

Wang, C., Deng, X., Xiang, W., & Yan, W. (2020). Calorific value variations in each component and biomass-based energy accumulation of red-heart Chinese fir plantations at different ages. *Biomass and Bioenergy*, *134*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105467

Wolter, A., Stead, D., Ward, B. C., Clague, J. J., & Ghirotti, M. (2016). Engineering geomorphological characterisation of the Vajont Slide, Italy, and a new interpretation of the chronology and evolution of the landslide. *Landslides*, *13*(5), 1067–1081. https://doi.org/10.1007/s10346-015-0668-0

Yolanda, G. (2018). Calefacción de distrito por biomasa en el barrio Andorra. En *Universidad del País Vasco*.

Anexos

7.1 Anexo 1: Formato de etiquetado para las muestras

Tabla 18. Formato de etiquetado para la identificación de las muestras

	Universidad de Cuenca **Facultad de Ciencias Químicas** **Ingeniería Ambiental**	Cuenca - 2021
Identificación		
Fecha		
Lugar de muestreo		
Coordenadas		

Fuente: Autora, 2021.

7.2 Anexo 2: Resultados de laboratorio de la densidad de la biomasa

Tabla 19. Cálculo de la densidad de la biomasa

	Código muestra	Peso saturado [g]	Peso seco [g]	Densidad [g/cm³]	Promedio de cada zona [g/cm³]
San Carlos	Z1M1	11,103	2,710	0,267	0,636
	Z1M2	4,809	2,585	0,661	
	Z1M3	20,296	17,270	1,207	
	Z2M1	5,730	3,119	0,671	
	Z2M2	8,216	3,162	0,444	
	Z2M3	4,662	2,802	0,759	
	Z3M1	6,368	5,063	1,098	
	Z3M2	9,561	5,326	0,691	
	Z3M3	3,558	0,634	0,190	
	Z4M1	7,203	4,094	0,708	
	Z4M2	27,800	9,732	0,398	
	Z4M3	9,031	4,108	0,540	
Sacre	Z5M1	6,846	2,994	0,516	0,541
	Z5M2	7,643	5,063	0,860	
	Z5M3	6,442	1,139	0,188	
	Z6M1	11,458	5,114	0,528	
	Z6M2	9,023	5,105	0,704	
	Z6M3	10,293	3,985	0,447	

Fuente: Autora, 2021

7.3 Anexo 3: Resultados de laboratorio

Tabla 20: Resultados de laboratorio de la muestra ZIMI

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 065-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z1M1 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 177
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 177 Z1M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.631 ± 0.163
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.905 ± 0.192
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	82.346 ± 0.355
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.881 ± 0.273
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	50.563 ± 0.287
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	6.349 ± 0.054
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.328 ± 0.006
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	154.477 ± 2.778
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	6.704 ± 0.042

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.444	9.746	9.704
Cenizas	%	2.127	1.810	1.779
Volátiles	%	82.307	82.719	82.013
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	18.150	17.890	17.605
Carbono	%	50.892	50.360	50.438
Hidrogeno	%	6.389	6.371	6.288
Nitrógeno	%	0.321	0.332	0.332
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	157.435	151.923	154.074
C/H	%	6.713	6.659	6.742

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 21: Resultados de laboratorio de la muestra ZIM2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 066-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z1M2 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 178
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 178 Z1M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.605 ± 0.126
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.293 ± 0.072
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	83.197 ± 0.359
	Poder Calorifico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.799 ± 0.119
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	50.372 ± 0.198
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	6.226 ± 0.051
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.325 ± 0.006
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	154.963 ± 4.001
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	6.794 ± 0.036

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.461	9.668	9.687
Cenizas	%	1.350	1.315	1.213
Volátiles	%	83.486	83.311	82.795
Poder Calorifico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.863	17.661	17.872
Carbono	%	50.246	50.268	50.600
Hidrogeno	%	6.243	6.168	6.266
Nitrógeno	%	0.321	0.321	0.332
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	157.841	156.655	150.394
C/H	%	6.761	6.833	6.787

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 22: Resultados de laboratorio de la muestra ZIM3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 067-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z1M3 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 179
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 179 Z1M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.909 ± 0.171
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.589 ± 0.119
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	84.027 ± 0.591
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.571 ± 0.405
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.595 ± 0.178
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.104 ± 0.043
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.392 ± 0.023
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	126.849 ± 8.699
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.541 ± 0.078

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.747	9.087	8.893
Cenizas	%	1.684	1.627	1.456
Volátiles	%	84.277	84.453	83.352
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.777	17.833	17.105
Carbono	%	49.752	49.401	49.632
Hidrogeno	%	4.143	4.109	4.059
Nitrógeno	%	0.384	0.417	0.373
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	130.211	116.971	133.367
C/H	%	9.499	9.493	9.631

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 23: Resultados de laboratorio de la muestra Z2M1

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 068-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z2M1 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 180
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 180 Z2M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.060 ± 0.237
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	0.883 ± 0.013
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	82.226 ± 0.823
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.209 ± 0.715
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	50.253 ± 0.083
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.103 ± 0.018
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.227 ± 0.006
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	221.557 ± 8.246
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.633 ± 0.025

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.122	9.261	8.799
Cenizas	%	0.879	0.898	0.873
Volátiles	%	82.061	83.119	81.498
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.625	17.618	16.383
Carbono	%	50.330	50.165	50.264
Hidrogeno	%	4.105	4.083	4.119
Nitrógeno	%	0.220	0.231	0.231
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	230.765	219.052	214.854
C/H	%	9.643	9.651	9.604

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 24: Resultados de laboratorio de la muestra Z2M2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 069-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z2M2 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 181
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 181 Z2M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.577 ± 0.120
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	2.796 ± 0.201
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	83.540 ± 0.472
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.476 ± 0.388
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.117 ± 0.288
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.050 ± 0.035
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.339 ± 0.026
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	145.304 ± 10.703
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.383 ± 0.057

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.523	9.714	9.494
Cenizas	%	3.028	2.671	2.690
Volátiles	%	83.236	83.300	84.083
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.436	17.109	17.882
Carbono	%	49.103	48.837	49.412
Hidrogeno	%	4.082	4.013	4.055
Nitrógeno	%	0.310	0.354	0.354
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	157.656	138.772	139.485
C/H	%	9.321	9.396	9.432

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 25: Resultados de laboratorio de la muestra Z2M3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 070-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z2M3 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 182
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 182 Z2M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.484 ± 0.112
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	2.253 ± 0.125
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	81.682 ± 0.091
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.672 ± 0.190
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.752 ± 0.195
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.116 ± 0.039
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.324 ± 0.013
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	154.746 ± 7.296
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.408 ± 0.040

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.591	9.368	9.492
Cenizas	%	2.391	2.146	2.223
Volátiles	%	81.615	81.647	81.785
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.546	17.891	17.578
Carbono	%	49.969	49.593	49.693
Hidrogeno	%	4.149	4.073	4.125
Nitrógeno	%	0.331	0.331	0.309
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	149.506	151.653	163.079
C/H	%	9.391	9.454	9.380

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 26: Resultados de laboratorio de la muestra Z3M1

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

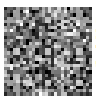
INFORME DE ENSAYOS Nº 071-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z3M1 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 183
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 183 Z3M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.677 ± 0.129
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.007 ± 0.004
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	85.561 ± 0.331
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	16.932 ± 0.372
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	48.699 ± 0.081
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.197 ± 0.002
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.197 ± 0.019
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	249.007 ± 24.117
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.259 ± 0.017

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.743	8.528	8.759
Cenizas	%	1.006	1.012	1.003
Volátiles	%	85.680	85.816	85.187
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.281	16.541	16.973
Carbono	%	48.728	48.608	48.761
Hidrogeno	%	4.198	4.197	4.195
Nitrógeno	%	0.219	0.186	0.186
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	221.168	262.314	263.539
C/H	%	9.262	9.240	9.273



Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 27: Resultados de laboratorio de la muestra Z3M2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 072-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z3M2 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 184
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 184 Z3M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.921 ± 0.125
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	0.536 ± 0.126
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	86.085 ± 0.296
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.749 ± 0.313
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.159 ± 0.293
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.209 ± 0.041
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.271 ± 0.017
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	180.025 ± 13.020
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.267 ± 0.016

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.024	8.957	8.782
Cenizas	%	0.525	0.668	0.416
Volátiles	%	86.426	85.929	85.898
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.981	17.873	17.393
Carbono	%	48.826	49.276	49.375
Hidrogeno	%	4.162	4.228	4.237
Nitrógeno	%	0.285	0.253	0.274
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	168.603	194.202	177.271
C/H	%	9.286	9.256	9.260

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 28: Resultados de laboratorio de la muestra Z3M3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 073-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z3M3 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 185
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 185 Z3M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.496 ± 0.429
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.651 ± 0.243
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	82.560 ± 0.540
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.352 ± 0.0784
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.939 ± 0.138
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.036 ± 0.015
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.457 ± 0.028
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	109.830 ± 5.829
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.585 ± 0.034

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.164	9.981	9.343
Cenizas	%	1.923	1.453	1.576
Volátiles	%	81.941	82.808	82.932
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.700	17.902	16.455
Carbono	%	49.843	49.876	50.097
Hidrogeno	%	4.048	4.019	4.041
Nitrógeno	%	0.486	0.431	0.453
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	103.430	114.835	111.226
C/H	%	9.545	9.604	9.606

EDGAR MARCELO VILCACUNDO CHANCUSIG

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 29: Resultados de laboratorio de la muestra Z4M1

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 074-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z4M1 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 186
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 186 Z4M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.641 ± 0.022
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	2.476 ± 0.127
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	81.454 ± 0.545
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.493 ± 0.234
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.750 ± 0.177
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	3.949 ± 0.038
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.487 ± 0.019
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	101.941 ± 3.846
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.674 ± 0.046

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.617	9.660	9.646
Cenizas	%	2.435	2.618	2.375
Volátiles	%	80.959	82.038	81.366
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.275	17.740	17.465
Carbono	%	49.757	49.923	49.569
Hidrogeno	%	3.972	3.970	3.905
Nitrógeno	%	0.498	0.498	0.465
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	99.129	100.369	106.324
C/H	%	9.631	9.668	9.722

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 30: Resultados de laboratorio de la muestra Z4M2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 075-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z4M2 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 187
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 187 Z4M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.971 ± 0.032
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.410 ± 0.044
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	83.654 ± 0.465
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.581 ± 0.106
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.874 ± 0.210
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.214 ± 0.019
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.498 ± 0.035
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	99.931 ± 6.616
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.380 ± 0.033

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.973	9.003	8.938
Cenizas	%	1.413	1.365	1.452
Volátiles	%	84.021	83.808	83.131
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.687	17.475	17.583
Carbono	%	49.765	49.743	50.116
Hidrogeno	%	4.223	4.192	4.226
Nitrógeno	%	0.472	0.483	0.538
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	104.160	103.325	92.307
C/H	%	9.343	9.393	9.406

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 31: Resultados de laboratorio de la muestra Z4M3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 076-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z4M3 Guachapala – San Carlos
Código asignado UEB	INV 188
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 188 Z4M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.139 ± 0.110
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.302 ± 0.150
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	83.935 ± 0.362
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.326 ± 0.117
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.695 ± 0.028
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.177 ± 0.010
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.297 ± 0.022
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	170.191 ± 12.886
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.371 ± 0.022

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.016	9.230	9.171
Cenizas	%	1.471	1.185	1.249
Volátiles	%	84.349	83.679	83.777
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.341	17.434	17.202
Carbono	%	49.669	49.724	49.691
Hidrogeno	%	4.188	4.175	4.168
Nitrógeno	%	0.275	0.319	0.297
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	183.241	157.475	169.856
C/H	%	9.346	9.383	9.385

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 32: Resultados de laboratorio de la muestra Z5M1

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 077-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z5M1 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 189
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 189 Z5M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.967 ± 0.145
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.456 ± 0.082
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	874.731 ± 0.288
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	16.954 ± 0.613
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	48.861 ± 0.478
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.121 ± 0.036
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.271 ± 0.006
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	178.060 ± 3.385
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.355 ± 0.096

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.130	8.852	8.918
Cenizas	%	1.540	1.450	1.377
Volátiles	%	84.869	84.924	84.400
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.147	16.268	17.448
Carbono	%	48.433	48.773	49.377
Hidrogeno	%	4.087	4.159	4.117
Nitrógeno	%	0.275	0.264	0.275
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	174.986	181.687	177.507
C/H	%	9.334	9.271	9.461

EDGAR MARCELO VILCACUNDO CHANCORO

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 33: Resultados de laboratorio de la muestra Z5M2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 078-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z5M2 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 190
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 190 Z5M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	9.138 ± 0.099
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.161 ± 0.159
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	85.678 ± 0.146
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.477 ± 0.214
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.434 ± 0.056
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.074 ± 0.008
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.301 ± 0.017
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	163.716 ± 6.647
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.505 ± 0.022

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	9.047	9.125	9.244
Cenizas	%	1.180	0.994	1.310
Volátiles	%	85.776	85.747	85.510
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.663	17.244	17.525
Carbono	%	49.372	49.482	49.449
Hidrogeno	%	4.079	4.078	4.065
Nitrógeno	%	0.297	0.288	0.319
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	163.617	170.411	157.119
C/H	%	9.485	9.510	9.529

Ing. Marcelo Vlcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 34: Resultados de laboratorio de la muestra Z5M3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLIVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 079-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z5M3 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 191
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 191 Z5M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	10.211 ± 0.054
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	3.079 ± 0.233
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	80.460 ± 0.519
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.275 ± 0.083
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.587 ± 0.140
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	3.989 ± 0.021
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.579 ± 0.022
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	85.906 ± 2.870
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.424 ± 0.029

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	10.175	10.186	10.273
Cenizas	%	3.328	3.050	2.862
Volátiles	%	80.697	80.818	79.865
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.271	17.360	17.194
Carbono	%	49.717	49.605	49.438
Hidrogeno	%	3.969	4.010	3.969
Nitrógeno	%	0.557	0.601	0.579
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	86.632	82.912	86.173
C/H	%	9.449	9.392	9.432

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021

Tabla 35: Resultados de laboratorio de la muestra Z6M1

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 080-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z6M1 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 192
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 192 Z6M1 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.795 ±0.076
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.142 ± 0.073
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	85.049 ± 0.772
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	16.837 ± 0.343
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.796 ± 0.099
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.081 ± 0.034
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.325 ± 0.033
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	153.153 ± 15.653
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.651 ± 0.045

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.751	8.750	8.883
Cenizas	%	1.173	1.059	1.195
Volátiles	%	85.346	85.628	84.171
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	16.768	16.534	17.209
Carbono	%	49.789	49.701	49.899
Hidrogeno	%	4.082	4.047	4.115
Nitrógeno	%	0.362	0.318	0.296
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	136.296	155.932	167.230
C/H	%	9.648	9.696	9.607

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 36: Resultados de laboratorio de la muestra Z6M2

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 081-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z6M2 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 193
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 193 Z6M2 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.630 ± 0.156
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.220 ± 0.044
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	83.075 ± 0.237
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.791 ± 0.271
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.816 ± 0.159
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.171 ± 0.023
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.430 ± 0.023
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	134.950 ± 5.012
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.529 ± 0.015

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.545	8.535	8.809
Cenizas	%	1.236	1.254	1.170
Volátiles	%	82.802	83.196	83.227
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	17.750	17.543	18.081
Carbono	%	49.655	49.819	49.972
Hidrogeno	%	4.145	4.178	4.190
Nitrógeno	%	0.449	0.405	0.438
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	109.416	124.175	113.074
C/H	%	9.546	9.517	9.523

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

Tabla 37: Resultados de laboratorio de la muestra Z6M3

UEB UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR — DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN	LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN Laguacoto II, Km 1 1/2, vía a San Simón, Cantón Guaranda, Provincia Bolívar, Ecuador.	Código	FPG12-01
		Versión	1
	INFORME DE RESULTADOS	Año	2021
		Pagina	Página 1 de 1

INFORME DE ENSAYOS Nº 082-2021

Descripción de la muestra	
Solicitante	Carolina Estefanía Flores Brito
Muestra	Z6M3 Guachapala – Sacre
Código asignado UEB	INV 194
Estado de la muestra	Solido pulverizado
Envase de recepción	Funda de papel con aprox. 200 g de contenido de muestra
Análisis requerido(s)	Humedad - Cenizas - Volátiles - Poder Calorífico Superior (PCS) - Carbono - Hidrogeno - Nitrógeno - Azufre - C/N - C/H
Fecha de recepción	31 de agosto del 2021
Fecha de análisis	08 de septiembre del 2021
Fecha de informe	29 de septiembre del 2021
Técnico asignado	ECCR - MIPV

RESULTADOS CARACTERIZACION DE LA BIOMASA

Matriz de ensayo	Parámetro	Unidad	Método	Resultado Base Seca
INV 194 Z6M3 Guachapala – San Carlos	Humedad	%	UNE-EN ISO 18134-3	8.875 ± 0.026
	Cenizas	%	UNE-EN ISO 18122	1.683 ± 0.109
	Volátiles	%	UNE-EN ISO 18123	84.607 ± 0.123
	Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	UNE-EN ISO 18125	17.193 ± 0.223
	Carbono	%	UNE-EN ISO 16948	49.456 ± 0.070
	Hidrogeno	%	UNE-EN ISO 16948	4.149 ± 0.026
	Nitrógeno	%	UNE-EN ISO 16948	0.366 ± 0.013
	Azufre	%	UNE-EN ISO 16948	0.000 ± 0.000
	C/N	%	UNE-EN ISO 16948	134.950 ± 5.012
	C/H	%	UNE-EN ISO 16948	9.441 ± 0.059

Parámetro	Unidad	R1	R2	R3
Humedad	%	8.886	8.846	8.894
Cenizas	%	1.780	1.565	1.704
Volátiles	%	84.738	84.589	84.495
Poder Calorífico Superior (PCS)	MJ/Kg	16.986	17.430	17.163
Carbono	%	49.416	49.536	49.416
Hidrogeno	%	4.171	4.121	4.156
Nitrógeno	%	0.351	0.373	0.373
Azufre	%	0.000	0.000	0.000
C/N	%	140.734	132.224	131.893
C/H	%	9.393	9.507	9.421

EDGAR MARCELO VILCACUNDO CHAMORRO

Ing. Marcelo Vilcacundo Ch.
Director DIVIUEB

Fuente: Laboratorio de Investigación y Vinculación de la Universidad de Bolívar, 2021.

7.4 Anexo 4. Resultados de laboratorio de la humedad en base húmeda

Tabla 38. Cálculo de la humedad en base húmeda

Muestra	Masa húmeda	Masa seca	Masa agua	Humedad base húmeda
Z1M1	14,570	9,518	5,052	34,673
Z1M2	7,463	3,326	4,137	55,433
Z1M3	10,832	8,608	2,224	20,532
Z2M1	5,703	4,835	0,869	15,228
Z2M2	8,752	2,983	5,769	65,916
Z2M3	6,463	4,971	1,492	23,089
Z3M1	7,368	6,110	1,258	17,072
Z3M2	4,461	3,802	0,660	14,786
Z3M3	2,507	1,390	1,118	44,577
Z4M1	6,626	4,847	1,779	26,851
Z4M2	10,913	5,655	5,258	48,182
Z4M3	4,155	2,643	1,511	36,374
Z5M1	2,187	1,883	0,304	13,916
Z5M2	3,432	2,421	1,011	29,464
Z5M3	6,681	1,414	5,267	78,839
Z6M1	7,235	4,516	2,720	37,587
Z6M2	4,998	4,052	0,946	18,929
Z6M3	7,502	4,341	3,161	42,138

Fuente: Autora, 2021.

7.5 Anexo 5: Código aplicado para las pruebas estadísticas

```
##########Cargar datos ###############
rm(list = ls())
setwd("D:/Carolina universidad/Tesis/Resultados")
library(tidyverse)
library(readxl)
library(ggplot2)
library(corrplot)
library(psych)
library(dplyr)
library(PerformanceAnalytics)
library(FSA)
library(car)
Resultados                  <-                  read_excel("D:/Carolina
universidad/Tesis/Resultados/Rresultados.xlsx")
A=Rresultados
view(A)
attach(A)
summary(A)
names(A)
###########labels############
A$Muestra = as.factor(A$Muestra)
A$Muestra = factor(A$Muestra,labels = c("Alta","Media","Baja"))
class(A$Muestra)
###########prueba Normalidad########
shapiro.test(Humedad)
shapiro.test(Cenizas)
shapiro.test(Volátiles)
shapiro.test(Fijo)
shapiro.test(Calorífico)
shapiro.test(Carbono)
shapiro.test(Nitrógeno)
shapiro.test(humedad)
#####Humedad######
fligner.test(Humedad ~ Muestra, A)
kruskal.test(Humedad, Muestra,data(A))
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Humedad))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Humedad base seca (%)")
######ceniza#######
fligner.test(Cenizas ~ Muestra, A)
kruskal.test(Cenizas, Muestra,data(A))
dunnTest(Cenizas ~ Muestra, A, method="bonferroni")
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Cenizas))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Cenizas (%)")
#######volatiles#####
require(nortest)
fligner.test(Volátiles ~ Muestra, A)
ANOVAV <- aov(Volátiles ~ Muestra,data = A)
summary.aov(ANOVAV)
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Volátiles))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
```

```
  ylab("Volátiles (%)")
######Carbono fijo####
fligner.test(Fijo ~ Muestra, A)
ANOVAV <- aov(Fijo ~ Muestra,data = A)
summary.aov(ANOVAV)
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Fijo))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Carbono Fijo (%)")
#######Carbono########
require(nortest)
fligner.test(Carbono ~ Muestra, A)
ANOVAV <- aov(Carbono ~ Muestra,data = A)
summary.aov(ANOVAV)
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Carbono))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Carbono (%)")
#####Nitrogeno######
fligner.test(Nitrógeno ~ Muestra, A)
kruskal.test(Nitrógeno, Muestra,data(A))
dunnTest(Nitrógeno ~ Muestra, A, method="bonferroni")
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Nitrógeno))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Nitrogeno (%)")
####Poder calorifico######
fligner.test(Calorífico ~ Muestra, A)
kruskal.test(Calorífico, Muestra,data(A))
ggplot(A,aes(x = Muestra, y = Calorífico))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Poder calorífico (MJ/kg)")
#####humedad base humeda####
Dat<-
read_excel("D:/Carolinauniversidad/Tesis/Resultados/Libro1.xlsx")
B=Dat
attach(B)
names(B)
View(B)
str(B)
B$Muestra <- as.factor(B$Muestra)
B$Muestra = factor(B$Muestra,labels = c("Alta","Media","Baja"))
class(B$Muestra)
shapiro.test(humedad)
fligner.test(humedad ~ Muestra, A)
ANOVAV <- aov(humedad ~ Muestra,data = B)
summary.aov(ANOVAV)
ggplot(B,aes(x = Muestra, y = humedad))+
  geom_boxplot(fill = "grey80", colour = "black")+
  scale_x_discrete() + xlab(("Secciones"))+
  ylab("Humedad en base humeda (%)")
```