

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



T E S I S

**CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE
HUARANGO (*Acacia macracantha*), EN UTCO – CELENDÍN – CAJAMARCA**

**Para optar el título profesional de:
INGENIERO FORESTAL**

**Presentado por el Bachiller:
LUIS ALBERTO MOLOCHO VÁSQUEZ**

**Asesor:
Ing. ANDRÉS HIBERNON LOZANO LOZANO**

CAJAMARCA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Luis Alberto Molocho Vásquez
DNI: N° 46908940
Escuela Profesional/Unidad UNC:
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL
2. Asesor:
Ing. Andrés Hibernon Lozano Lozano
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
**CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE HUARANGO
(*Acacia macracantha*), EN UTCO – CELENDÍN – CAJAMARCA.**
6. Fecha de evaluación: 01/10/2025
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 7%
9. Código Documento: oid: 3117:506319834
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 03/10/2025

Firma y/o Sello Emisor Constancia
 ----- Ing. Andrés Hibernon Lozano Lozano DNI: 26617742

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica

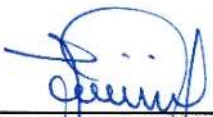


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

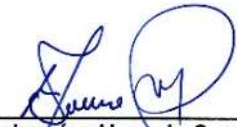
En la ciudad de Cajamarca, a los siete días del mes de agosto del año dos mil veinticinco, se reunieron en el ambiente **2C - 202** de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 123-2025-FCA-UNC, de fecha 07 de febrero del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE HUARANGO (*Acacia macracantha*), EN UTCO - CELENDÍN - CAJAMARCA"**, realizada por el Bachiller **LUIS ALBERTO MOLOCHO VÁSQUEZ** para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

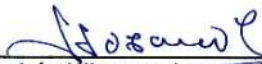
A las diecisiete horas y quince minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de catorce (14); por tanto, el Bachiller queda expedito para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las dieciocho horas y cincuenta minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Ing. Mg. Sc. Luis Dávila Estela
PRESIDENTE


Ing. Oscar Rogelio Sáenz Narro
SECRETARIO


Ing. Nehemías Honorio Sangay Martos
VOCAL


Ing. Andrés Hibernon Lozano Lozano
ASESOR

DEDICATORIA

En especial a mi tío Teodoro; a mis tías María

Ismaela y Alejandrina; a mi tío Segundo, a mi primo

Elvis Omar.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Andrés Hibernon Lozano, por su apoyo y asesoría, por sus sugerencias, paciencia y disposición de tiempo, siendo un apoyo incondicional para que la investigación pueda realizarse.

Al Laboratorio de Pulpa y Papel de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), por el apoyo brindado en la obtención de resultados precisos y confiables sobre las propiedades fisicoquímicas del carbón.

Al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR), quien me concedió la autorización especial correspondiente para el aprovechamiento sostenible de recursos forestales (*Acacia macracantha*) con fines de producción de carbón vegetal.

A las autoridades locales y habitantes del caserío de Jacapa, por su incondicional apoyo y colaboración, que proporcionaron información primaria y contextualizada, contribuyeron significativamente a la validez y relevancia de la presente investigación.

Al Sr. Félix Goicochea Chávez, habitante del caserío Jacapa por su valiosa colaboración y asistencia técnica en la producción y elaboración del carbón vegetal. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para el éxito de este estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.2. Marco teórico.....	9
2.2.1. El carbón vegetal.....	9
2.2.2. Tecnologías para la producción de carbón vegetal	11
2.2.3. Calidad del carbón vegetal	17
2.2.4. Impacto socioambiental de la producción de carbón vegetal.....	20
2.2.5. Aspectos generales de la <i>Acacia macracantha</i>	21

2.3.	Definición de términos	22
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1.	Ubicación y características del área de estudio	24
3.1.1.	Ubicación	24
3.1.2.	Características del área	25
3.2.	Materiales	26
3.3.	Metodología.....	26
3.3.1.	Variables.....	26
3.3.2.	Tipo de la investigación	26
3.3.3.	Unidad de análisis	26
3.3.4.	Muestra.....	26
3.3.5.	Procedimientos de recolección de datos.....	27
3.3.6.	Procesamiento y análisis de datos	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1.	Flujo de producción del carbón vegetal.....	33
4.2.	Calidad del carbón vegetal	34
V.	CONCLUSIONES	40
VI.	RECOMENDACIONES	41
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	42
	Anexos	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aspectos generales de producción del horno tipo montículo o parva	12
Tabla 2. Aspectos generales de producción en el horno tipo fosa	13
Tabla 3. Aspectos generales del horno tipo colmena brasileño	14
Tabla 4. Aspectos generales del horno tipo media naranja argentino.....	15
Tabla 5. Propiedades más importantes del carbón vegetal	18
Tabla 6. Especificaciones internacionales fisicoquímicas del carbón vegetal para uso doméstico	19
Tabla 7. Categorías taxonómicas del huarango	21
Tabla 8. Resultados de promedios de las propiedades fisicoquímicas con cinco repeticiones	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Productos de la carbonización.....	10
Figura 2. Forma del horno tradicional tipo parva o montículo.....	11
Figura 3. Horno tipo fosa con tapa metálica.....	12
Figura 4. Hornos tipo colmena brasileño.....	14
Figura 5. Proceso de instalación del horno tipo media naranja argentino en Veracruz, México.....	15
Figura 6. Distribución operativa del horno tipo EKKO.....	16
Figura 7. Ubicación de la zona de estudio en el caserío de Jacapa, distrito de Utco, provincia de Celendín y departamento de Cajamarca.....	24
Figura 8. Obtención de trozas de madera	27
Figura 9. Trozas de madera de huarango conducidos para la carbonización	27
Figura 10. Fases de armado del horno tipo montículo para carbonización de trozas de huarango.....	28
Figura 11. Emisión de humo blanco durante la carbonización.....	29
Figura 12. Extracción de carbón vegetal utilizando rastrillo	30
Figura 13. Flujo de producción del carbón vegetal elaborado de madera de huarango con el método tradicional horno tipo montículo en el caserío de Jacapa – Utco – Celendín. .	33
Figura 14. Herramientas empleadas en la producción de carbón vegetal.....	55
Figura 15. A. Forma de corte de las trozas. B. Obtención de la madera	55
Figura 16. Acarreo de la materia prima con la ayuda de una carretilla	56
Figura 17. Forma de apilado final con trozas de huarango.....	56
Figura 18. Trozas de madera cubiertas con material vegetal para carbonización	57

Figura 19. Mecha del horno para encendido con madera seca	57
Figura 20. Salida de gases de combustión en horno tipo montículo o parva.....	58
Figura 21. Ejemplares de huarango en pie.....	58
Figura 22. A. Costal negro de polietileno. B. Residuos de carbonización anterior de carbón vegetal	59
Figura 23. Análisis de muestras de carbón vegetal en el laboratorio de pulpa y papel - UNALM	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resolución Administrativa de autorización para la producción de carbón vegetal-SERFOR.....	48
Anexo 2. Carta de permiso para el uso de la especie <i>Acacia macracantha</i> - SERFOR...	52
Anexo 3. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal.	54
Anexo 4. Panel fotográfico de la investigación	55

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en el caserío de Jacapa, distrito de Utco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca, con el objetivo de describir el flujo productivo y evaluar la calidad del carbón vegetal elaborado de madera de huarango (*Acacia macracantha*) en un horno tradicional tipo montículo o parva. El proceso artesanal comprende seis etapas: recolección y preparación de la materia prima, acarreo, armado del horno, carbonización, destape y extracción, seguido del enfriamiento y ensacado, en un tiempo de 10 días que generan una combustión eficiente de la madera en carbón. La calidad del carbón se evaluó mediante el análisis de las propiedades fisicoquímicas en el Laboratorio de Pulpa y Papel de la Facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), obteniéndose un contenido de humedad de 6.80%, cenizas de 5.39%, material volátil de 11.79%, carbono fijo de 82.82% y un poder calórico superior (PCS) de 7 439.78 kcal/kg. Estos resultados confirman un carbón vegetal de alta calidad, caracterizada por combustión estable, baja generación de residuos y elevado rendimiento térmico, evidenciando la efectividad del método artesanal y la aptitud de la especie huarango como recurso renovable y competitivo para la producción energética local, en concordancia con normas y estándares internacionales.

Palabras clave: Carbón vegetal, flujo productivo, huarango, horno tipo montículo, propiedades fisicoquímicas, *Acacia macracantha*.

ABSTRACT

The research was conducted in the hamlet of Jacapa, Utco district, Celendín province, Cajamarca department, with the objective of describing the production flow and evaluating the quality of charcoal produced from huarango wood (*Acacia macracantha*) using a traditional mound or "parva" kiln. The artisanal process comprises six stages: collection and preparation of raw material, hauling, kiln assembly, carbonization, unsealing and extraction, followed by cooling and packaging, carried out over 10 days, resulting in efficient combustion of the wood into charcoal. The quality of the charcoal was evaluated through the analysis of its physicochemical properties at the Pulp and Paper Laboratory of the Faculty of Forestry Engineering at the Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), obtaining a moisture content of 6.80%, ash content of 5.39%, volatile matter of 11.79%, fixed carbon of 82.82%, and a higher heating value (HHV) of 7,439.78 kcal/kg. These results confirm a high-quality charcoal characterized by stable combustion, low residue generation, and high thermal performance, demonstrating the effectiveness of the artisanal method and the suitability of the huarango species as a renewable and competitive resource for local energy production, in accordance with international norms and standards.

Keywords: Charcoal, production flow, huarango, mound kiln, physicochemical properties, *Acacia macracantha*.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de carbón vegetal es un proceso termoquímico complejo que implica la descomposición de la biomasa en condiciones controladas de temperatura y baja presencia de oxígeno, conocido como pirólisis (Bartocci et al., 2016). En este proceso, la madera de especies forestales se transforma en un biocombustible sólido con elevado contenido de carbono fijo y un poder calorífico superior, atributos esenciales para su aprovechamiento energético.

La calidad del carbón vegetal está determinada por parámetros fisicoquímicos clave: humedad, cenizas, carbono fijo, material volátil y poder calórico, los cuales inciden directamente en su rendimiento energético, estabilidad mecánica e impacto ambiental durante la combustión (Carrillo et al., 2013). La ausencia de control en las variables operativas del proceso, tales como la temperatura de carbonización y el tiempo de exposición, provoca variabilidad en estas propiedades, afectando la uniformidad y eficiencia del carbón producido. La estandarización metodológica junto con la aplicación de hornos con sistemas de control térmico permite optimizar estos parámetros, garantizando un producto homogéneo y competitivo en mercados nacionales e internacionales (Zobo et al., 2020).

En este contexto, esta investigación tiene como objetivo principal, evaluar la producción y calidad del carbón vegetal obtenido de madera de huarango en el caserío de Jacapa, tanto como, describir el flujo productivo y analizar la calidad del carbón vegetal a través de sus propiedades fisicoquímicas. En el marco, este estudio contribuye al conocimiento científico sobre la elaboración y calidad del carbón vegetal y, en particular, de madera de huarango utilizando el sistema tradicional de horno tipo montículo.

1.1.Descripción del problema

La producción de carbón vegetal es una fuente energética vital en áreas urbanas y rurales; sin embargo, en el caserío de Jacapa, la elaboración a partir de huarango se realiza mediante métodos artesanales que carecen de control térmico eficiente, afectando negativamente el rendimiento y la calidad del carbón. Esto genera variabilidad en parámetros críticos como contenido de humedad, cenizas y poder calorífico, impactando su eficiencia energética y comercialización (Carrillo et al., 2013; García et al., 2021).

La ausencia de protocolos estandarizados y el uso de hornos rudimentarios originan bajos rendimientos de carbonización y heterogeneidad en las propiedades fisicoquímicas del carbón elaborado, limitando su competitividad en los mercados formales. Variables como la temperatura de carbonización y humedad inicial de la madera son factores determinantes para mejorar la calidad y el aprovechamiento energético del carbón vegetal (Berrocal, 2019).

Finalmente, la falta de eficiencia en la producción afecta la sostenibilidad de los bosques secos andinos donde crece el huarango, aumentando la degradación ambiental. Por ello, es fundamental implementar tecnologías con monitoreo térmico y aplicar evaluaciones técnicas conforme a normativas internacionales para optimizar la producción del carbón. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son las condiciones de producción y calidad del carbón vegetal a partir de la especie de huarango en el caserío de Jacapa, Celendín, Cajamarca?

1.2.Justificación

Esta investigación aporta conocimiento técnicos sobre la producción de carbón vegetal de huarango, nula o poco estudiada en esta zona andina. Evaluar las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal bajo normativas internacionales permite establecer indicadores precisos de calidad energética, proporcionando fundamentos sólidos para futuras investigaciones.

Asimismo, la calidad del carbón vegetal está determinada por propiedades fisicoquímicas específicas como la humedad, cenizas, material volátil, carbono fijo y poder calorífico. Evaluar estas propiedades en carbón elaborado de huarango contribuirá a definir criterios que permitan validar su calidad, mejorar su comercialización y potenciar su competitividad en el mercado.

Aunque existen investigaciones sobre carbón vegetal, este estudio aporta datos específicos de la especie de huarango que serán de gran relevancia, ya que proporcionarán cifras que validen la calidad del producto y su potencial en el mercado energético. Además, contribuirán al fortalecimiento de una actividad económica accesible y generadora de empleo, promoviendo un manejo forestal responsable en los ecosistemas secos andinos.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la producción y calidad del carbón vegetal obtenido a partir de madera de huarango en el caserío de Jacapa, distrito de Utco, Celendín, Cajamarca.

1.3.2. Objetivos Específicos

Describir el flujo productivo tradicional del carbón vegetal de huarango empleando la técnica de horno tipo montículo en el caserío de Jacapa.

Determinar la calidad del carbón vegetal de huarango mediante el análisis de las propiedades fisicoquímicas.

1.4.Hipótesis

La producción de carbón vegetal de madera de huarango (*Acacia macracantha*), utilizando métodos tradicionales en el caserío de Jacapa, resultará en un biocombustible sólido cuyas propiedades fisicoquímicas cumplirán con los estándares de calidad establecidos por normas internacionales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Sáenz (2023) evaluó la calidad del carbón vegetal producido a partir de cinco especies forestales empleadas en sistemas agroforestales con café, comparándolas con *Quercus costaricensis*, especie tradicionalmente utilizada en la producción de carbón vegetal en Costa Rica. Se emplearon ramas (podas) de *Erythrina poeppigiana* (poró gigante), *Eucalyptus deglupta* (eucalipto), *Persea americana* (aguacate), *Grevillea robusta* (gravilia) e *Inga edulis* (Guabo chilillo). El material fue sometido a pirólisis en un reactor de 3 L de capacidad, a una temperatura controlada de 450°C. Se analizaron diversas propiedades del carbón, tales como contenido de humedad, densidad, resistencia a la compresión, porcentaje de cenizas, contenido de material volátil, poder calorífico, pH, conductividad eléctrica, hidrofobicidad, y cambios químicos mediante espectroscopía infrarroja (FT - IR). Los resultados indicaron que *Erythrina poeppigiana* presentó los valores más altos en contenido de cenizas del 9.9%, humedad del 6.67% y contenido de material volátil de 8.4%.

Tobar y Mena (2023) realizaron un estudio sobre la producción de carbón vegetal utilizando el espino (*Vachellia macracantha*) como materia prima proveniente de los bosques secos de las provincias de Loya, Azuay, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha e Imbabura, en Ecuador. Ante la dificultad de identificar zonas específicas de producción, se aplicó un muestreo no probabilístico, complementando con métodos descriptivos y análisis estadístico. Se utilizó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y estimaciones de biomasa para elaborar un diagnóstico ecológico de especies y su manejo, comparando sus resultados con antecedentes relacionados en la región andina.

Berrocal y Moya (2019) evaluaron el proceso de producción del carbón vegetal de *Tectona grandis*, utilizando fosas de tierra como método de carbonización. El estudio determinó las propiedades físicas, energéticas y químicas del carbón obtenido a partir de tres tipos de materia prima: madera verde (LG), troncos verdes no comerciales (NL-G) y madera no comercial secada al aire (NL-A). Los resultados mostraron valores de humedad entre 4.16 y 6.13%, contenido de cenizas entre 1.51 y 2.01%, contenido de volátiles entre 9.47 y 18.53%, carbono fijo entre 73.32 y 83.81%, y un poder calorífico entre 31.3 y 32.6 MJ/kg. Se concluyó que el carbón producido con NL-G presentó menor calidad energética en comparación con NL-A y LG, debido a su menor proporción de carbono fijo.

Crisostomo et al. (2021) analizaron el potencial energético de la biomasa y del carbón vegetal de las especies arbóreas: *Eucalyptus grandis* (eucalipto), *Tachigali vulgaris*, *Pinus*. y *Peltogyne lecointei*. La carbonización se realizó a una temperatura máxima de 450°C con una velocidad de calentamiento de 1.5°C/min⁻¹. Se analizaron parámetros energéticos como el poder calorífico superior e inferior, contenido de cenizas, volátiles, densidad básica y carbono fijo. Los resultados evidenciaron que todas las especies poseen potencial energético, destacando *Peltogyne lecointei* por presentar el mayor poder calorífico y niveles energéticos superiores en comparación con otras especies. Además, los valores de cenizas se mantuvieron dentro de rangos aceptables, lo que refuerza su viabilidad como fuente de energía sólida renovable.

Balaguer et al. (2021) determinaron las propiedades energéticas y la modificación química del carbón vegetal producido a partir de 16 especies forestales de rápido crecimiento en zonas tropicales de Costa Rica. La carbonización se realizó a 450°C, y se analizaron parámetros como el contenido de humedad (2.65 a 7.72%), cenizas (0.26 a 7.98%), material volátil (22.45 a 33.34%), y carbono fijo (60.36 a 68.91%). Asimismo, se aplicó espectroscopía infrarroja por transformada

de Fourier (FTIR) para identificar grupos funcionales presentes tras la pirólisis, evidenciándose señales correspondientes a grupos OH, CH₂, C=O, COC, característicos de la biomasa carbonizada. Estos resultados demuestran el potencial energético y la transformación estructural del carbón vegetal derivado de especies tropicales.

Marchesan et al. (2020) estudiaron la calidad del carbón vegetal obtenido de especies del género *Eucalyptus* y *Corymbia citriodora*, cultivadas en el sur de Tocantis, Brasil. El estudio incluyó híbridos de *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus camaldulensis* y la especie *Corymbia citriodora*. Los resultados indicaron que *Corymbia citriodora* presentó una mayor densidad básica de la madera (0.58 g/cm³), una densidad aparente de 0.46 g/cm³, y un poder calorífico que osciló entre 7 235.97 y 7 573.98 kcal/kg, parámetros considerados adecuados para su uso en la producción de energía mediante carbón vegetal.

De la Cruz et al. (2020) caracterizaron el carbón vegetal producido en la región Centro-Norte de México, evaluando su calidad conforme a estándares internacionales. Para ello, recolectaron de forma aleatoria tres bolsas de carbón provenientes de nueve fuentes comerciales que utilizaban especies como mezquite (*Prosopis sp.*), ébano (*Ebenopsis sp.*) y roble (*Quercus sp.*). Se analizaron propiedades fisicoquímicas fundamentales, obteniéndose valores promedios de 5.1% de humedad, 25.9% de material volátil, 6.3% de cenizas, 62.7% de carbono fijo y un poder calorífico de 27.67 kJ/kg. Los autores concluyen que es necesario optimizar los procesos de producción para mejorar la calidad del carbón vegetal, especialmente en cuanto a la homogeneidad del tamaño de partículas, el incremento del contenido de carbono fijo y del poder calorífico, así como reducción de humedad, volátiles y cenizas.

García et al. (2019) desarrollaron un estudio que determinaron las propiedades energéticas del carbón vegetal obtenido de diversas especies tropicales, entre ellas: *Caesalpinia platyloba*,

Eugenia origanoides, *Esenbeckia berlandierii*, *Trichilia minutiflora*, *Lonchocarpus castlei*, *Brosimum alicastrum*, *Bucida buceras*, *Diphysa carthaginensis*, *Alseis yucatanensis* y *Pouteria unilocularis*. El proceso de pirólisis se llevó a cabo en un horno artesanal modificado de tamaño mediano, instalado en el Ejido Rio Escondido, México. Los análisis fisicoquímicos se realizaron siguiendo las normas internacionales ASTM D1762- 84 (Método estándar para análisis químico del carbón vegetal) y UNE-EN 14918 (Una Norma Española-Norma Europea) para determinar el poder calorífico. Los datos fueron evaluados mediante un diseño completamente aleatorio y analizados estadísticamente con la prueba Kruskal-Wallis ($\alpha = 0,05$). Los resultados obtenidos oscilaron entre 2.16 y 4.79% para la humedad, 15.07 a 37.19% para material volátil, 1.49 a 6.97% de cenizas, 55.56 a 77.63% de carbono fijo y un poder calorífico de 28.69 a 33.57 MJ/kg. La especie *Brosimum alicastrum* presentó el mayor valor energético, mientras que *Esembeckia berlandierii* mostró el más bajo.

Ataucusi (2023) llevó a cabo una investigación con el objetivo de determinar el rendimiento y contenido energético de briquetas y carbón vegetal obtenidos de la mazorca de cacao. El estudio se realizó en el laboratorio de Calidad de Aire de Ingeniería Ambiental de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, departamento de Huánuco. Se aplicó una metodología aplicada, con enfoque cuantitativo. En la fase piloto del estudio, se produjo carbón vegetal mediante pirólisis controlada utilizando un horno especializado. Los resultados obtenidos para las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal fueron: contenido de cenizas de 15.80%, carbono fijo de 57.69%, contenido de humedad de 13.25% y material volátil de 13.26%. En función de estos valores, se concluye que las mazorcas de cacao presentan una alternativa viable para la producción de carbón vegetal con fines energéticos.

Zobo et al. (2020) estimaron la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas del carbón elaborado a partir de residuos de madera proveniente de los aserraderos industriales en Camerún, empleando diferentes técnicas de pirólisis. El estudio consideró tres especies maderables (ayous, fraké y movingui) y tres tipos de hornos: tradicional, tradicional mejorado y tipo casamance. Las propiedades evaluadas incluyeron el contenido de humedad, densidad aparente, material volátil, contenido de carbono fijo y cenizas. Los resultados mostraron que estas propiedades varían significativamente en función de la especie utilizada y del tipo de horno. El carbón de movingui, presentó la mayor densidad aparente (0.73 g/cm^3), un contenido de material volátil del 20.32% y un bajo contenido de cenizas (1.27%). En contraste, la madera de ayous registró el mayor poder calorífico, alcanzando 32.51 MJ/kg cuando fue carbonizada en horno casamance.

Gutiérrez (2021) desarrolló un estudio sobre el efecto de la temperatura de carbonización y la posición longitudinal del fuste en el rendimiento y las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal de Achuni caspi (*Ziziphus cinnamomum* Tr. & Pi) proveniente del CICFOR (Centro de Investigación y Capacitación Forestal) Macuya-Huanuco-2020. El objetivo fue evaluar el rendimiento y las propiedades del carbón producido a distintas temperaturas (400 °C y 500 °C) y en diferentes niveles del fuste (base, medio y ápice). Entre los resultados más relevantes, se registró una humedad de 5.74% en el tratamiento 1 (400 °C, base), mientras que los valores caloríficos superior e inferior alcanzaron 7 052 kcal/kg y 6 513 kcal/kg respectivamente, en el tratamiento 7 (500°C, base). El contenido de volátiles fue de 15.59% en el tratamiento 2 (400 °C, medio), y las cenizas alcanzaron 4.61% en el tratamiento 7 (500 °C, base). El contenido más alto de carbono fijo se obtuvo en el tratamiento 9 (500 °C, ápice), con un valor de 85.62%.

Curo (2019) realizó una investigación en el Laboratorio de Industrias Maderera y Forestal en el Departamento de Cartometría del Instituto de Investigaciones en Nutrición de Lima, con el

objetivo de evaluar el poder calorífico en carbón vegetal obtenido de tres especies forestales: *Kageneckia lanceolata* R&P, *Acacia macracantha* H&B y *Escallonia pendula* R&P, provenientes del distrito de Mariscal-Cáceres, provincia y departamento de Huancavelica. El estudio se basó en las normas técnicas NTP 251.010 “Método de determinación del contenido de Humedad”, NTP 251.011 “Método de Determinación de Densidad” y ASTM D2015 – 66 (1972) “Determinación del Poder Calorífico”. Los valores obtenidos para el poder calorífico superior fueron: 6 983.00 kcal/kg para *Kageneckia lanceolata* R&P, 6 866.52 kcal/kg para *Acacia macracantha* H&B y 6 983.00 kcal/kg para *Escallonia pendula* R&P. En cuanto al poder calorífico inferior, se registraron valores de 6 302.62 kcal/kg, 6 327.52 kcal/kg y 6 444.00 kcal/kg respectivamente para dichas especies, confirmando su potencial como biocombustible sólidos de uso energético.

2.2.Marco teórico

2.2.1. El carbón vegetal

El carbón vegetal es un biocombustible estable gracias a su estructura aromática, la cual está influida por la materia prima y el proceso de pirólisis. Su calidad energética depende en gran medida del contenido de carbono fijo, parámetro que se ve afectado básicamente por la temperatura y la duración del proceso de carbonización (García et al., 2019).

- **Producción del carbón vegetal**

La producción de carbón vegetal es una actividad sociocultural con orígenes en la Edad de Piedra, que ha ganado relevancia en las últimas décadas. Aunque históricamente ha sido utilizado como combustible en la cocina y en procesos metalúrgicos, su elaboración actual permanece predominantemente artesanal. Se utilizan diversas especies forestales y hornos de tecnología rudimentaria, lo que genera una falta de estandarización y una calidad inconsistente del producto final (Heya et al., 2014; Crisóstomo et al., 2021). En Perú, esta práctica se desarrolla mayormente

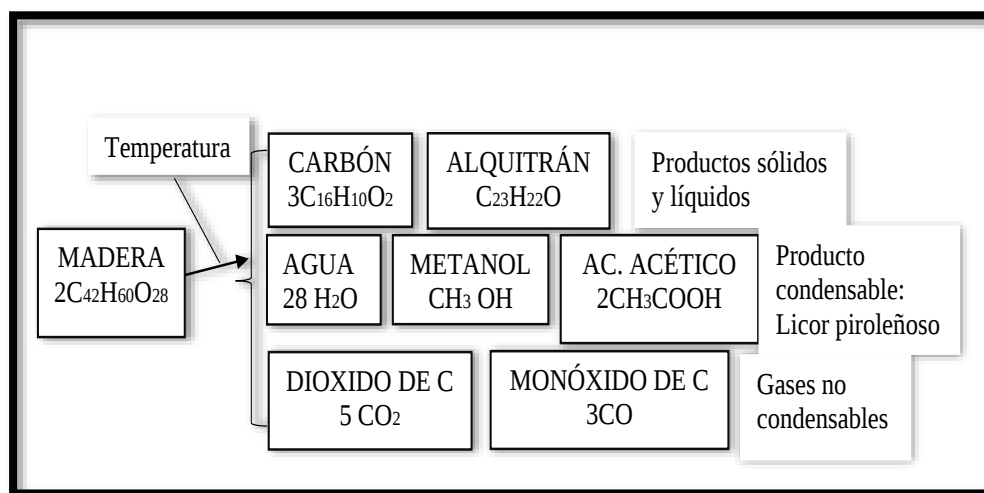
de manera empírica, sin la aplicación de métodos técnicos estandarizados, predominando en zonas rurales donde constituye una estrategia de subsistencia para numerosas comunidades (Ataucusi, 2023).

- **Productos de la carbonización**

La combustión es un proceso de oxidación a alta temperatura mediante el cual la energía química del material se convierte en calor, trabajo mecánico o energía eléctrica. Además, este proceso requiere oxígeno, que actúa como agente oxidante durante las fases previas de pirólisis y gasificación. En la combustión directa, se emplea un exceso de aire para facilitar la transformación, liberando vapor de agua y compuestos volátiles: sin embargo, dicho exceso debe ser controlado para asegurar una combustión completa y alcanzar temperaturas óptimas (Berrocal, 2019).

Figura 1

Productos de la carbonización



Fuente: García et al. (2019)

- **Usos y beneficios del carbón vegetal**

El carbón vegetal es ampliamente utilizado en la vida cotidiana, principalmente en estufas, asar a la parrilla y cocinar al aire libre. Además, se asocia a actividades industriales como el secado

directo e indirecto de productos, así como la fabricación de cal y cemento. En cuanto a sus beneficios se emplea en diversas industrias, incluyendo la de explosivos, vidrio, adhesivos, productos farmacéuticos y de contribuir a la mejora de suelo (De la Cruz et al., 2020).

2.2.2. Tecnologías para la producción de carbón vegetal

a. Hornos tradicionales

- **Horno de montículo o tipo parva:** La construcción del horno de montículo o tipo parva implica la nivelación y limpieza del terreno, eliminando piedras y materiales que puedan contaminar el proceso. Luego, se colocan piezas de madera verticalmente en el centro del horno, creando un espacio para la ignición y permitiendo la circulación de aire entre los leños. El horno se enciende aplicando fuego desde arriba o desde el costado, utilizando material inflamable (leña seca). Finalmente, se cubre con una capa de hierba, rastrojo y una capa de tierra para controlar la entrada de aire y mantener la temperatura durante la carbonización (Kajina et al., 2019).

Figura 2

Forma del horno tradicional tipo parva o montículo



Fuente: García et al. (2021)

Tabla 1

Aspectos generales de producción del horno tipo montículo o parva

Carbonización	Rendimiento	Calidad	Observaciones
Se hace lentamente, se requiere mucho cuidado para evitar que se formen grietas en el horno.	De 5 a 8 m ³ de madera, se puede obtener una tonelada.	Mala calidad, por ser quebradizo y sucio, con alto % de inquemados.	Su construcción en zonas con suelo rocoso, requiere más tiempo de cuidado.

- **Horno tipo fosa:** Es una estructura subterránea diseñada para la producción de carbón vegetal mediante la técnica de pirólisis. Su construcción implica la excavación de una zanja en el suelo, donde se coloca las trozas gruesas en la base para dar soporte estructural seguido de trozas de menor diámetro. Posteriormente, se cubre con láminas metálicas y tierra para controlar la combustión y evitar una oxidación excesiva. Este tipo de horno cuenta con entradas de aire y salidas de gases que permiten regular el proceso de carbonización, optimizando así la transformación térmica de la biomasa (Chidumayo y Gumbo, 2013).

Figura 3

Horno tipo fosa con tapa metálica



Fuente: Canul (2013)

Tabla 2*Aspectos generales de producción en el horno tipo fosa*

Carbonización	Calidad	Observaciones
Inicia en la entrada de aire y recorre longitudinalmente la quema.	En la parte del encendido presenta un menor porcentaje de material volátil	El GEI es alta, por lo que se comiende el uso de mascarillas de protección.
El control se lleva a cabo y mediante la observación del humo emitido.	y mayor contenido de carbono fijo.	Considerada de un menor rendimiento.
La temperatura alcanzada ronda los 500°C.	En la salida de humo posee un alto porcentaje de volátiles y bajo carbono fijo.	Requiere mayor cantidad de madera para la producción.

Fuente: García et al. (2021)

b. Hornos de mampostería

- **Horno colmena brasileño:** La construcción del horno tipo colmena brasileño consiste en una estructura circular de ladrillos refractarios, con una base excavada y una puerta de acceso diseñada para controlar la entrada de aire y minimizar riesgos de incendio. La forma cilíndrica del horno permite una distribución uniforme del calor y una eficiente combustión de la madera, mientras que las chimeneas estratégicamente ubicadas facilitan la salida de gases y regulan la temperatura interna, garantizando un proceso de carbonización óptimo y seguro. La estructura se refuerza con elementos metálicos y materiales aislantes para mantener la temperatura y asegurar la durabilidad del horno, lo que permite una producción de carbón vegetal de alta calidad y eficiencia (García et al., 2021).

Figura 4*Hornos tipo colmena brasileño*

Fuente: Canul (2013)

Tabla 3*Aspectos generales del horno tipo colmena brasileño*

Carbonización	Calidad	Observaciones
Ocurre de manera descendientes. Al observar un color de humo azul se debe cerrar los respiradores o se sella el horno y se cubre con una mezcla de barro para que se enfrié.	En niveles de carbonización más bajos es mayor la densidad. Calidad en diferentes niveles del horno.	Es recomendado para productores de gran escala. Construido para una producción mayor a los 40 m ³ por quema.

Fuente: García et al. (2021)

- **Horno media naranja argentino:** Es una estructura semiesférica construida con ladrillos refractarios. La base se excava y se coloca material refractario. La forma curva permite una

distribución uniforme del calor. La puerta controla la entrada de aire y las chimeneas regulan la temperatura. La estructura se refuerza con elementos metálicos (INIFAP, 2000).

Figura 5

Proceso de instalación del horno tipo media naranja argentino en Veracruz, México



Tabla 4

Aspectos generales del horno tipo media naranja argentino

Calidad	Observaciones
Temperatura máxima de carbonización 451°C, caracterizada por la mejor eficiencia energética.	Diseñado para alta eficiencia y rápida carbonización gracias a múltiples respiradores.

Fuente: García et al. (2021)

c. Hornos metálicos

- **Horno de carbonización EKKO:** Es un sistema tecnológico avanzado fabricado con materiales aislantes capaces de soportar temperaturas de hasta 1300 °C. Su diseño incorpora un

sistema de control automatizado que regula los procesos térmicos. Está compuesto por dos cámaras de funcionamiento, cada una con un modo específico de operación: “secado” y “pirólisis”, conectadas mediante un deflector térmico que mejora el flujo de calor. El sistema incluye 4 carros móviles, una plataforma de movimiento, bastidores de carga y descarga del material y un elevador eléctrico para facilitar el manejo del proceso. Esta configuración permite una carbonización homogénea y eficiente, garantizando un mejor aprovechamiento energético de la biomasa y elevando la calidad del carbón vegetal producido (GreenPower, 2019; García et al., 2021)

Figura 6

Distribución operativa del horno tipo EKKO



Fuente: García et al. (2021)

Nota. a) horno tipo EKKO2 con tecnología refractaria; b) cámara de secado y cargada con madera; c) cámara de secado después de la carbonización; d) tablero de control.

2.2.3. Calidad del carbón vegetal

La calidad del carbón vegetal depende de factores determinantes como la especie de madera empleada, la temperatura y duración de la carbonización, así como las condiciones operativas del horno. Estos factores afectan directamente las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal, incluyendo el poder calórico, contenido de humedad, carbono fijo, material volátil y cenizas (Chañi y Rengifo, 2017).

- **Propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal**

- **Humedad:** La humedad puede ser total, superficial, residual y equilibrada. La humedad superficial desaparece cuando el carbón vegetal se seca al aire libre; la residual es la que se seca con una temperatura de 106°C en laboratorio; la humedad de equilibrio es la cantidad de humedad que el carbón retiene a una temperatura de 30°C y una humedad relativa de 96 a 97%. Finalmente, la humedad total es la suma de la residual y superficial (Pérez, 2020).

- **Carbono fijo:** El contenido de carbono fijo en el carbón vegetal oscila entre el 60 % y 80 %, influido por la tecnología de elaboración, la temperatura y el tiempo de carbonización. Una carbonización lenta a altas temperaturas puede alcanzar hasta un 90 % de carbono fijo, mientras que procesos más rápidos y a bajas temperaturas generan valores considerablemente menores (Pérez, 2020).

- **Materiales volátiles:** Los materiales volátiles son compuestos que se desprenden como gases al calentar el carbón vegetal, principalmente entre los 850 °C y 950 °C. Su proporción varía entre 10 % y 40 % e influye directamente en el tiempo de combustión. Representan hidrocarburos y otros productos de descomposición. Su contenido es clave para evaluar la calidad energética del carbón (Pérez, 2020; Ataucusi, 2023).

- **Cenizas:** Las cenizas son los residuos minerales no inflamables que permanecen después de la combustión del carbón vegetal, afectando directamente su poder calorífico. En condiciones normales, el contenido de cenizas varía entre 1 % y 10 %, aunque puede ser mayor cuando se usa el método de parvas o fosas, debido a la mezcla con el suelo (Pérez, 2020; Ataucusi, 2023).

- **El poder calorífico:** El poder calorífico representa la cantidad total de energía liberada por el carbón vegetal durante su combustión, expresado en cal/g, kcal/kg o kJ/kg de materia seca. Este valor depende del tipo de carbón, su densidad, contenido de carbono fijo y la presencia de sustancias volátiles, oscilando entre 6000 y 8000 kcal/kg (Pérez, 2020).

Tabla 5

Propiedades más importantes del carbón vegetal

Propiedades mecánicas	Propiedades térmicas	Propiedades Físico- Químicas	Propiedades eléctricas
Dureza	Potencia calorífica	Densidad	Conductividad
Resistencia	Conductividad térmica	Peso específico	eléctrica
mecánica	Calor específico	Humedad	Constante dieléctrica
Friabilidad	Dilatación	Cenizas	
Fragilidad	Grado de ignición	Volátiles y Carbono fijo	

Fuente: Balaguer et al. (2021)

- **Especificaciones y normativas**

Según Bustamante et al. (2014) y De la Cruz et al. (2020), la calidad del carbón vegetal se determina tanto por sus propiedades fisicoquímicas como por características sensoriales y físicas observables, tales como el sonido metálico al ser golpeado, la textura homogénea, la facilidad de inflamación y la ausencia de humo durante la combustión. Por ello, es necesario que dichas

características estén estandarizadas mediante normas técnicas específicas, que garanticen un carbón vegetal uniforme, competitivo y de alta calidad para su uso doméstico e industrial.

Tabla 6

Especificaciones internacionales fisicoquímicas del carbón vegetal para uso doméstico

Mercado	Norma	Pureza química			
		Carbono fijo (%)	Volátiles (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
Bélgica	NBN M11- 001	75- 82	12	-	7
Francia	NFN846 E	75	12	-	7
Alemania	DIN 51749	78	16	6	8
Rusia	GOST 7657 – 84	77	14	3	6
Serbia	SRPS D.B9.020	80	5	5	10
EE. UU	DIN EN 1860 – 2	75	9	8	8
Japón	-	76	12	4	7.5

Fuente: Bustamante et al. (2014)

- **Normas internacionales para evaluación fisicoquímicas del carbón vegetal**

La caracterización fisicoquímica del carbón vegetal es fundamental para determinar su calidad y su potencial energético e industrial. Para ello, se emplean normas estandarizadas para garantizar resultados confiables y comparables. El análisis del contenido de cenizas, sustancias volátiles y carbono fijo se realiza mediante la norma ASTM D1762-84 (2013) (ASTM International, 2013a), que permite identificar con precisión las fracciones que inciden la eficiencia de combustión del carbón vegetal. El poder calorífico superior se evalúa conforme a la norma ASTM D5865 (2013) (ASTM International, 2013b), utilizando una bomba calorimétrica calibrada

para medir la energía liberada por unidad de masa. Por último, el contenido de humedad se determina siguiendo la norma AOAC 967.02 (AOAC International, 2005), basada en un procedimiento gravimétrico de secado a temperatura controlada, lo que permite cuantificar la cantidad de agua presente en la muestra.

2.2.4. Impacto socioambiental de la producción de carbón vegetal

Actualmente, la producción de carbón vegetal carece de herramientas específicas de gestión ambiental que permitan controlar sus impactos negativos. La adopción de tecnologías de carbonización más eficientes y sostenibles constituye una estrategia fundamental para mitigar las emisiones contaminantes, optimizar el aprovechamiento de la biomasa y reducir la degradación de los ecosistemas. Estas tecnologías, además, promueven la transición hacia prácticas de producción más limpias y económicamente viables, incentivando a los productores rurales a adoptar métodos con menor impacto ambiental (GreenPower, 2023).

La limitada conciencia ambiental en zonas rurales sobre los efectos ecológicos de esta actividad representa una limitación crítica. Factores estructurales como la pobreza, el bajo nivel educativo y la escasa disponibilidad de información técnica refuerzan la persistencia de prácticas empíricas y poco sostenibles. En este contexto, la producción artesanal de carbón vegetal, aunque representa una alternativa económica accesible, conlleva consecuencias ambientales considerables, como la deforestación, emisiones de gases contaminantes y degradación del suelo (Barbaran, 2019). Asimismo, la producción tradicional de carbón vegetal genera impactos socioambientales, entre ellos la deforestación, contaminación atmosférica por gases tóxicos y degradación del suelo. Estas afectaciones no solo comprometen la biodiversidad y los ecosistemas, sino que también deterioran la salud de las comunidades rurales involucradas, elevando su vulnerabilidad socioeconómica y generando conflictos sociales. Resaltan la urgencia de adoptar

tecnologías limpias y prácticas sostenibles para mitigar estos efectos negativos y promover un equilibrio entre el desarrollo económico y la conservación ambiental (García et al., 2021)

2.2.5. Aspectos generales de la *Acacia macracantha*

Según WFO¹ (2025), la *Acacia macracantha* se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 7

Categorías taxonómicas del huarango

Taxonomía		Nomenclatura
Orden	Fabales	
Familia	Fabaceae	
Subfamilia	Mimosoideae	
Género	<i>Acacia</i>	
Especie	<i>Acacia macracantha</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger	
Nombre común	Huarango y Faique (Perú), Espino y algarrobo (Ecuador), Pino blanco (Caribe y los Andes)	

Descripción morfológica: Es una especie arbórea o arbustiva de pequeño porte, que alcanza hasta 4 m de altura. Presenta hojas compuestas, alternas, con pinnas u hojuelas opuestas distribuidas en 15-17 pares; estas son oblongas, con base asimétrica y superficie recubierta de tricomas diminutos. Las flores se agrupan en inflorescencias tipo cabezuelas de color amarillo, localizadas en las axilas de las ramas, y se caracterizan por su aroma fragante. Los frutos son legumbres que presentan color verde en estado inmaduro y tornan a marrón al alcanzar su madurez (WFO¹, 2025).

Distribución: Tiene una amplia distribución geográfica. En América del Norte se

¹WFO: World Flora Online

encuentra en México y el sureste de EE. UU.; en América Central, en países como Honduras, Cuba, El Caribe, República Dominicana, Haití, Jamaica, Puerto Rico e Islas Turcas y Caicos; y en América del Sur, en Brasil, Venezuela, Colombia, Ecuador, Paraguay, Chile, Argentina, Bolivia, las Islas Galápagos y Perú (WFO¹, 2025).

Hábitat: Se desarrolla en climas con temperaturas medias de 21 a 25°C y precipitaciones de 500 a 1000 mm. Tiene un crecimiento rápido y no es exigente en suelos ni en humedad, se asocia muy bien con pastos temporales y cultivos anuales (Cartuche, 2022).

Usos: Se usa para elaboración de carbón vegetal, postes, cercas, leña. Además, para la fabricación de muebles, parquet, viguetas, posee buen acabado y lustre. También se emplea como planta ornamental en zonas rurales, la elaboración de herramientas de labranza. La sección de la corteza se utiliza para producir gomas. Las flores se toman en infusión para dolencias cardíacas. Las vainas y forraje para alimento del ganado caprino y bovino (Cartuche, 2022).

Propiedades físicas de su madera: Con una densidad verde de 1,17 g/cm³, densidad en equilibrio de 0,88 g/cm³ y una densidad básica de 0,77 g/cm³; contenido de humedad de 43,76% (Cartuche, 2022).

Características macroscópicas: Anillos de crecimiento visibles aunque no muy claramente, corteza liza grano oblicuo, textura media, brillo opaco, olor desagradable y sabor amargo, con color de albura castaño muy pálido y duramen de color castaño oliva claro (Cartuche, 2022).

2.3. Definición de términos

Carbón vegetal: Producto sólido rico en carbono, obtenido mediante la pirólisis de materiales lignocelulósicos como la madera (Balaguer et al., 2021).

Carbono fijo: Fracción del carbón vegetal que permanece como residuo sólido no volátil tras la carbonización. Representa un indicador fundamental de su rendimiento energético (De la Cruz et al., 2020).

Cenizas: Residuo inorgánico resultante de la combustión completa del carbón vegetal. Su presencia elevada reduce el poder calorífico del material (Balaguer et al., 2021).

Eficiencia térmica: Es la relación porcentual entre la energía útil obtenida en forma de carbón vegetal y la energía contenida en la biomasa original. También, indica qué tan eficiente es el proceso de carbonización para convertir la materia prima en carbón con alto valor energético, minimizando pérdidas durante el proceso (Bustamante et al., 2014).

Flujo productivo: En la producción de carbón vegetal, es una secuencia ordenada de etapas (Berrocal y Moya, 2022)

Horno de carbonización: Estructura o equipo destinado a realizar el proceso de pirólisis. Existen distintos tipos, como montículo, fosa y metálico, con diferentes niveles de eficiencia térmica (GreenPower, 2019).

Pirólisis: Es un proceso termoquímico de descomposición de la biomasa en ausencia o con bajo suministro de oxígeno, que transforma la madera en carbón vegetal, liberando volátiles, y conservando la fracción carbonosa sólida (García et al., 2024).

Poder calorífico: Cantidad de energía térmica liberada por la combustión completa de un material combustible. Es un parámetro crítico en la evaluación de la calidad energética del carbón vegetal (Ataucusi, 2023).

Secado: Etapa inicial de la carbonización, en la que se elimina la humedad libre presente en la madera, antes del inicio de la descomposición térmica (Berrocal y Moya, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

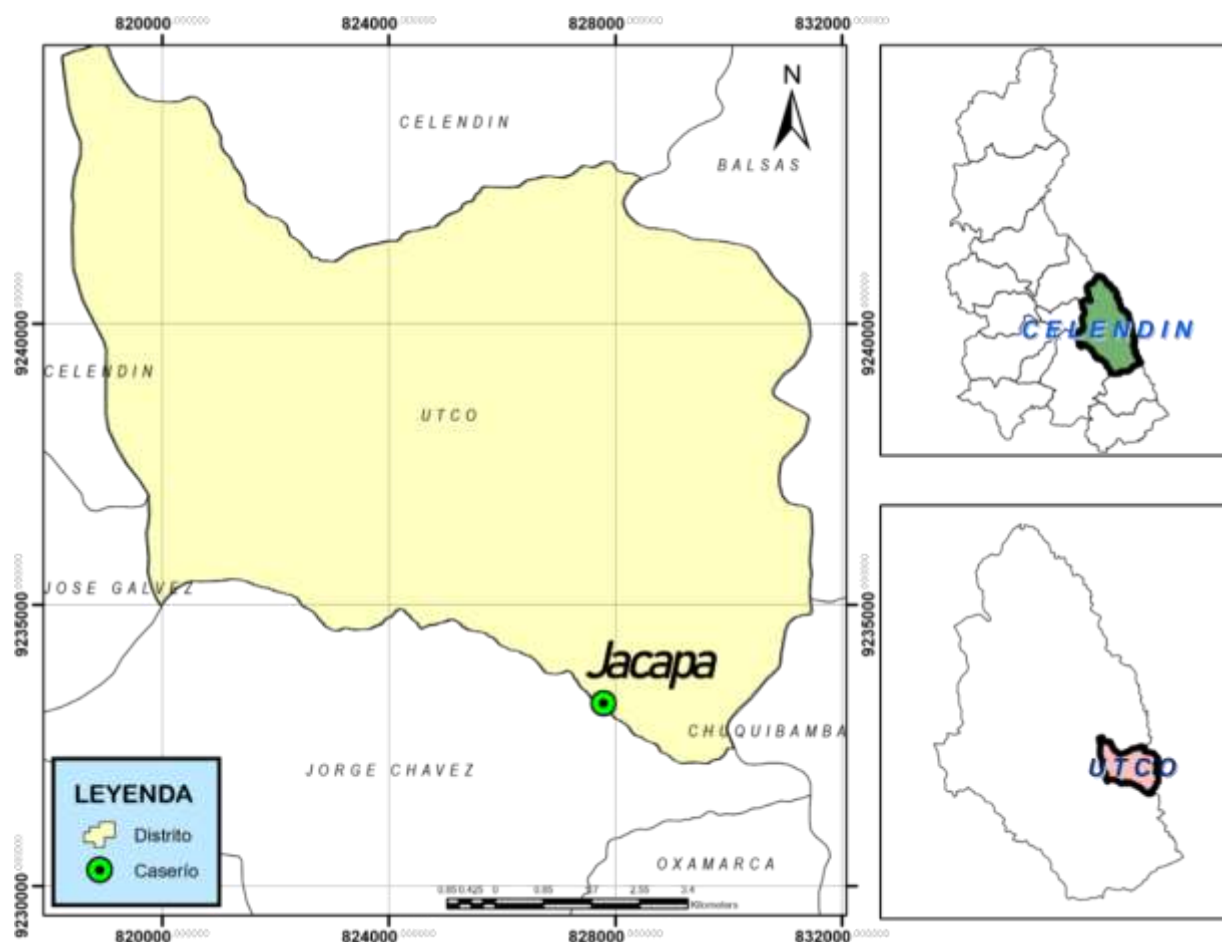
3.1. Ubicación y características del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El área de estudio donde se elaboró el carbón vegetal de huarango se encuentra en el caserío de Jacapa, distrito de Utco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca. Los análisis de calidad del producto obtenido, basados en sus propiedades fisicoquímicas, se realizaron en el laboratorio de la facultada de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Figura 7

Ubicación de la zona de estudio en el caserío de Jacapa, distrito de Utco, provincia de Celendín y departamento de Cajamarca



3.1.2. Características del área

- Accesibilidad

Para llegar al caserío de Jacapa desde la ciudad de Cajamarca, se sigue la carretera principal Cajamarca – Celendín – Utco, con un trayecto aproximado de 145.5 km a través de vías asfaltadas y afirmadas. Desde el distrito de Utco, se continúa por una trocha carrozable de aproximadamente 36 km, atravesando áreas rurales de relieve accidentado hasta llegar al caserío. El tiempo estimado de viaje es de 4 h y 15 min en vehículo motorizado, sujeto a las condiciones climáticas y el estado de la vía.

- Fisiografía

La zona de Jacapa se encuentra en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, dentro de la cuenca del río Marañón. Presenta un relieve marcadamente accidentado, con pendientes pronunciadas, laderas escarpadas y cañones profundos. La topografía está caracterizada por la presencia de lomas y escarpas que reflejan una geomorfología compleja. El rango altitudinal oscila entre los 800 y 2 300 msnm, generando una diversidad de ecosistemas y condiciones climáticas asociadas a distintos pisos altitudinales (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010).

- Clima

El caserío de Jacapa presenta un clima predominantemente cálido en las zonas altas y seco en las zonas medias y bajas, con marcada estacionalidad. La temperatura media anual es de aproximadamente 13.7 °C. El régimen de precipitaciones se caracteriza por un periodo húmedo que se extiende de septiembre a abril y un periodo seco de mayo a agosto. Este patrón climático influye directamente en la dinámica ecológica y las actividades productivas de la zona, condicionando la disponibilidad de recursos hídricos y la distribución de la vegetación natural (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010).

3.2.Materiales

Cámara fotográfica, GPS, libreta de campo, machete, palana, motosierra, balanza analítica, hacha, carretilla, sacos color negro, horno mufla, desecador de cristal, crisoles de porcelana, mortero de cerámica, tamices con malla metálica, recipientes herméticos.

3.3.Metodología

3.3.1. Variables

- Contenido de humedad (%)
- Contenido de cenizas (%)
- Contenido de material volátil (%)
- Contenido de carbono fijo (%)
- Poder calórico (%)

3.3.2. Tipo de la investigación

La investigación es descriptiva y experimental, ya que describe el flujo productivo del carbón vegetal elaborado en horno tipo parva, y analiza sus propiedades fisicoquímicas mediante cinco repeticiones por propiedad.

3.3.3. Unidad de análisis

Correspondió al carbón vegetal proveniente del lote producido, que constituye el objeto material principal sometido a evaluación para determinar sus propiedades fisicoquímicas.

3.3.4. Muestra

Se seleccionó una muestra representativa del lote de carbón vegetal, con un peso agregado de 2 kg, asegurando la representatividad y validez estadística para la realización de los análisis. De esta muestra integral, se obtuvieron submuestras específicas según el tipo de ensayo: 10 g para el contenido de humedad, y 1 g para cenizas, material volátil, carbono fijo y poder calórico.

3.3.5. Procedimientos de recolección de datos

a. Descripción del flujo productivo

1. Recolección y preparación de la materia prima

Se seleccionaron las trozas de madera de huarango con un diámetro de 10 cm y de longitud variable de 1 a 1.5 m, alcanzando un volumen de 10 m³ de madera directamente en campo.

Figura 8

Obtención de trozas de madera



2. Acarreo de la madera

Las trozas de madera seleccionadas fueron transportadas desde el punto de recolección hasta el sitio del horno.

Figura 9

Trozas de madera de huarango conducidos para la carbonización



3. Armado del horno tipo montículo

Se construyó un horno tradicional tipo montículo o parva con dimensiones aproximadas de 5 m de largo por 2 m de ancho, resultando en un volumen de 10 m³. Las trozas se apilaron de forma ordenada, colocando primero las de mayor diámetro en la base y luego las de menor diámetro, formando un montículo. Finalmente, la estructura se cubrió con hierba y una capa compacta de tierra húmeda, dejando una abertura para la ignición, garantizando así un sellado hermético para prevenir la fuga de gases y optimizar la eficiencia de la carbonización.

Figura 10

Fases de armado del horno tipo montículo para carbonización de trozas de huarango



Nota: A. Base estructural, B. Disposición de trozas, C. Forma de apilado de trozas (techo de casa), D. Humectación de la base del horno, E. Tapado con hierba, F. Encendido.

4. Carbonización

El horno se encendió aplicando fuego directamente en la abertura de ignición, utilizando leña seca como material combustible. La pirólisis se mantuvo bajo vigilancia para asegurar una transformación gradual y completa de la madera en carbón vegetal. La carbonización tuvo una duración total de tres días.

Figura 11

Emisión de humo blanco durante la carbonización



5. Destape y extracción

Una vez finalizado el proceso de carbonización, se procedió al destape cuidadoso del horno, retirando la capa de tierra y el material vegetal que cubrió la estructura. El carbón se extrajo manualmente, segregando las piezas de mayor tamaño de las más pequeñas y eliminando los residuos de cenizas.

Figura 12

Extracción de carbón vegetal utilizando rastrillo



6. Enfriamiento y ensacado

El carbón extraído se dejó enfriar al aire libre durante 3 h, medida crucial para evitar la combustión espontánea y asegurar la estabilidad del producto. Posteriormente, el producto final se ensacó en sacos de 60 kg, acondicionándolo para su almacenamiento y transporte seguro.

3.3.6. Procesamiento y análisis de datos

Los datos de las propiedades fisicoquímicas del carbón, proporcionados por el laboratorio, fueron organizados en tablas y promedios. Posteriormente, fueron procesados utilizando hojas de cálculo de Microft Excel 2019.

- Determinación de la calidad del carbón vegetal

Para evaluar la calidad del carbón vegetal, se envió una muestra representativa de 2 kg al Laboratorio de Pulpa y Papel de la Facultad de Ingeniería Forestal de la (UNALM), donde la muestra fue preparada y se realizaron cinco repeticiones para cada propiedad fisicoquímica, empleando las siguientes normas y métodos internacionales:

- **Humedad:** Se determinó el contenido de humedad según la norma AOAC 967.02

- Humedad en madera y productos derivados. Se pesó una muestra de 10 g en un recipiente metálico seco y se colocó en una estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 2 h. Posteriormente, la muestra se dejó enfriar en un desecador y se vuelve a pesar. Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra (g)} - \text{Peso seco de muestra (g)}}{\text{Peso inicial de la muestra (g)}} \times 100$$

- **Material volátil:** El contenido de material volátil se evaluó conforme a la norma ASTM D1762-84 (2013) – Método estándar para análisis químico del carbón vegetal. Se utilizó una muestra de 1 g sellada herméticamente en un crisol, que se introduce en un horno mufla precalentado a 950°C durante 6 min. Luego se enfrió en un desecador durante 1 h y se pesó nuevamente. El cálculo del porcentaje de volátiles se realizó según la ecuación:

$$\text{Material volatil (\%)} = \frac{B - C}{B} \times 100$$

B = Masa de la muestra después de someterla a 105°C (g)

C = Masa de la muestra después de someterla a 950°C (g)

- **Cenizas:** El contenido de cenizas se determinó conforme a la norma ASTM D1762 84 (2013) – Método estándar para análisis químico del carbón vegetal. Se usó una muestra de 1 g sellada herméticamente en un crisol, que se introduce en un horno mufla precalentado a 950°C durante 6 min. Luego se enfrió en un desecador durante 1 h y se pesa nuevamente. El cálculo del porcentaje de cenizas se realizó según la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de cenizas (\%)} = \frac{D}{B} \times 100$$

D = Masa del residuo después de 750°C por 6h (g)

B = Masa de la muestra después de someterla a 105°C (g)

- **Carbono fijo:** El contenido de carbono fijo se calculó utilizando los valores obtenidos previamente para humedad, material volátil y cenizas, según la norma ASTM D1762-84 (2013) – Método estándar para análisis químico del carbón vegetal. El cálculo del porcentaje de carbono fijo se realizó mediante la ecuación:

$$\text{Carbono fijo (\%)} = 100 - (CH + MV + CC)$$

CH = Contenido de humedad; MV = Material volátil

CC = Contenido de cenizas

- **Poder calórico:** Se determinó conforme a la norma ASTM D5865 – 13 – Método estándar para poder calórico del carbón y coque. Se tomó una muestra triturada de carbón vegetal de 1 g, que se quemó completamente en una bomba calorimétrica calibrada. Se midió el calor total liberado durante la combustión y se expresa en kilocalorías por kilogramo (kcal/kg). El cálculo del poder calórico se realizó según la siguiente ecuación:

$$PC_{bs} = \frac{PC_m}{1 - (H/100)}$$

PC_{bs} : Poder calórico en base seca (kcal/kg)

PC_m : Poder calórico medido (kcal/kg)

H : Porcentaje de humedad de la muestra

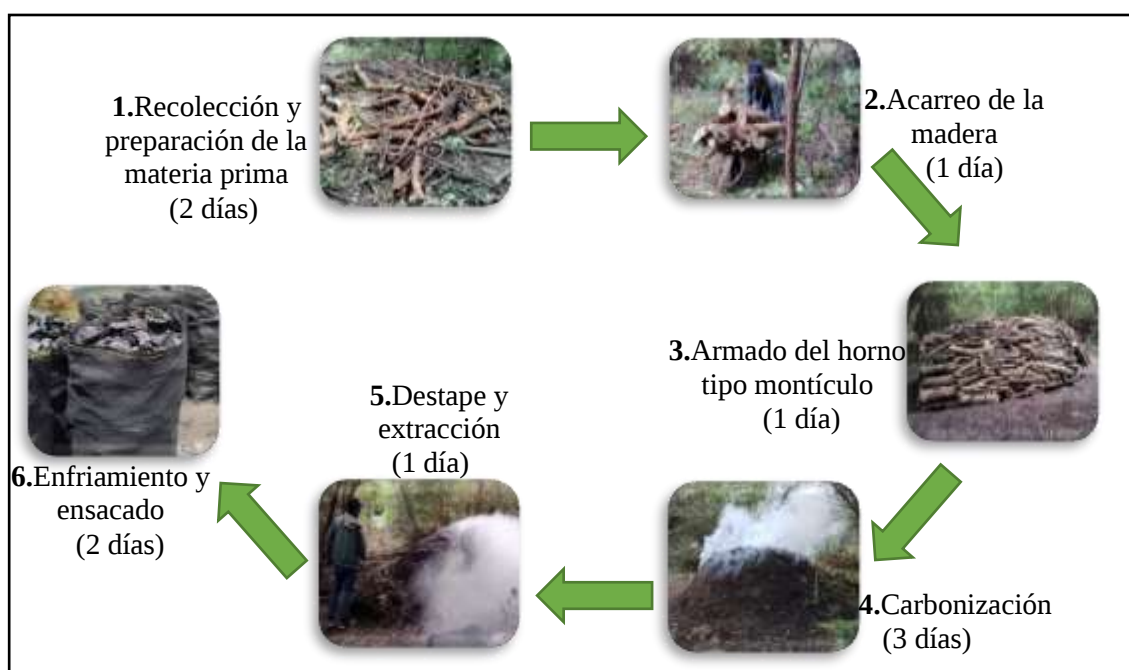
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Flujo de producción del carbón vegetal

El flujo productivo del carbón vegetal en el caserío de Jacapa, representado en la Figura 13, comprende las etapas tradicionales de recolección y preparación de la materia prima, acarreo de las trozas, instalación y armado del horno, carbonización, destape y extracción del carbón, así como el enfriamiento final. Este proceso demostró ser efectivo y adecuado para la producción del carbón vegetal en la zona.

Figura 13

Flujo de producción del carbón vegetal elaborado de madera de huarango con el método tradicional horno tipo montículo en el caserío de Jacapa – Utco – Celendín.



De acuerdo con lo planteado por Canul (2013) y Barbaran (2019), quienes señalan que para el establecimiento de un proceso eficiente de producción de carbón es fundamental tener cortas distancias desde el sitio de recolección de la materia prima hasta el montículo de carbonización, además de un adecuado acomodo de la madera, evitando espacios vacíos y aislando la materia

prima con hierba y tierra húmeda, encenderla y esperar el tiempo necesario para la extracción del carbón, seguido de un enfriamiento con agua y ensacado, comparando estas etapas con las realizadas en el caserío de Jacapa, se observa que el flujo productivo detallado en la Figura 13, cumple con lo expuesto anteriormente. Ataucusi (2023) destaca que la recolección y selección de la materia prima, en cuanto a tamaño y volumen, es fundamental para obtener un carbón con buen rendimiento energético, tal como se detalla en Jacapa, donde se emplean trozas con medidas específicas. Asimismo, Balaguer et al. (2021) indican la importancia de controlar las etapas de apilamiento y el sellado del horno, ya que determinan la eficiencia de la carbonización y calidad del producto final. En este sentido, el método tradicional de montaje y cubrimiento del horno, aunque artesanal, garantiza el aislamiento necesario para la carbonización gradual y completa de la madera. A pesar de que el proceso fue adecuado en Jacapa, hubo un pequeño descuido en la vigilancia del montículo durante la carbonización, evidenciado por la entrada de aire (oxígeno). Esto es una indicación que el cuidado del proceso de carbonización es una etapa de mucha importancia y cuidado. Así lo indican Berrocal y Moya (2022) y Bustamante et al. (2014), quienes establecen que una de las etapas principales del flujo productivo es el cuidado de la carbonización, dado que en el método tradicional de montículo o parva el carbón puede quemarse por completo, generando pérdidas económicas significativas.

4.2. Calidad del carbón vegetal

- Propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal de huarango

Para determinar la calidad del carbón, se realizaron análisis fisicoquímicos siguiendo normas y métodos internacionales, con cinco repeticiones por propiedad. Los valores promedio obtenidos se presentan en la Tabla 8. Estas propiedades son indicativas de la calidad y rendimiento energético del carbón, acorde con Bustamante et al. (2014); De la Cruz et al. (2020) y Carrillo et

al. (2013), quienes señalan que un contenido bajo de humedad y cenizas, junto con un alto contenido de carbono fijo, son deseables para obtener un carbón de calidad y de buena combustión.

Tabla 8

Resultados de promedios de las propiedades fisicoquímicas con cinco repeticiones

Parámetro	Unidad	Promedio
Contenido de humedad	%	6.80
Material volátil	%	11.79
Contenido de cenizas	%	5.39
Carbono fijo	%	82.82
Poder calórico	kcal/kg	7439.78

El porcentaje del contenido de humedad del carbón, que en este estudio alcanzó un valor promedio de 8.60% (Tabla 8), se atribuye principalmente al uso de madera recién talada como materia prima, la cual retiene una alta cantidad de agua natural que no se elimina por completo durante la carbonización tradicional, tal como manifiestan Berrocal y Moya (2022). Esta humedad puede también estar relacionado con la condensación y asentamiento de alquitranes insolubles en el proceso, como indica (Sáenz, 2023). Por otro lado, Bustamante et al. (2014) explican que la humedad del carbón depende fundamentalmente de la temperatura durante la carbonización y de la humedad ambiental a que el carbón queda expuesto posteriormente. García et al. (2024) y Ochoa (2015) manifiestan que la humedad puede incrementarse cuando el carbón no ha sido quemado correctamente o si absorbe ácidos piroleñosos y alquitranes solubles debido al contacto con agua, fenómeno común en quemas tipo parva que aumenta la higroscopicidad del carbón, llegando a valores de humedad en equilibrio natural de hasta 15% o más. Ataucusi (2023) destaca que la humedad de equilibrio higroscópico es menos relevante en el carbón vegetal que en la madera,

debido a su menor capacidad de absorción. A pesar de esto, el carbón elaborado cumple con normas como la alemana DIN 51749 $< 8\%$, la estadounidense DIN EN 1860 – 2 $< 8\%$ y japonesa $< 7.5\%$ (Tabla 6). Cabe señalar que menores contenidos de humedad están relacionados con un mejor poder calórico, ya que la humedad disminuye la eficiencia energética del carbón (García et al., 2024), y que valores inferiores al 8% son deseables para minimizar el consumo de material para evaporar agua y reducir la susceptibilidad a ataques por agentes biológicos (Heya et al., 2014) y Gutiérrez (2021).

El carbón de huarango presenta un porcentaje de material volátil de 11.79% (Tabla 8), lo que indica una buena calidad al estar por debajo del límite (30%) reportado para carbón de calidad (Zobo et al., 2020; Balaguer et al., 2021; Gutiérrez, 2021). Un menor contenido de volátiles refleja un proceso de carbonización más completo, generando un carbón con mayor estabilidad y desempeño energético, además de reducir la emisión de compuestos volátiles que afectan la calidad del aire y producen contaminantes (Heya et al., 2014; De la Cruz et al., 2020; Sáenz, 2023). En cuanto a normativas internacionales, Bustamante et al. (2014) señalan que los mercados asiáticos y europeos aceptan un máximo del 12% de material volátil para uso doméstico, valor que equilibra las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del carbón, como resistencia, cohesión, friabilidad y fragilidad; mientras que en Alemania y Rusia los límites son mayores, con 16% (DIN 51749) y 14% (GOST 7657 – 84), respectivamente (Tabla 6). Por otro lado, la composición química de la madera influye en el contenido de volátiles, dado que la lignina favorece un mejor rendimiento del carbón, en contraste los polisacáridos, que son la principal fuente de productos volátiles (Canul, 2013; Cartuche, 2022). Además, el porcentaje de material volátil está relacionado con las condiciones de carbonización, pues mayor tiempo y temperatura de exposición producen carbón con menor contenido volátil, mientras que temperaturas y tiempos bajos incrementan estos valores

(Berrocal y Moya, 2022). Por tanto, el valor obtenido para el carbón de huarango se ajusta a los estándares internacionales de calidad y refleja un proceso de carbonización eficiente en hornos tradicionales tipo parva.

El contenido de cenizas del carbón de huarango producido en Jacapa (Tabla 8), se encuentra dentro de los rangos reportados para diversas especies, como *Tectona grandis* de 2.01% (Berrocal y Moya, 2022); *Ziziphus cinnamomum* de 4.61% (Gutiérrez, 2021); *P. laevigata* de 2.8% y *E. ébano* de 3.2% (Carrillo et al., 2013); *L. castilloi* de 2.0% y *P. piscipula* de 4.6% (Canul, 2013). Un contenido elevado de cenizas puede afectar negativamente el uso doméstico del carbón, ya que su acumulación ensucia y obstruye el flujo de gases de combustión, lo que disminuye la eficiencia térmica, además de influir en la transferencia de calor y difusión de oxígeno durante la combustión, factores importantes para el rendimiento del biocombustible (Zobo et al., 2020; Marchesan et al., 2020). García et al. (2019) señalan que el contenido de cenizas en carbones vegetales varía entre 1.49% y 6.97%, dependiendo de la especie, la inclusión de corteza y la contaminación por tierra o arena. Dado que un mayor porcentaje de cenizas reduce el poder calórico del carbón, su presencia es desfavorable para aplicaciones domésticas como calefacción y cocina (Lubwana et al., 2023). Por otro lado, Balaguer et al. (2021) indican que el contenido de cenizas tiende a aumentar con el incremento de la temperatura y duración del proceso térmico. En cuanto a las normativas internacionales de calidad, los estándares de Bélgica y Francia no consideran el contenido de cenizas como criterio de calidad; en contraste, Alemania (DIN 51749) establece un límite máximo del 6%, EE.UU (DIN EN 1860 – 2) del 8%, y Serbia (SRPS D.B9.020), Rusia (GOST 7657 – 84) y Japón son más exigentes al permitir un máximo del 5% (Tabla 6).

El contenido de carbono fijo es un parámetro esencial para determinar la calidad y cantidad de brasa producida, considerándose que un carbón con menos del 70% de carbono fijo es de mala

calidad (De la Cruz et al., 2020). En este estudio, el carbón presentó un 82.82% de carbono fijo (Tabla 8), cumpliendo con los estándares exigidos en los mercados americano, europeo y asiático (Tabla 6). Este alto porcentaje se relaciona inversamente con el bajo contenido de material volátil obtenido.

Ochoa (2015) reportó valores comparables en carbón de *Dypterix odorata* (88.06%) y *Hymenaea courbaril* (79.55%) producidos en hornos artesanales, mientras que Gutiérrez (2021) encontró un promedio de 85.62% en carbón de *Ziziphus cinnamomum*, atribuyendo las variaciones al contenido de lignina, ya que se degrada fácilmente en diferentes alturas del fuste. El proceso de carbonización lento aplicado en este trabajo de investigación permitió reducir significativamente el contenido de agua y volátiles en la madera, incrementando así el carbono fijo del carbón, aspectos análogos reportados por Pérez (2020); Zobo et al. (2020); Gutiérrez (2021); Lubwana et al. (2023), quienes indican que una carbonización prolongada y a alta temperatura elimina casi la totalidad de las sustancias volátiles, generando un carbón con contenido de carbono fijo cercano al 90% aproximadamente. Además, el porcentaje de carbono fijo está directamente relacionado con el poder calórico, pues un mayor contenido de carbono fijo en biocombustibles se asocia con un poder calórico superior.

El poder calórico de un biocombustible depende principalmente de su composición química, aumentando conforme incrementa el contenido de carbono fijo, mientras que la humedad disminuye su valor al reducir la materia combustible disponible y aumentar la energía necesario para evaporar el agua presente (García et al., 2024). El valor promedio obtenido en este estudio (Tabla 8) se encuentra dentro de los rangos reportados, como los 6 866.52 kcal/kg de Curo (2019), los valores entre 7 235.97 y 7 573.98 kcal/kg de Marchesan et al. (2020), 27.67 kJ/kg de la Cruz et al. (2020) y 7 052 kcal/kg de Gutiérrez (2021). Estas variaciones de resultados se atribuyen a

factores como la especie, temperatura, técnica y velocidad de carbonización, que no siempre son uniformes, además de las diferencias inherentes en la composición química de la madera, incluso dentro de la misma especie, debido a la concentración y proporción de celulosa, hemicelulosa, lignina y densidad (García et al., 2019; Ataucusi, 2023). Asimismo, Balaguer et al. (2021) señalan que un carbón con mayor contenido de sustancias volátiles puede presentar un poder calórico ligeramente superior al de uno con alto contenido de carbono fijo, debido a la mayor energía liberada por la combustión del hidrogeno presentes en los volátiles. Por último, Chañi y Rengifo (2017) sostienen que el poder calórico y el contenido de carbono fijo dependen fundamentalmente de la temperatura de carbonización, que influye en la descomposición de los compuestos originales.

V. CONCLUSIONES

El proceso artesanal de producción de carbón vegetal de huarango en Jacapa se compone de seis etapas operativas principales: recolección y preparación de materia prima, acarreo, armado del horno tipo montículo, carbonización, destape y extracción, finalizando con el enfriamiento y ensacado. Este ciclo productivo, con una duración de 10 días, se sustenta en prácticas tradicionales basadas en conocimientos empíricos y manejo manual de recursos y herramientas, resultando en un flujo eficiente que asegura la transformación adecuada de la madera en carbón de alta calidad.

La calidad del carbón de huarango se evaluó mediante sus propiedades fisicoquímicas relevantes, obteniéndose un contenido de humedad del 6.80%, cenizas de 5.39%, material volátil de 11.79% y un contenido de carbono fijo del 82.82%, valores que indican una combustión estable, baja emisión de residuos y alto rendimiento térmico, respaldado por un poder calórico superior promedio de 7 439.78 kcal/kg.

VI. RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar estudios comparativos que analicen la variación de las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal en función de la sección del fuste del huarango (base, medio y ápice), con el fin de identificar las partes que generan un producto de mayor calidad y eficiencia energética. Estos análisis permitirán optimizar la selección de la materia prima y mejorar los procesos de carbonización, minimizando pérdidas y aumentando la rentabilidad.

Asimismo, se recomienda que futuras investigaciones sobre la calidad del carbón vegetal incorporen variables adicionales como la densidad aparente, resistencia mecánica, distribución granulométrica, pH, conductividad eléctrica e hidrofobicidad. La inclusión de estos parámetros complementa y enriquecen el análisis convencional, facilitando una caracterización más integral que contribuya a optimizar la producción, almacenamiento, transporte y aplicaciones industriales del carbón.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- AOAC International. (2005). *Official methods of análisis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.
- ASTM International. (2013a). ASTM D1762-84(2013): *Standard test method for chemical analysis of wood charcoal*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D1762-84R13>
- ASTM International. (2013b). ASTM D5865-13: *Standard test method for gross calorific value of coal and coke*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D5865-13>
- Ataucusi, F. P. L. (2023). *Rendimiento y contenido energético de briquetas y carbón vegetal obtenido a partir de la mazorca de Theobroma cacao L. (cacao)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/20.500.12986/XXXX>
- Balaguer, B. V., Moya, R., y Gaitán, A. J. (2021). *Características físicas y energéticas, resistencia a la compresión y modificación química del carbón vegetal producido a partir de dieciséis maderas tropicales en Costa Rica*. *Journal of Sustainable Forestry*, 42(2), 151-169. <https://doi.org/10.1080/10549811.2021.1978096>
- Barbaran, P. M. C. (2019). *Características de la producción y comercialización de carbón vegetal en el distrito de Manantay, Coronel Portillo-Ucayali*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4254>
- Bartocci, P., Wang, L., Skreiberg, Ø., Liberti, F., Bidini, G., Fantozzi, F. (2019). *Biocarbon production and use as a fuel*. In *Production of Materials from Sustainable Biomass Resources* (pp. 295-324). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3768-0_10
- Berrocal, M. N. S., Moya, R. R. (2019). *Producción de carbón vegetal a partir de residuos de Tectona grandis L.f., manufacturado por Ecobosques, San Joaquín de Cutris, San*

- Carlos, Alajuela, Costa Rica*. [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
<https://hdl.handle.net/2238/10856>
- Bustamante, G. V., Carrillo, P. A., González, R. H., Garza, O. F., Prieto, R. J. A., Corral, R. J. J., y Vega, N. D. J. (2014). *Tecnologías para la transformación de la biomasa en carbón vegetal*. En F. Garza-Ocañas F., J. A. Guevara González, H. Villalón-Mendoza y A. Carrillo-Parra (Eds.), *Técnicas en el manejo sustentable de los recursos naturales* (pp. 142-163). Universidad Autónoma de Nuevo León.
https://www.researchgate.net/publication/272171425_Tecnologias_para_la_transformacion_de_la_biomasa_en_carbon_vegetal
- Canul, T. S. A., (2013). *Rendimiento y Calidad del carbón vegetal elaborado en horno tipo fosa con subproductos forestales de piscidia piscipula (l.) sarg. y lonchocarpus castilloi standl. en campeche*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León].
- Cartuche, P. K. M. (2022). *Caracterización de la madera de 95 especies forestales del sur de Ecuador con base a sus propiedades físicas, organolépticas y anatómicas*. [Universidad Nacional de Loja, Loja]. Ecuador.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/24554>
- Carrillo, P. A., Foroughbakhch, P. R., y Bustamante, G. V. (2013). Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 62-71. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v4n17/v4n17a7.pdf>
- Chañi, P. Y. L. y Rengifo, R. J.(2017). *Evaluación del rendimiento y calidad del carbón vegetal, a partir de residuos de la especie Dypterix odorata (Aublet) Willd (Shihuahuaco), producidos en horno artesanal de aserrín tipo Horizontal, Tambopata-Madre de Dios*

- [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios].
<https://repositorio.unamad.edu.pe/handle/20.500.14070/247>
- Chidumayo, N. E., Gumbo, J. D. (2013). *The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: A synthesis*. Energy for Sustainable Development, 17(2), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2012.07.004>
- Crisóstomo, M. C., Silva, M., Vale, A., y Chaves, B. S. A. (2021). *Caracterização energética de madeira de E. grandis, Pinus sp., T. vulgaris e P. lecointei*. En R. J. de Oliveira & R. C. Moreira (coords). Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal, (pp. 49-61). <https://doi.org/10.37885/210203270>
- Curo, A. I. (2019). *Poder calorífico del carbón de madera de tres especies forestales-Distrito Mariscal Cáceres-Huancavelica*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5919>
- De la Cruz, M. C., Herrera, G. J., Ortiz, S. I. A., Ríos. S. J. C., Rosales, S. R. y Carrillo, P. A. (2020). *Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México*. Madera y bosques, 26(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621971>
- García, Q. J., Musule, L. R., Carrillo, Á, N., y Carrillo, P. A. (2021). *Tipo de hornos para la producción de carbón vegetal en México*. En, Optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético, (p. 293). Red Iberomasa, CYTED.
- García, Q. J., Musule, L. R., Wehenkel, C., Prieto, R. J.A., Núñez, R. V., & Carrillo, P. A. (2024). *Efecto del contenido de humedad de la leña en la calidad, el rendimiento y la ganancia económica durante la producción de carbón vegetal en un horno de media naranja modificado*. Combustibles, 5 (1), 1-16. <https://doi.org/10.3390/fuels5010001>

- García, Q. J., Pámanes, C. G. A., Anton, W. C., Escobedo, B. M. A., Ruíz, A. F., Carrillo, P. A. (2019). *Caracterización energética del carbón vegetal de diez especies tropicales*. Revista Mexicana de Agroecosistemas, 6(1), 37–47.
- Greenpower. (2019). *GreenPower*. <https://greenpower.equipment/es/>
- Gutiérrez, T. Y. A. (2021). *Influencia de la temperatura de carbonización y niveles longitudinales del fuste en el rendimiento y análisis fisicoquímico del carbón vegetal del Achuni caspi (Ziziphus cinnamomum Tr & Pl.) proveniente del CICFOR Macuya- Huánuco- 2020* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ucayali]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4803/UNU_FORESTAL_2021_T_YERSON-GUTIERREZ.pdf
- Gobierno Regional de Cajamarca. (2010). *Zonificación ecológica y económica del departamento de Cajamarca: Base para el ordenamiento territorial*. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/ResumenZEE2daEdicion.pdf>
- Heya, M. N., Pournavab, R., Carrillo, P. A., y Colin, U. S. (2014). Bioenergy potential of shrub from native species of northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research*, 2(12), 475-483. <https://www.researchgate.net/publication/269280057>
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2022). *Tecnología para la producción de carbón vegetal en horno tipo media naranja argentino*. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/tecnologia-para-la-produccion-de-carbon-vegetal-en-hornos-tipo-media-naranja>
- Kajina, W., Junpen, A., Garivait, S., Kamnoet, O., Keeratiisariyakul, P., Rousset, P. (2019). *Charcoal production processes: An overview*. International Journal of Sustainable Energy and Environment, 10, 19–25.

- Lubwama, M., Yiga, V.A., Ssempijja, I., y Nalubega, L. H. (2023). *Thermal and mechanical characteristics of local firewood species and resulting charcoal produced by slow pyrolysis*. Biomass Conversion. Biorefinery. 13, 6689–6704.
<https://doi.org/10.1007/s13399-021-01840-z>
- Marchesan, R., de Oliveira, D. N., da Silva, R. C., de Carvalho, L. A., Gomes, R. T., y Almeida, V. C. (2020). *Quality of charcoal from three species of the Eucalyptus and the Corymbia citriodora species planted in the south of Tocantins*. Floresta, 50(3), 1643-1652.
<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v50i3.65303>
- Ochoa, L. A. (2015). *Análisis comparativo de los sistemas de producción de carbón vegetal de dos especies forestales de Tambopata – Madre de Dios* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14621/1575>
- Pérez, A. J. M. (2020). *Efecto del contenido de humedad en los residuos de la madera aserrada de Capirona (Calycophyllum Spruceanum Benth); con el poder calorífico del carbón vegetal producido en el prototipo del proyecto: Fincyt-Jk Maderas Export S.A.- Unu, departamento de Ucayali, 2018* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ucayali]. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4546>
- Sáenz, S. N. Y. (2023). *Evaluación de la calidad del carbón vegetal de cinco especies arbóreas utilizadas en sistemas agroforestales con café en comparación con el Quercus costarricensis, Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional TEC. <https://hdl.handle.net/2238/14984>
- Tobar, R. K. M., & Mena, E. J. C. (2023). *Intensidad de uso del espino (Vachellia macracantha) en la elaboración de carbón vegetal en comunidades del Valle del Chota, Ecuador*. [Trabajo de grado, Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias

Agropecuarias y Ambientales].

<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13987/2/03%20RNR%20449%20TRABAJOS%20DE%20GRADO.pdf>

WFO (2025): *Acacia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger. Published on the internet; <https://wfoplantlist.org/taxon/wfo-0001277441-2024-06>. Accessed on: 20 Mar 2025.

Zobo, M. J., Biwolé, A. B., Fedoung, F. E., Ekassi, G. T., Hubert, D., Ducenne, H., Tamba, J. G., & Mouangue, R. (2020). *Les techniques de carbonisation et les essences utilisées influencent les attributs de qualité des charbons de bois produits avec des déchets de scierie industrielle dans l'Est-Cameroun*. Bois & Forêts Des Tropiques, 345, 65–74. <https://doi.org/10.19182/bft2020.345.a31831>

Anexos

Anexo 1

Resolución Administrativa de autorización para la producción de carbón vegetal-SERFOR



VISTOS:

La solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora con colecta de fecha de 13 de junio 2024 a la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal, y posteriormente derivada el 02 de julio del 2024 a esta ATFFS Cajamarca presentada por el **Sr. LUIS ALBERTO MOLOCHO VÁSQUEZ** y el INFTEC N°D000054-2024MIDAGRI-SERFOR-ATFFS- CAJAMARCA-LGP de fecha 10 de julio de 2024, y;

CONSIDERANDO:

Que, la Constitución Política del Perú, establece que los recursos naturales renovables y no renovables, son patrimonio de la nación, siendo por ese motivo responsabilidad del Estado promover el uso sostenible de los recursos naturales, la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas a través de una legislación adecuada;

Que La Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, tiene por objeto establecer el marco legal para regular, promover y supervisar la actividad forestal y de fauna silvestre. Dicha Ley, en su artículo 13 indica que el SERFOR es la Autoridad Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, que ejerce competencias y funciones en el ámbito nacional, se sujeta al marco normativo sobre la materia y actúa en concordancia con las políticas, planes y objetivos nacionales, constituyéndose en el ente rector del Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre, y en su autoridad técnico normativa, encargada de dictar las normas y establecer los procedimientos relacionados al ámbito de su competencia hasta que los Gobiernos Regionales suscriban el acta de entrega y recepción y adecuen sus instrumentos institucionales y de gestión, a fin de ejercer las funciones transferidas previstas en los literales e) y q) del Artículo 51° de la ley N° 27867-Ley Orgánica de los Gobiernos Regionales;

Que, mediante Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI, se aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, el cual tiene entre sus funciones principales: a) Planificar, Ejecutar, Apoyar, Supervisar y Controlar, la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre; y b) Gestionar y promover el uso sostenible, la conservación y la protección de los recursos forestales y de fauna silvestre;

Que, mediante Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI, de fecha 03 de septiembre de 2014, se modifica el Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, contemplando en la Primera Disposición Complementaria Transitoria que las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre se incorporan al SERFOR, como órganos desconcentrados de actuación local, siendo una de sus funciones; "Actuar como primera instancia en la gestión y administración de los recursos

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: ZMSUSPS



RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

forestales y de fauna silvestre, dentro del ámbito territorial de su competencia y acorde a las atribuciones reconocidas”;

Que, conforme al Artículo 147° de la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna, la Autoridad Regional Forestal y de Fauna Silvestre (.....) El SERFOR, como ente rector del SINAFOR coordina con las autoridades que toman parte en el control y vigilancia forestal y de fauna silvestre, orienta las actividades y asegura la capacitación en materia forestal y de fauna silvestre de los integrantes del sistema.

Que, el artículo 154°, del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015- MINAGRI, en adelante “Reglamento”, precisa que la investigación científica del Patrimonio se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto de su patrimonio genético nativo. Dichas autorizaciones no requieren del pago de derecho de trámite.

Que, mediante solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora con colecta de fecha de recepción 13 de junio 2024 a la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y posteriormente derivada el 02 de julio del 2024 a esta ATFFS Cajamarca presentada por el **Sr. LUIS ALBERTO MOLOCHO VÁSQUEZ** para realizar investigación científica de flora silvestre con colecta, fuera de Áreas Naturales Protegidas, titulado **CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE HUARANGO (Acacia macracantha) EN EL UTCO -CELENDIN- CAJAMARCA**”; y las muestras se colectarán en el Caserío Jacapa, distrito del Utco , provincia de Celendín, departamento de Cajamarca en la coordenadas aproximada:

Localidad	Distrito	Provincia	Departamento	Zona	Coordenadas UTM
Caserío Jakapa	Utco	Celendin	Cajamarca	17M	824484 E y 9236739 N

Que, el INFTEC N°D000054-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS CAJAMARCA LGP de fecha 10 de julio del 2024, concluye que, la solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora silvestre con colecta del proyecto **“CALIDAD Y PRODUCCION DE CARBON VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE HUARANGO (Acacia macracantha) EN EL UTCO -CELENDIN- CAJAMARCA”**, durante el período comprendido entre la emisión de la resolución hasta el 31 de octubre del 2024 fuera de Áreas Protegidas, cumple con las condiciones mínimas y los requisitos previstos en el numeral 7.2 de la evaluación de las condiciones y los requisitos para aprobación Resolución de Dirección Ejecutiva N°060-2016- SERFOR/DE (01/04/2016)

Que, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Forestal y de Fauna Silvestre Ley N° 29763 y su Reglamento para la Gestión Forestal aprobado mediante D. S. 018-2015MINAGRI, y en uso de las facultades conferidas en la Primera Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI;



RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

Que, en uso de las atribuciones conferidas por el Reglamento de Organización y Funciones del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI, modificado por el Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI y la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 029-2015-SERFOR-DE, de fecha 21 de mayo del 2022, mediante la RDE N° D000091-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE; se Resuelve Designar al señor Marco Wilson Coronel Pérez en el cargo de Administrador Técnico Forestal y de Fauna Silvestre de la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre – ATFFS Cajamarca, cargo considerado de confianza, y;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO 1°: Otorgar la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre con colecta, del proyecto titulado proyecto **CALIDAD Y PRODUCCION DE CARBON VEGETAL A PARTIR DE LA ESPECIE DE HUARANGO (Acacia macracantha) EN EL UTCO -CELENDIN- CAJAMARCA** y las muestras se colectarán en el Caserío Jacapa, distrito del Utco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca correspondiéndole el código de autorización **N° 06 -CAJ/AUT-IFL-2024-011**.

ARTÍCULO 2°: En la referida autorización para realizar investigación científica de flora silvestre con colecta, se le reconoce como **investigador principal al Sr. LUIS ALBERTO MOLOCHO VASQUEZ con DNI 46908940, con teléfono 993410612, y email Lmolochov14@unc.edu.pe** domiciliado en el Psj. Las Palmeras 245, Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, del departamento de Cajamarca, Perú.

ARTÍCULO 3°: La presente autorización incluye la utilización de 1kg de carbón vegetal de la especie (**Acacia macracantha**) para la determinar la calidad porcentual de las propiedades físico químicas, siendo colectado del Caserío Jacapa, distrito del Utco, provincia de Celendín, departamento de Cajamarca por el periodo entre la **emisión de la resolución hasta 31 de octubre del 2024**.

ARTÍCULO 4°: El titular de la autorización se compromete a:

- a. No extraer especímenes, ni muestras biológicas de flora silvestre no autorizada, no ceder los mismos a terceras personas, ni utilizarlos para fines distintos a lo autorizado.
- b. No contactar ni ingresar a los territorios comunales sin contar con la autorización de las autoridades comunales correspondiente.
- c. Retirar todo el material empleado para la ejecución del presente estudio una vez terminado el trabajo de campo y levantamiento de información biológica.
- d. Depositar el material colectado en una institución científica nacional depositaria de material biológico, así como entregar a la ATFFS Cajamarca la constancia de dicho depósito. En casos debidamente justificados, y siempre que el material colectado no constituya holotipos ni ejemplares únicos, el depósito se podrá realizar en una institución distinta a la mencionada para ellos se requiere la autorización del SERFOR.
- e. Solo en el caso que por razones científicas acotadas se requiere enviar al extranjero parte del material colectado, el interesado deberá gestionar el correspondiente permiso de exportación ante la Dirección General Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR, así como pasar el control respectivo. Los ejemplares únicos de los grupos taxonómicos colectados y holotipos solo podrán ser exportados en calidad



RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA

de préstamo. Entregar a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Cajamarca, una (01) copia del informe final en idioma español (incluyendo versión digital) como resultado de la autorización otorgada, copias del material fotográfico y /o solides que pueda ser utilizadas para difusión. Asimismo, entregar una (01) copia de las publicaciones producto de la investigación realizada en formato impreso y digital.

- f. El informe Final deberá contener una lista taxonómica de las especies objeto de la presente autorización de colecta, en formato MS Excel. Esta lista deberá contar con sus respectivas coordenadas en formato UTM (Datum WGS84), incluyendo la zona (17.18 o 19). Asimismo, incluir los datos de colecta de cada espécimen. El Informe Final que debe ser usado se encuentra en el Anexo 1 de la presente resolución.
- g. El cumplimiento de lo señalado en el literal d) y g) no deberá ser mayor a los seis (06) meses al vencimiento de la presente autorización.
- h. Solicitar anticipadamente a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Cajamarca y dentro del plazo de vigencia de la resolución, cualquier cambio en las características de la investigación aprobada, que demanden la modificación de la presente resolución.
- i. Indicar el número de la resolución en las publicaciones generadas a partir de la autorización concedida.

ARTÍCULO 5°: El titular del mencionado estudio deberá implementar todas las medidas de seguridad y eliminación de impactos que se puedan producir por las actividades propias de las actividades de la fase de campo, como toma de datos, tratamiento y transporte de muestras, transporte de equipos, personal, etc.

ARTÍCULO 6°: La Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Cajamarca del SERFOR, no se responsabiliza por accidentes o daños sufridos por el solicitante de la presente autorización durante la ejecución del Proyecto; asimismo, se reserva el derecho de demandar del Proyecto de Investigación los cambios a que hubiese lugar en caso se formulen ajustes sobre la presente autorización.

ARTÍCULO 7°: Notificar al Sr. **Luis Alberto Molocho Vásquez** con DNI **46908940**, con teléfono **993410612**, y email **Lmolocho14@unc.edu.pe** domiciliado en el Psj. Las Palmeras 245, Distrito de Bambamarca, Provincia de Hualgayoc, del departamento de Cajamarca

ARTÍCULO 8°: Disponer la publicación de la presente Resolución en el Portal Web del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre: <https://www.gob.pe/serfor>

Documento firmado digitalmente

Marco Wilson Coronel Pérez

Administrador Técnico Ffs

Atffs - Cajamarca

Anexo 2

Carta de permiso para el uso de la especie *Acacia macracantha* - SERFOR



Señor

LUIS ALBERTO MOLOCHO VÁSQUEZ

Pasaje Las Palmeras 245, distrito Bambamarca

Cajamarca.-

lmolochov14@unc.edu.pe

Asunto : Solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de áreas naturales protegidas

Referencia: Proveído 001091-2024/ATFFS-CAJAMARCA

Es grato dirigirme a usted con relación al documento de la referencia mediante el cual la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Cajamarca trasladó a esta Dirección su solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de áreas naturales protegidas, para realizar el proyecto titulado **Calidad y producción de carbón vegetal a partir de la especie de Huarango (*Acacia macracantha*) en Utco-Celendín-Cajamarca.**

Al respecto, en correspondencia con el *Reglamento para la Gestión Forestal*, aprobado por el Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, y con lo indicado en los *Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre*, aprobados por la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE, la Autoridad Regional Forestal y de Fauna Silvestre (ARFFS) otorgará autorizaciones con fines de investigación científica únicamente en los siguientes casos:

1. Cuando la investigación no involucre especies categorizadas como amenazadas¹.
2. Cuando la investigación no involucre especies listadas en los Apéndices de la CITES.
3. Cuando el estudio no involucre el acceso a los recursos genéticos o sus productos derivados contenidos en el material biológico colectado.
4. Cuando el ámbito de estudio comprenda una región.

Por consiguiente, de acuerdo con lo señalado en los párrafos anteriores, se derivó su solicitud a la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Cajamarca para su evaluación y atención respectiva, en cumplimiento del artículo 154° del *Reglamento para la Gestión Forestal*, toda vez que la investigación se realizará solamente en el departamento de Cajamarca, no involucrará el empleo de herramientas moleculares como parte de su metodología de estudio ni comprenderá el acceso a los recursos genéticos; asimismo,

¹ Esta mención hace referencia a las especies categorizadas como "casi amenazadas" y "con datos insuficientes"; además de las especies no incluidas en la clasificación oficial de las especies de flora y fauna silvestre categorizadas como amenazadas.

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oarrantia, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



BICENTENARIO
DEL PERÚ
2021 - 2024

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: INHNOAV





"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

*Acacia macracantha*² no es una especie amenazada de acuerdo con la normativa nacional (D.S. N° 043-2006-AG) ni se encuentra en los Apéndices de la CITES.

Sin otro particular, expreso mis cordiales saludos.

Atentamente,

Documento firmado digitalmente

Williams Arellano Olano

Director

Dirección de Gestión Sostenible del

Patrimonio Forestal

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre – SERFOR

Expediente 2024-0028128

² Está listada en la categoría de casi amenazado (NT), por lo que corresponde evaluar a la ARFFS, en concordancia con lo señalado en el literal a. del numeral 5.3.2. Entidades involucradas en el otorgamiento de la autorización de los Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre.

Av. Javier Prado Oeste N° 2442

Urb. Orrantía, Magdalena del Mar – Lima 17

T. (511) 225-9005 www.gob.pe/serfor www.gob.pe/midagri



BICENTENARIO
DEL PERÚ
1821 - 2021

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: INHNOAV



Anexo 3

Análisis de las propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
Departamento Académico de Industrias Forestales
Área de Transformación Química-Laboratorio de Pulpa y Papel

ANÁLISIS DE MUESTRAS

Nº 007/08-2024-LPP

Fecha 28 de Agosto del 2024

ENSAYOS SOLICITADO

Ref. proforma PR-LPP 037/2024

Att. Sr. Luis Alberto Moloch Vásquez

RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS MUESTRAS

ANÁLISIS	Norma / método	Unidad	MUESTRA
			CARBÓN VEGETAL
1) CONTENIDO HUMEDAD**	Gravimetría AOAC 1984	% (base húmeda)	6,80
2) CONTENIDO CARBONO (Carbono fijo)	ASTM D-1762	%	82,82
3) MATERIAL VOLÁTIL	ASTM D-1762	%	11,79
4) CENIZAS	ASTM D-1762	%	5,39
5) PODER CALÓRICO*	ASTM D-5865-13	kcal/kg	7439.78

* poder calórico superior (PCS), base seca; ** a la recepción de la muestra, base húmeda


 Ing. Melina Diaz Batalla
 Laboratorio de Pulpa y Papel
 CIP 141714



Anexo 4

Panel fotográfico de la investigación

Figura 14

Herramientas empleadas en la producción de carbón vegetal

**Figura 15**

A. Forma de corte de las trozas. B. Obtención de la madera



Figura 16

Acarreo de la materia prima con la ayuda de una carretilla



Figura 17

Forma de apilado final con trozas de huarango



Figura 18

Trozas de madera cubiertas con material vegetal para carbonización



Figura 19

Mecha del horno para encendido con madera seca



Figura 20

Salida de gases de combustión en horno tipo montículo o parva



Figura 21

Ejemplares de huarango en pie



Figura 22

A. Costal negro de polietileno. B. Residuos de carbonización anterior de carbón vegetal

**Figura 23**

Análisis de muestras de carbón vegetal en el laboratorio de pulpa y papel - UNALM

