

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE CARBÓN VEGETAL
OBTENIDO DE FAIQUE (*Vachellia macracantha* HUMB & BONPL EX WILLD) Y
ALGARROBO (*Neltuma pallida* HUMB & BONPL EX WILLD) EN EL DISTRITO DE
CHOTA, CAJAMARCA.

**Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y
Ambiental**

Autor:

Bachiller: Ivan Rojas Silva

Asesor:

Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito

Chota – Perú

2026



C.O. N° 004-2026-EPIFA

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito, en calidad de asesor, hago constar que la Tesis de investigación Titulada: “Evaluación del rendimiento y calidad de carbón vegetal obtenido de faique (*Vachellia macracantha* Humb & Bonpl Ex Willd.) y algarrobo (*Neltuma pallida* Humb & Bonpl Ex Willd.) en el distrito de Chota, Cajamarca”; ejecutada por el **Bachiller: Ivan Rojas Silva** de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental, asesorado por la Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito; presenta un **INDICE DE SIMILITUD DEL 16%**, sin incluir bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA aprobado mediante **RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N°770-2025- UNACH**.

Se expide la presente a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 08 de julio del 2026.

Atentamente,

.....
Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito

Ivan Rojas Silva

Tesis



Proyectos y tesis



Tesis 2026



Universidad Nacional Autónoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3605458134

Fecha de entrega

2 jul 2026, 8:52 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 jul 2026, 9:04 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Informe_Final_de_tesis_-Ivan_Rojas_24_06_2026..docx

Tamaño del archivo

6.9 MB**100 páginas****19.142 palabras****106.182 caracteres**

16% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Ing. Yuli Anabel Chávez Juanito
Asesora

Fuentes principales

15%	Fuentes de Internet
5%	Publicaciones
4%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.unach.edu.pe	3%
2	Internet	eprints.uanl.mx	2%
3	Internet	repositorio.unu.edu.pe	1%
4	Internet	doczz.es	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
6	Internet	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%
7	Internet	recursosbiblio.url.edu.gt	<1%
8	Internet	repositorio.uss.edu.pe	<1%
9	Internet	hdl.handle.net	<1%
10	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
11	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%

12	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
13	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
14	Internet	repositoriotec.tec.ac.cr	<1%
15	Internet	coirenat.net	<1%
16	Internet	repositorio.unamad.edu.pe	<1%
17	Internet	repositorio.unjfsc.edu.pe	<1%
18	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Frontera	<1%
21	Internet	www.repositorio.usac.edu.gt	<1%
22	Internet	www.scielo.org.mx	<1%
23	Internet	rctveracruz.org	<1%
24	Internet	www.fao.org	<1%
25	Internet	www.researchgate.net	<1%

26	Internet	fr.slideshare.net	<1%
27	Internet	1library.org	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru	<1%
29	Internet	rmae.voaxaca.tecnm.mx	<1%
30	Internet	1library.co	<1%
31	Internet	repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr	<1%
32	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
33	Internet	repositorio.uap.edu.pe	<1%
34	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
35	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
36	Internet	doczz.net	<1%
37	Internet	www.coursehero.com	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Piura	<1%
39	Internet	link.springer.com	<1%

40	Internet	www.omahbse.com	<1%
41	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
42	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
43	Internet	www.unach.edu.pe	<1%
44	Publicación	Mario Rosina, Mónica Romo. "Discovery of two active nests of Phytotoma raimon...	<1%
45	Publicación	Miguel Espitia-Camacho, Hermes Araméndiz-Tatis, Carlos Cardona-Ayala. "Morph...	<1%
46	Internet	academic.oup.com	<1%
47	Internet	backend.aprende.sep.gob.mx	<1%
48	Internet	distancia.udh.edu.pe	<1%
49	Internet	teknomekanik.ppj.unp.ac.id	<1%
50	Internet	www.voaxaca.tecnm.mx	<1%
51	Internet	departamento-de-productos-forest.webnode.es	<1%
52	Internet	ilamdocs.org	<1%
53	Internet	repositorio.uncp.edu.pe	<1%

54	Internet	www.scielo.org.pe	<1%
55	Internet	www.slideshare.net	<1%
56	Trabajos del estudiante	Universidad Internacional de la Rioja	<1%
57	Publicación	dos Reis, Pedro Filipe Martins. "Producao de Acucares para Bioetanol a Partir da P...	<1%
58	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
59	Internet	revistaingenieria.univalle.edu.co	<1%
60	Internet	www.repositorio.unu.edu.pe	<1%
61	Publicación	Ortiz Jaramillo, Martha Viviana. "Efecto de un Recurso Educativo Digital Adaptativ...	<1%
62	Publicación	Tri Ani Hastuti, Sugeng Purwanto, Ismail Gani, Pasca Tri Kaloka, Hideaki Tanimot...	<1%
63	Internet	docslib.org	<1%
64	Internet	fdocuments.mx	<1%
65	Internet	iberomasacyted.blogs.upv.es	<1%
66	Internet	tesisdigitales.umich.mx	<1%
67	Internet	www.mdpi.com	<1%

68	Publicación	David Arturo Munar Flórez, Darlis Adriana Varón Cárdenas, Nidia Elizabeth Ramír...	<1%
69	Internet	es.slideshare.net	<1%
70	Internet	ir.unimas.my	<1%
71	Internet	literatura.ciidiroaxaca.ipn.mx:8080	<1%
72	Internet	repositorio.serfor.gob.pe	<1%
73	Internet	repositorio.uiim.edu.mx	<1%
74	Internet	repositorio.unsa.edu.pe	<1%
75	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
76	Internet	vdocumento.com	<1%
77	Internet	vip.ucaldas.edu.co	<1%
78	Internet	www.ecorfan.org	<1%
79	Internet	www.ujap.edu.ve	<1%
80	Publicación	Fernanda Maria Guedes Ramalho, Rodrigo Simetti, Taiana Guimarães Arriel, Bren...	<1%
81	Internet	doaj.org	<1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 042-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.° 357-2026-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
M.Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada	Presidente
Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón	Secretario
Dr. Jim Jairo Villena Velásquez	Vocal

De la tesis titulada:

"Evaluación del rendimiento y calidad de carbón vegetal obtenido de faique (*Vachellia macracantha* HUMB & BONPL EX WILLD) y algarrobo (*Neltuma pallida* HUMB & BONPL EX WILLD) en el distrito de Chota Cajamarca"

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Ivan Rojas Silva	76572721

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

☒	Unanimidad		Mayoría
-------------------------------------	------------	--	---------

☒	Aprobar		Desaprobar
-------------------------------------	---------	--	------------

Otorgando la calificación de:

☒	Aprobado
	Excelente
☒	Bueno
	Regular

	Desaprobado
--	-------------

Colpa Matara 17 de junio del 2026

M.Sc. Jimmy Alberto Díaz Estrada
Presidente

Mtr. Leyla Catherine Alarcón Alarcón
Secretario

Dr. Jim Jairo Villena Velásquez
Vocal

Dra. Yuli Anabel Chávez Juanito
Asesor

Dedicatoria

Esta investigación dedico a mis padres: Ladislao Rojas Muñoz y Marlene Silva Rojas. Así mismo, a mis hermanos Alexander Rojas Silva y Jesica Jhanet Rojas Silva, por haber sido el sostén económico y emocional para culminar mis estudios y a la vez realizar la presente investigación.

Agradecimientos

- ❖ A mi asesora, M. Sc. Yuli Anabel Chávez, por haberme orientado con conocimiento para el desarrollo de la investigación.

- ❖ A los profesores de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), por haber compartido conocimiento durante cinco años de carrera universitaria.

- ❖ A mis compañeros de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), por los consejos brindados y el conocimiento compartido durante los cinco años de carrera universitaria.

- ❖ A mi compañero de universidad, Elías Mejía Mejía, por brindarme el apoyo intelectual para cristalizar la presente investigación.

- ❖ A mi compañero que compartimos la universidad; Edin Yoel Benavides Mejía, por el apoyo brindado en el desarrollo del experimento de la investigación.

Índice de contenidos

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Formulación del problema	2
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.1.1. Antecedentes en carbón vegetal de <i>Vachellia macracantha</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (faique)	4
2.1.2. Antecedentes en carbón vegetal de <i>Neltuma pallida</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (algarrobo).....	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Características botánicas de las especies estudiadas.....	8
2.2.1.1. <i>Vachellia macracantha</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (faique).....	8
2.2.1.2. <i>Neltuma pallida</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.)(algarrobo).....	9
2.2.2. Utilidad de carbón de madera	10
2.2.2.1. Definición de carbón de madera	10
2.2.2.2. Formas de presentación y usos.....	10
2.2.3. Carbonización del carbón vegetal.....	12
2.2.3.1. Etapas del proceso de carbonización.....	12
2.2.3.2. Modelos de hornos para producir carbón de leña.....	13
2.2.4. Propiedades del carbón vegetal	15
2.2.4.1. Contenido de humedad	15
2.2.4.2. Materiales volátiles	15
2.2.4.3. Cantidad de cenizas	16
2.2.4.4. Contenido de carbón fijo.....	16
2.2.4.5. Poder calorífico.....	16
2.2.4.6. Rendimiento.....	16
2.2.5. Indicadores de calidad de carbón vegetal	17
2.2.6. Normativas para determinar la calidad de carbón vegetal	18
2.2.6.1. Norma ASTM - D - 1762–84, reprobado 2007. Análisis del carbón vegetal.....	19

2.3.	Definiciones conceptuales.....	19
2.3.1.	Calidad de carbón vegetal.....	19
2.3.2.	Rendimiento carbón vegetal	19
2.3.3.	Masa seca de la madera	20
2.3.4.	Masa seca del carbón vegetal	20
2.3.5.	Carbonización.....	20
2.3.6.	Diseño completamente al azar	20
2.3.7.	Poder calorífico.....	20
2.3.8.	Materiales volátiles.....	20
CAPITULO III.....		21
MARCO METODOLÓGICO		21
3.1.	Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación	21
3.1.1.	Tipo de investigación.....	21
3.1.2.	Diseño de investigación.....	21
3.1.3.	Nivel de investigación	22
3.1.4.	Enfoque de investigación.....	22
3.2.	Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis	22
3.2.1.	Ubicación de la investigación	22
3.2.2.	Población de la investigación	24
3.2.3.	Muestra de la investigación	24
3.2.4.	Muestreo de la investigación	24
3.2.5.	Unidad de análisis de la investigación	24
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.3.1.	Técnicas de recolección de datos.....	25
3.3.1.1.	Obtención de las muestras de madera y carbonización.....	25
3.3.1.2.	Rendimiento del carbón vegetal (RCV%).....	27
3.3.1.3.	Calidad del carbón vegetal.....	28
3.3.2.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
3.4.	Hipótesis	31
3.5.	Operacionalización de variables	31
3.6.	Procedimientos de recolección de datos.....	32
3.7.	Procedimientos de análisis de datos.....	32
3.8.	Materiales y equipos	33
3.8.1.	Motosierra.....	33
3.8.2.	Machete	33
3.8.3.	Sierra	33

3.8.4.	Balanza analítica.....	33
3.8.5.	Mortero.....	34
3.8.6.	Mufla.....	34
3.8.7.	Tamiz N.º 20 (850 µm).....	34
3.8.8.	Crisoles.....	34
3.8.9.	Pinzas de laboratorio.....	34
3.8.10.	Cámara fotográfica.....	35
3.9.	Aspectos éticos	35
CAPÍTULO IV.....		36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		36
4.1.	Descripción de resultados en el indicador de rendimiento del carbón vegetal.....	36
4.1.1.	Rendimiento del carbón vegetal	36
4.2.	Descripción de resultados en los indicadores de la calidad del carbón vegetal.....	37
4.2.1.	Contenido de humedad	37
4.2.2.	Materiales volátiles.....	38
4.2.3.	Contenido de cenizas.....	40
4.2.4.	Contenido de carbón fijo	41
4.2.5.	Poder calorífico.....	42
4.3.	Contrastación de hipótesis	44
4.4.	Discusión de resultados del indicador de rendimiento del carbón vegetal	44
4.4.1.	Rendimiento del carbón vegetal	44
4.5.	Discusión de resultados en los indicadores de la calidad del carbón vegetal	46
4.5.1.	Contenido de humedad	46
4.5.2.	Materiales volátiles.....	47
4.5.3.	Contenido de cenizas.....	50
4.5.4.	Contenido de carbón fijo	52
4.5.5.	Poder calorífico.....	54
CAPÍTULO V.....		56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		56
5.1.	Conclusiones	56
5.2.	Recomendaciones.....	57
CAPITULO VI.....		58
REFERENCIAS		58
CAPÍTULO VII. ANEXOS		67

Índice de tablas

Tabla 1 Taxonomía de la <i>Vachellia macracantha</i>	8
Tabla 2 Taxonomía de la <i>Neltuma pallida</i>	9
Tabla 3 Características del carbón vegetal a diferentes temperaturas	13
Tabla 4 Indicadores de la norma europea EN 1860-2, comparado con la norma alemana DIN 51749.....	18
Tabla 5 Procedencia de muestras que permitieron determinar la calidad del carbón vegetal	28
Tabla 6 Operacionalización de variables de la investigación.....	31
Tabla 7 Prueba t de Student para la variable de rendimiento de carbón vegetal.....	36
Tabla 8 Prueba t de Student para la variable de contenido de humedad	37
Tabla 9 Prueba t de Student para la variable de materiales volátiles	39
Tabla 10 Prueba t de Student para la variable de contenido de cenizas	40
Tabla 11 Prueba t de Student para la variable de contenido de carbón fijo	41
Tabla 12 Prueba t de Student para la variable de poder calorífico	43
Tabla 13 Matriz de consistencia	67
Tabla 14 Peso de las muestras de madera antes y después de haber sido carbonizadas.....	68
Tabla 15 Obtención de los pesos del carbón vegetal, de acuerdo con la Norma ASTM D1762–84 (ASTM, 2007).....	68

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación Geográfica de los lugares que se intervinieron en la investigación.....	23
Figura 2 Flujograma del proceso de obtención de muestras y probetas de madera para la carbonización.....	26
Figura 3 Carbonización de las probetas de madera para determinar el rendimiento del carbón vegetal	27
Figura 4 Flujograma de la procedencia de los símbolos y su utilización en las ecuaciones para estimar las principales características fisicoquímicas del carbón vegetal	28
Figura 1 Desviación estándar y medias en la variable de rendimiento de carbón vegetal...	37
Figura 6 Desviación estándar y medias de la variable de contenido de humedad	38
Figura 7 Desviación estándar y medias de la variable de materiales volátiles.....	39
Figura 8 Desviación estándar y medias de la variable de contenido de cenizas	41
Figura 9 Desviación estándar y medias de la variable de contenido de carbón fijo	42
Figura 10 Desviación estándar y medias de la variable de poder calorífico	43
Figura 11 Permiso para la extracción de material biológico otorgado por el SERFOR	69
Figura 12 Identificación del árbol de <i>Neltuma pallida</i> , con características de cosecha.....	76
Figura 13 Probetas a temperatura ambiental, especies <i>Vachellia macracantha</i> y <i>Neltuma pallida</i>	76
Figura 14 Calibración de balanza analítica en laboratorio	77
Figura 15 Acondicionamiento de probetas de madera de ambas especies, para su posterior análisis.....	77
Figura 16 Ubicación de muestras de madera de ambas especies de acuerdo con el diseño estadístico	78
Figura 17 Peso de muestras de <i>Vachellia macracantha</i> y <i>Neltuma pallida</i> en balanza analítica	78
Figura 18 Peso de muestra de madera de 5 cm x 5cm x 5cm, en ambas especies <i>Vachellia macracantha</i> y <i>Neltuma pallida</i>	79
Figura 19 Determinación del contenido de humedad de las muestras de madera.....	79
Figura 20 Ubicaciones de las muestras de madera en la mufla, para determinar el rendimiento del carbón vegetal	80
Figura 21 Mufla con muestras de madera en el intervalo de tiempo de 350 °C	80
Figura 22 Mufla con muestras de madera en el intervalo de tiempo de 250 °C	81

Figura 23 Muestra de carbón vegetal de ambas especies, obtenidas después de haber ser sometidas en la mufla hasta 5450 °C	81
Figura 24 Peso de las muestras del carbón vegetal, para determinar el rendimiento del carbón vegetal	82
Figura 25 Cribado de muestra de carbón vegetal, para determinar la calidad del carbón vegetal de ambas especies	82
Figura 26 Acondicionamiento de equipos, para extraer los 4 gramos de carbón vegetal de ambas especies	83
Figura 27 Acondicionamiento de crisoles para ser llevados a la mufla con las muestras de carbón vegetal	83
Figura 28 Calibración de la balanza analítica, para pesar las muestras que se utilizara para determinar la calidad del carbón vegetal	84
Figura 29 Peso de un gramo de carbón vegetal de cada especie, de acuerdo con el diseño estadístico	84
Figura 30 Muestras de carbón vegetal en crisoles, listas para se llevadas a la mufla de laboratorio	85
Figura 31 Ubicación de los crisoles con las muestras de carbón vegetal en la mufla.....	85
Figura 32 Mula con muestras de carbón vegetal a 105 °C, de acuerdo con el diseño experimental	86
Figura 33 Peso de las muestras de carbón vegetal después de expuesto a 105 °C	86
Figura 34 Ubicación de las muestras de carbón vegetal en la mufla, tal como lo detalla el diseño de la investigación.....	87
Figura 35 Gramo de carbón triturado, en la una mufla de 750 °C por diez minutos	87
Figura 36 Crisoles con muestras de carbón vegetal en la mufla abierta con una temperatura de 300 °C.....	88
Figura 37 Peso final del residuo de carbón vegetal $\leq 0,0005$	88

Índice de abreviaturas

DCA: Diseño completamente al azar.

ASTM: Sociedad Americana para Ensayos y Materiales.

ANOVA: Análisis de varianza.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

DIN: Instituto Alemán de Normalización.

AFNOR NF: Asociación Francesa de Normalización-Norma Francesa.

NBN M: Oficina de Normalización de Materiales.

SIS: Instituto Sueco de Normalización.

GOST: Norma Estatal.

JUS.D. B: Estándar Yugoslavo.

DIN: Instituto Alemán de Normalización.

UTM: Transversal Universal de Mercator.

WGS: Sistema Geodésico Mundial.

CH: Contenido de humedad.

MV: Materiales volátiles.

CC: Contenido de cenizas.

CF: Contenido de carbón fijo.

PC: Poder calorífico.

SPSS: Paquete Estadístico Para las Ciencias Sociales.

IMB: Máquinas de Negocios Internacionales.

SERFOR: Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.

TUPA: Texto único de procedimiento administrativo.

UNACH: Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Resumen

La investigación tuvo por objetivo evaluar el rendimiento y la calidad de carbón vegetal obtenido de *Vachellia macracantha* y *Neltuma pallida*; se empleó un experimento con un diseño completamente al azar (DCA), con dos tratamientos y cuatro repeticiones, se verificó los resultados mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza de Cochran, para comparar las medias se utilizó la prueba t de Student. Se evaluaron las variables de rendimiento y de calidad del carbón vegetal; para obtener los datos de la variable de calidad del carbón vegetal (contenido de humedad, materiales volátiles, contenido de cenizas, contenido de carbón fijo poder calorífico), se empleó protocolos estipulados en la Norma ASTM D1762–84 (ASTM, 2007). En la variable de rendimiento de carbón vegetal, los resultados evidenciaron que las dos especies no presentan diferencia estadística significativa, pero los resultados de la *Vachellia macracantha* fueron superiores a los de la *Neltuma pallida*. En las variables de calidad del carbón vegetal, de la misma forma no presentaron diferencia estadística significativa, pero la *Neltuma pallida* obtuvo mejores resultados en todas las variables. Se concluye que el rendimiento de carbón vegetal de la especie *Vachellia macracantha* es de 21,77%; mientras que de la *Neltuma pallida* es de 18,05 %. En calidad del carbón vegetal la *Vachellia macracantha*, presento 16,63 % de contenido de humedad, 17,27 % de materiales volátiles, 0,0525 % de contenido de cenizas, 66,05 % de carbón fijo y 6834,47 Kcal/kg de poder calorífico. En cambio, la *Neltuma pallida* presento 8,86 % de contenido de humedad; 20,11% de materiales volátiles; 0,0500% de contenido de cenizas; 70,98 % de contenido de carbón fijo y 7061,11Kcal/kg de poder calorífico.

Palabras clave

Vachellia macracantha, *Neltuma pallida*, talado, muestras, madera, laboratorio, estufa, norma técnica, carbón vegetal.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the yield and quality of charcoal obtained from *Vachellia macracantha* and *Neltuma pallida*. A completely randomized design (CRD) experiment with two treatments and four replicates was used. The results were verified using the Shapiro-Wilk normality test and Cochran's homogeneity of variance test. The student's t-test was used to compare the means. The variables of charcoal yield and quality were evaluated. To obtain data on the charcoal quality variable (moisture content, volatile materials, ash content, fixed carbon content, calorific value), protocols stipulated in ASTM D1762–84 (ASTM, 2007) were used. In the charcoal yield variable, the results showed that the two species did not present a statistically significant difference, but the results for *Vachellia macracantha* were superior to those for *Neltuma pallida*. In terms of charcoal quality variables, there was also no statistically significant difference, but *Neltuma pallida* obtained better results in all variables. It was concluded that the charcoal yield of the *Vachellia macracantha* species is 21.77%, while that of *Neltuma pallida* is 18.05%. In terms of charcoal quality, *Vachellia macracantha* had a moisture content of 16.63%, volatile materials of 17.27%, ash content of 0.0525%, fixed carbon of 66.05%, and calorific value of 6834.47 Kcal/kg. In contrast, *Neltuma pallida* had a moisture content of 8.86%, volatile matter of 20.11%, ash content of 0.0500%, fixed carbon content of 70.98%, and calorific value of 7061.11 Kcal/kg.

Keywords

Vachellia macracantha, *Neltuma pallida*, logging, samples, wood, laboratory, oven, technical standard, charcoal.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La demanda de carbón de leña en todo el mundo se ha incrementado de un 3 y 4% anualmente (Carrillo et al., 2021), este incremento ha conllevado talar árboles aceleradamente y no utilizar métodos que son eficientes en la producción de carbón vegetal; por ello algunos gobiernos y entidades dedicadas a la investigación científica han agendado este tema como una de sus prioridades (Camou et al., 2014), dado que carbón vegetal es un producto que dinamiza la economía de los pueblos y se utiliza en diferentes industrias como sustituto a los combustibles derivados fuentes no renovables (Fernando et al., 2001).

En nuestro país (Perú), principalmente el carbón de leña se utiliza en las cocinerías (parrillas, restaurantes, pollerías) y la industria, esto se da porque genera pequeñas cantidades de humo y presenta un alto poder calorífico (Paredes et al., 2022); por el uso que tiene la demanda va a aumentar (Pipa et al., 2009), esto es un problema preocupante, por lo que se debe promover investigaciones para identificar el potencial energético que tienen las especies que crecen en los bosques (Medeiros et al., 2014); debido a que el carbón vegetal es una fuente de energía inagotable y su producción puede ayudar a disminuir la contaminación atmosférica (Marchesan et al., 2020) y generar ingresos a los pobladores que se dedican al comercio de carbón vegetal (Vollmer et al., 2017).

En la provincia de Chota, el carbón vegetal que se comercializa proviene exclusivamente de *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) y es abastecido desde la región Lambayeque. Esta situación se debe a la falta de estudios sobre el carbón vegetal producido a partir de otras especies, como *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.). Dicha especie crece de

manera óptima en varios distritos de la provincia de Chota, entre ellos Lajas, Cochabamba, Huambos y Llama, y presenta características favorables para la producción de carbón vegetal de buena calidad. En este contexto, resulta fundamental identificar el rendimiento y la calidad del carbón vegetal obtenido de *Vachellia macracantha* y compararlo con el producido a partir de *Neltuma pallida*, con el fin de promover el aprovechamiento sostenible de ambas especies y la producción de carbón vegetal de calidad. Asimismo, se busca incentivar la forestación y reforestación con esta especie, lo que permitiría a los pobladores comercializar los árboles en etapa de cosecha, generar ingresos económicos y mejorar sus condiciones de vida.

1.2. Justificación

Con la investigación se identificará la productividad y la calidad de carbón vegetal que produce *Vachellia macracantha*, en comparación al carbón vegetal que produce *Neltuma pallida*: esto favorecerá a los pobladores que comercializan el carbón vegetal, también a las personas que cuentan con tierras aptas para plantaciones forestales, para que siembren las especies estudiadas; porque conocerán el rendimiento y la calidad de carbón vegetal que producen. Los resultados pueden servir a cualquier empresa forestal que su rubro sea la generación de carbón de leña, para su instalación en la provincia de Chota; ya que se identificara científicamente el rendimiento y calidad del carbón vegetal que tienen ambas especies, también a las entidades públicas para que implementen programas de reforestación con las especies estudiadas.

1.3. Formulación del problema

¿Cuál es el rendimiento y la calidad de carbón vegetal de *Vachellia macracantha*, en comparación con el rendimiento y calidad de carbón vegetal obtenido de *Neltuma pallida*?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ✓ Evaluar el rendimiento y la calidad de carbón vegetal obtenido de *Vachellia macracantha* y *Neltuma pallida*.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar el rendimiento del carbón vegetal en porcentaje de *Vachellia macracantha* y de *Neltuma pallida*.
- ✓ Determinar la calidad de carbón vegetal de *Vachellia macracantha* y de *Neltuma pallida* mediante las principales características fisicoquímicas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El algarrobo, en la taxonómica presentado por Burkart (1976) fue asignado el nombre de *Prosopis pallida*, sin embargo, Hughes et al. (2022) desintegraron la clasificación de Burkart, para ello utilizaron un análisis filogenético de 997 genes nucleares de *Prosopis*, llegando a proponer tres géneros segregados: *Anonychium*, *Neltuma*, *Strombocarpa* y brindaron 57 nuevas combinaciones de nombres, en esta combinación se actualiza la taxonómica del algarrobo como *Neltuma pallida*, por ello; en el proyecto se utilizó su nueva clasificación.

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes en carbón vegetal de *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (faique)

Feleke et al. (2020) ejecutaron una investigación para determinar el contenido de humedad, materiales volátiles, cantidad de cenizas, valor calorífico, carbono fijo y contenido de azufre de las especies de *Arundinaria alpina*, *Oxytenanthera abyssinica*, *Prosopis juliflora* y *Acacia melífera*; este estudio permitió determinar que la cantidad máxima de contenido de humedad, presento la *Prosopis juliflora* con valores de 7,95%, 6,70% y 6,88%: la cantidad mínima la *A. alpina* con un valor de 5% y la *Arundinaria mellifera* presento un valor del 5,29%. La mayor cantidad de valor calorífico se encontrarán en las especies *Arundinaria alpina* (7106,8 calorías/gramos) y *Prosopis juliflora* (6755,6 calorías/gramos),

Curo (2019) determino el contenido de humedad utilizando la Norma Técnica Peruana de Densidad de Madera (NTP – 251–011) y el poder calorífico empleando la norma propuesta por: Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM-D-2015-66, 1972), de las especies de *Acacia macracantha*, *Kageneckia lanceolata* y *Escallonia Pendula*: encontró que la

Escallonia pendula (6983,00) presenta mayor poder calorífico seguido de *Acacia macracantha* (6866,52).

Santos et al. (2016) determinaron la consistencia de la madera y poder calorífico de dos especies; *Acacia auriculiformis* y *Ormosia paraensis*. Los resultados de estudio lo validaron mediante un ANOVA y la prueba de Tukey al 5 % de posibilidad, y concluyeron que la *Acacia auriculiformis* presenta mayor densidad y poder calorífico (0,63 g/cm³) en comparación a la especie de *Ormosia paraensis* (0,55 g/cm³), pero concluyeron que ambas especies son buenas para producir carbón vegetal.

Belito et al. (2021) investigaron la formación química y poder calorífico de las especies: *Caesalpinia spinosa*, *Vachellia macracantha* y *Tecoma stans*, para lo cual utilizaron las normas ASTM para determinar algunas propiedades fisicoquímicas del carbón vegetal obtenido. La *Caesalpinia spinosa* presento el mayor poder calorífico (4658,25 kcal / kg) ya que en su composición química contenía mayor cantidad de lignina. La *Vachellia macracantha* presento, 4422,05 kcal/kg y *T. stans* 4077,1 kcal/kg. Concluyendo que las tres especies son buenas para producir carbón vegetal porque su poder calorífico es mayor a 4000 kcal/kg.

Liu et al. (2022) evaluaron algunas propiedades fisicoquímicas y mecánicas del carbón vegetal obtenido de tres especies; *Acacia nilótica*, *Albizia lebbeck*, y *Leucaena leucocephala* a dos tiempos de calentamiento (5 °C/min, 50 °C/min) y tres temperaturas (600, 800, 1100 °C). Obtuvieron los siguientes resultados en carbón fijo totales; *A. nilótica*: 83–97; 84–91%, *A. lebbeck*: 83–96; 86–92% y *L. leucocephala*: 76–89; 78– 84%. En el rendimiento del carbón vegetal, la *Acacia nilótica* presento 22–28 % de rendimiento, la *Albizia lebbeck* un 22–26 % y *Leucaena leucocephala* un 23–28 %.

2.1.2. Antecedentes en carbón vegetal de *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (algarrobo)

Ramos (2018) investigo el potencial energético que presentan las especies de *Mimosa tenuiflora* y *Prosopis juliflora*, en las variables de contenido de volátiles (norma ASTM D3175), contenido de cenizas (norma NBR 13999), contenido de humedad (norma ASTM D3173) y poder calorífico (norma ASTM E711-87). La *Mimosa tenuiflora* presento el mayor poder calorífico (18,164 MJ/kg) y menor contenido de humedad (10, 45%), con una diferencia del *Prosopis juliflora* en el poder calorífico de 1,26% y contenido de humedad de 10%.

Bautista et al. (2020) evaluaron las características energéticas del carbón de madera de las especies *Ziziphus joazeiro* y *Prosopis juliflora*, en las variables de poder calorífico, rendimiento gravimétrico, densidad verdadera y aparente, porosidad, rendimiento en producto condensado y análisis químico inmediato (cantidad de humedad, cantidad de materias volátiles y cantidad de cenizas). La *Prosopis juliflora* presento mejores características energéticas en comparación al *Ziziphus joazeiro*, pero ambas especies mostraron un gran potencial energético.

Ouder & Githiomi (2013) tuvieron como objetivo determinar el potencial energético que presentan las especies de *Prosopis juliflora* y *Prosopis pallida*, obtuvieron sus resultados mediante algunas características fisicoquímicas (cantidad de humedad, volátil, cantidad de cenizas, el contenido de carbono y los valores caloríficos) del carbón de leña de las especies estudiadas. Determinando que la *Prosopis juliflora* tiene un poder calorífico de 7,854 Kcal y la *Prosopis pallida* 7,797 Kcal.

Chandrasekaran et al. (2021) estudiaron el rendimiento máximo de carbón vegetal, la cantidad de carbón fijo y la cantidad de material volátil de las especies de *Prosopis juliflora* y *Casuarina*

equisetifolia, sometidas a dos tiempos de temperaturas finales de carbonización: 400 °C y 700 °C. Los resultados fueron; la productividad de carbón de leña y la cantidad de carbón fijo a 400 °C es de 41,15wt% y a 700 °C es de 87,78wt% en la *Casuarina equisetifolia*. El contenido de materia volátil aumento de 68,28 Kilojulio/mol a 79,32 Kilojulio/mol para la *Prosopis Juliflora* y de 53,97 Kilojulio/mol a 62,03 Kilojulio/mol para *Casuarina equisetifolia*; respectivamente a la temperatura de carbonización de 400 °C a 700 °C.

Kumar & Chandrashekar (2016) investigaron el poder calorífico, cantidad de carbono fijo, cantidad de cenizas y rendimiento de carbón vegetal obtenido de *Prosopis juliflora*, expuestas a diferentes temperaturas de carbonización (300, 400, 500, 600, 700 y 800 °C). Los resultados mostraron que cuando la temperatura se eleva de 300 a 800 °C, el rendimiento del carbón vegetal se reduce de 49 al 34%, el contenido de carbono fijo de un 63,4 al 95,5%, el contenido de cenizas de 2,5 a 3,4 %, y el valor calorífico de 24 a 33 MJ kg⁻¹. El mejor rendimiento (37 %) y poder calorífico (32,8 MJ/kg) presento la carbonización a 600 °C.

Kiflie et al. (2021) determinaron el tiempo (60 min entre 180 min) y la temperatura (300 entre 600 °C) de carbonización a muestras de madera de la especie de *Prosopis juliflora*, evaluaron la productividad de carbón vegetal, poder calorífico y cantidad de materia volátil utilizando diferentes normas de la AST. Determinaron, en el periodo de carbonización, un rendimiento del carbón de 99,85%, de valor calorífico un 99,9% contenido de materia volátil un 99%. En la temperatura (300 entre 600 °C) de carbonización; la productividad de carbón vegetal, el valor calorífico y el contenido de materia volátil fueron de 47,52%, 24,43 MJ/kg y 56,58%. Concluyendo que con la utilización de tecnologías se produce mejor carbón vegetal.

Carrillo et al. (2013) compararon las principales características fisicoquímicas del carbón obtenido de *Prosopis laevis* y *Ebenopsis ebano*, originado en una caldera modelo fosa, con la utilización de la norma ASTM D 1762 – 84 (ASTM, 2001); determinaron cantidad de humedad, componentes volátiles, cantidad de cenizas, cantidad de carbón fijo y valor calorífico, para ello realizaron un diseño experimental con arreglo factorial, Presentaron los siguientes resultados: *Prosopis laevis*: cantidad de humedad, componentes volátiles, cantidad de cenizas, carbón fijo, cuantía de energía por unidad de masa-volumen, fueron de: 2,8 m³ t⁻¹: 3,6%: 22,8%: 70,8%: 30 241 kJ kg⁻¹, para el *Ebenopsis ebano*: 2,3 m³ t⁻¹: 3,5%: 24,9%: 3,2%: 68,6%: 29 725 kJ kg⁻¹.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Características botánicas de las especies estudiadas

2.2.1.1. *Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd) (faique)

Tabla 1

Taxonomía de *Vachellia macracantha*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Mimosoideae
Género	<i>Vachellia</i>
Epíteto específico	<i>macracantha</i>
Autor del epíteto específico	Humb. & Bonpl. ex Willd.
Nombre científico	<i>Vachellia macracantha</i>

Nota. La tabla de la clasificación taxonómica fue acondicionada de página web NaturaListaCo.

<https://colombia.inaturalist.org/taxa/781083-Vachellia-macracantha>

- **Características.** El árbol crece en la región costa hasta los 1 500 m.s.n.m., tiene una altura hasta de 8 m, presenta un espesor hasta de 30 cm, su fuste es irregular y mide de 1 a 5 m. La corteza exterior es de color marrón claro y la interior de color blanquecina; Las hojas pueden medir hasta 15 cm, el raquis de 8 a 13 cm, el ápice está conformado de 9 a 21 pares de pinnas. Las flores tienen de 5 a 6 lóbulos y son de color amarillo, la corola contiene 50 estambres y mide de 1,5 a 2 mm. Los frutos se encuentran cubiertos por una envoltura comprimida y miden de 6 a 10 cm de largura y de anchura de 1 a 4 cm, son de color rojizo oscuro. Las semillas son de color marrón oscuro (Reynel et al., 2016).

2.2.1.2. *Neltuma pallida* (Humb & Bonpl ex Willd) (algarrobo)

Tabla 2

Taxonomía de *Neltuma pallida*

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Fanerógama Magnoliophyta
Clase	Dicotiledónea Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Subfamilia	Mimosoideae
Género	<i>Neltuma</i>
Epíteto específico	<i>pallida</i>
Autor del epíteto	Humb. & Bonpl. ex Willd.
específico	Kunth
Nombre científico	<i>Neltuma pallida</i>

Nota. La tabla de la clasificación taxonómica fue acondicionada de página web NaturaListaCo.

<https://ecuador.inaturalist.org/taxa/1493156-Neltuma-pallida>

- **Características.** El árbol crece principalmente en la costa del Perú; sin embargo, puede llegar a crecer hasta los 1500 de altitud. La especie tiene una altura de 8 a 20 m, el diámetro mide de 15 a 40 cm, el fuste es recto e irregular, las ramas crecen desde el segundo tercio del árbol. La corteza exterior presenta un color marrón claro y la corteza interior es de color crema. Las hojas son compuestas, bipinnadas pubescentes, miden de 5 a 7 cm, pinas compuestas de 2 a 3 pares, de una longitud de 2,5 a 3,5 mm; foliolos de 8 a 10 pares. Presenta flores verdes amarillentas en forma de espiga de una longitud de 9 a 13 cm. Sus frutos son legumbres ligeramente comprimidas de una longitud de 10 a 18 cm, la vainas contiene de 15 a 25 semillas (Reynel et al., 2016).

2.2.2. Utilidad de carbón de madera

2.2.2.1. Definición de carbón de madera

El carbón de madera es un recurso maderable utilizado con fuente de energía en las industrias y cocina (López et al., 2022), se obtiene al someter las maderas a una temperatura de 700 a 900 °F, sin la presencia de oxígeno por un periodo prolongado, esto produce la separación de la madera en tres componentes. Componente líquido acoso, es conocido como alquitrán. Componente gaseoso, son los gases que se emiten cuando en la producción del carbón vegetal. Componente sólido, viene al ser el carbón vegetal obtenido. Para determinar algunas características fisicoquímicas se utiliza las normas ASTM, 2002; ASTM 1762-84; ASTM, 2013 (Martillo et al., 2021).

2.2.2.2. Formas de presentación y usos

Según Diaz et al. (2010), un buen carbón de madera se caracteriza por tener más cantidad de carbono fijo y menos cantidad de otros elementos, los usos más comunes clasificados de acuerdo con su producción son:

- **Carbón vegetal producido para subsistencia.** Se refiere a la generación de carbón vegetal en pequeñas cantidades; su producción genera un ingreso económico adicional para su subsistencia de los productores.
- **Carbón vegetal semiindustrial.** Es la producción de carbón a mayor escala, en algunos lugares es una principal actividad económica para los productores.

Según Diaz et al. (2010), el carbón de madera tiene múltiples usos: en sólido, en polvo, en aglomerado y en carbón activado:

- **En sólido.** Viene a ser el combustible usado para cocinar alimentos, para hacer parrillas y para preparar el pollo a la brasa en las pollerías. También se utiliza en metalurgia para la elaboración del acero y otras aleaciones metálicas, esto se debe porque funciona como un endurecedor y dispensador de metales.
- **En polvo.** El polvo del carbón vegetal se utiliza en las industrias alimentarias, como colorantes en los alimentos.
- **En aglomerado.** El carbón vegetal se pulveriza y se aglomera con algunas sustancias (almidón, arcillas, alquitrán) en forma de briqueta, pellets y se utiliza como fuente energética.
- **En carbón activado.** Es un derivado del carbón vegetal, se utiliza para purificar, eliminar olores y tratar aguas residuales, también permite purificar glicerina, de la misma forma controla las emisiones de contaminantes de los vehículos motorizados; Por sus múltiples

usos que tiene se han realizado investigaciones en la preparación y caracterización del carbón activado (Zalazar-Oliva et al., 2016).

2.2.3. Carbonización del carbón vegetal

La carbonización es la transformación de madera a través de temperaturas elevadas, en carbón fundamental y otros compuestos químicos; estos procesos se le conoce como pirolisis completa, esto se da cuando la madera o residuos agrícolas se someten al calor en ausencia de oxígeno (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1985, como se citó en Burnette, 2013). Existen diferentes métodos de carbonización, en su mayoría son métodos artesanales, por lo cual es dificultoso controlar las condiciones del proceso; por ello la productividad y la excelencia del carbón producido depende exclusivamente de la experiencia de los productores (Jiménez et al., 2006).

2.2.3.1. Etapas del proceso de carbonización

Según Burnette (2013), para la obtención de carbón de madera se requiere una temperatura aproximada de 500 °C en una pirólisis lenta y pasa por diferentes etapas:

- **Degradación inicial (20 a 110 °C).** En esta etapa la materia prima que se está carbonizando atrae calor y va eliminando algunos compuestos químicos en forma de vapor.
- **Pre-carbonización (110 a 270 °C).** La madera empezará a degradarse absorbiendo calor y eliminando algunos componentes químicos: metano, ácido acético, dióxido de carbono y monóxido de carbono.

- **Degradación exotérmica inicial (270 a 290 °C).** En esta etapa continua la transformación de la madera y es eliminado el alquitrán y algunos compuestos mezclados en forma de vapor.
- **Degradación exotérmica completa (290 a 400 °C).** Cuando la carbonización alcanza estas temperaturas continúa eliminando los compuestos; incorporando la eliminación de aguas, ácido acético, metanol y acetona.
- **Refinación de altas temperaturas (400 a 500 °C).** Una vez alcanzado estas temperaturas, la transición de carbón vegetal está por concluir: si el material carbonizado tiene ciertas cantidades de alquitrán, la temperatura se debe elevar hasta alcanzar los 500 °C.

Tabla 3

Características del carbón vegetal a diferentes temperaturas

Temperatura de Carbonización °C	Estudio químico (%)		Productividad de carbón en % (en base madera seca)
	Carbono Fijo	Material Volátil	
300	68	31	42
500	86	13	33
700	92	7	30

Nota. En la tabla se evidencia el efecto de tres temperaturas en la disminución de sus características fisicoquímicas del carbón vegetal (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1983 como se cito en Diaz et al., 2010).

2.2.3.2. Modelos de hornos para producir carbón de leña

- **Horno casero de aceite de 200 litros.** En este tipo horno se puede carbonizar algunas ramas de corto tamaño y residuos agrícolas. A parte de la generación de carbón, también se puede obtener vinagre de maderas: la capacidad de este tipo de horno es de 60 a 80 kg

de madera con una producción de 12 a 18 kg de carbón de madera (Burnette, 2010). El periodo de carbonización depende del tamaño de la materia prima que puede variar de 1,3 a 9,4 horas (Burnette, 2013).

- **Pozo de carbón vegetal mejorado.** Consiste en la elaboración de un pozo bajo tierra, en un lugar que tenga consistencia; una vez realizado el pozo se tapa con tres hojas de acero, en el interior de horno se acondiciona tres tubos metálicos, que permiten la entrada y salida de oxígeno, los mismos tubos permite la salida de humo. Este tipo de horno mejora la producción en comparación con otros procedimientos, su rendimiento es de 25 a 30 % de carbón de leña (Kammen & Lew, 2005).
- **Caldera de acero portátil.** Es una caldera elaborada de metal; se caracteriza por ser movable dado que se puede desarmar y transportar a diferentes lugares, donde se tenga materia prima para carbonizar, su movilización requiere de personal con experiencia de transporte de hornos. El rendimiento del horno es de 10% a 37% en un periodo de producción de 2 a 3 días (Kammen & Lew, 2005).
- **Colmena estándar.** Para su construcción se requieren ladrillos sometidos al calor, elaborados de arcilla y arena, el horno es resistente al calor, el periodo de duración es de 5 a 8 años. Este tipo de horno produce un rendimiento de 33% en un tiempo de carbonización de 9 días (Kammen & Lew, 2005).
- **Horno Missouri.** El horno está construido de concreto, en el cual se puede producir grandes cantidades de carbón vegetal; la ventaja que presenta este tipo de horno es que se puede utilizar maquinaria para acondicionar la materia prima, en la que puede ubicar 180

m³ de madera y producir 17,6 toneladas de carbón de leña, en un periodo de producción es de 21 días (Rautiainen et al., 2012).

- **Montículo de Somalia.** En este tipo de horno se puede carbonizar de 10 y 35 t. de madera, la ubicación de las maderas es verticalmente en forma de hatillo curvado de dos niveles en el centro, la duración de la carbonización es de 4 a 10 días con rendimiento en porcentaje de 39 a 42% (Kammen & Lew, 2005).

2.2.4. Propiedades del carbón vegetal

Las cualidades fisicoquímicas del carbón de leña se usan primordialmente para inspeccionar la comercialización en la industria química; pero estos mismos estándares se utilizan para comercializar el carbón vegetal de uso doméstico (Fiestas, 2021).

2.2.4.1. Contenido de humedad

La humedad del producto primario se elimina en el desarrollo de carbonización. La humedad en el carbón de leña está influenciada por condiciones de acopio y condiciones ambientales, por lo que se debe de evitar el contacto con el agua para no alterar el grado de humedad. El estándar de humedad es hasta el 5%, aunque puede variar de acuerdo con el lugar de producción (Bautista et al., 2017).

2.2.4.2. Materiales volátiles

Los componentes volátiles se forman del contenido líquido que contiene la madera, que no fueron eliminados en la carbonización, uno de ellos es el alquitrán: cuando las temperaturas son elevadas y el periodo de carbonización por tiempos prolongados, la cantidad de materiales

volátiles será en pequeñas cantidades, sucede lo contrario cuando la carbonización es en un tiempo reducido (Fuentes et al., 2006).

2.2.4.3. Cantidad de cenizas

Se le llama cantidad de cenizas al grupo de compuesto químicos; como el sílice, óxido de magnesio, óxido de calcio, entre otros; estos componentes forman parte del carbón vegetal, pero algunos casos se adhieren del suelo al momento de extraer el carbón del proceso de carbonización (Fuentes et al., 2006).

2.2.4.4. Contenido de carbón fijo

Es el carbón total se encuentra en la madera de forma natural, pero con la carbonización se eleva la cantidad de carbono fijo en el carbón vegetal. El carbón fijo dependerá de la calidad de la carbonización, cuando se carboniza lentamente y en temperaturas elevadas se obtendrá un rendimiento de carbón fijo de un 90% (Ordaz, 2003).

2.2.4.5. Poder calorífico

Es la cantidad de calorías que contiene los combustibles al calcinarse; el contenido de este compuesto depende la cuantía de humedad: Cuando la humedad es elevada, el poder calorífico disminuirá. El poder calorífico se divide en dos: poder calorífico superior, viene a ser todo el calor producido de una porción (masa/volumen) de carbón al calcinarse. Poder calorífico inferior, viene a ser solo el contenido del poder calorífico que tiene el carbón (Shikha, 2019).

2.2.4.6. Rendimiento

El rendimiento del carbón vegetal depende de múltiples factores, los más principales

son los equipos de carbonización y el proceso que se utiliza, también se encuentra la densidad de la madera, la celulosa, la lignina, las resinas y la dimensión de la leña. La cantidad de humedad repercute significativamente en la productividad, si la humedad es menor al 50%, el rendimiento será mayor (Amilcar, 2013).

2.2.5. Indicadores de calidad de carbón vegetal

Se determina la calidad para cumplir con los estándares internacionales de comercio de carbón vegetal (Ngangyo-Heya et al., 2016), las características principales que se utilizan para estos estándares son: carbono fijo, cantidad de cenizas, cantidad de humedad y los materiales volátiles. Si las características del carbón vegetal producido son homogéneas, indicará que el carbón es de buena calidad. Cuando los valores de las características no tienen un equilibrio: se carbonizará rápidamente o lentamente, se generará humo que puede variar el sabor de los alimentos que se está preparando. A pesar de que el carbón vegetal es uno de los insumos muy utilizados en diferentes industrias, en Europa solo algunos países han elaborado normas para este insumo, en el 2005 solo utilizaban 6 normas para la calidad del carbón vegetal (Petrović & Glavonjic, 2011).

- Norma alemana: DIN 51749.
- Norma francesa: AFNOR NF B 55101.
- Norma belga: NBN M 11-001.
- Norma sueca: SIS 1029.
- Norma rusa: GOST 7657-84.
- Norma serbia: JUS.D. B 9.020.

En Europa, en el año 2005 el Comité Europeo de Normalización Europea, acordó utilizar la Norma 1860 -2, titulada Aparatos, Combustibles Sólidos y Encendedores para Barbacoa; donde se indicaba los estándares para la comercialización de carbón vegetal, una vez adoptada esta norma todos los países miembros se vieron obligados a utilizarlo (Petrović & Glavonjic, 2011).

a). Norma europea EN 1860-2. En la Norma Europea 1860-2 en los indicadores de calidad son similares a la Norma Alemana DIN 51749, que aun algunos países lo utilizan a pesar de ser sustituida. La norma alemana se caracteriza por tener estándares más estrictos en comparación con la norma europea 1860-2 (tabla 4) (Petrović & Glavonjic, 2011).

Tabla 4

Indicadores de la norma europea EN 1860-2, comparado con la norma alemana DIN 51749

Característica	EN 1860-2	DIN 51749
Carbono fijo	$\leq 75\%$	$\leq 80 \%$
Contenido en cenizas	$\leq 8\%$	$\leq 4 \%$
Contenido en humedad	$\leq 8\%$	$\leq 8 \%$
Materiales volátiles	9	16

Nota. en tabla N° 4, se comparan de los indicadores calidad de las principales características del carbón vegetal, según la Norma Europea EN 1860-2 y la Norma Alemana DIN 51749 (Petrović & Glavonjic, 2011).

2.2.6. Normativas para determinar la calidad de carbón vegetal

Para determinar la excelencia del carbón vegetal se utilizan las normativas propuestas por la ASTM (American Society for Testing and Materials), las más usadas en los estudios de madera y carbón vegetal, son las siguientes (Belito et al., 2021):

- Norma ASTM - D - 1110, 1956 Solubilidad de la madera en agua.
- Norma ASTM - D - 1107, 1956 Solubilidad de la madera en benceno alcohol.
- Norma ASTM - D - 1105, 1956 Preparación de madera libre madera.
- Norma ASTM - D - 1106, 1956 Lignina de madera.
- Norma ASTM - D - 1102, 1956 Cenizas en la madera.
- Norma ASTM - D - 1762–84, reprobado 2007 Análisis químico del carbón vegetal.

2.2.6.1. Norma ASTM - D - 1762–84, reprobado 2007. Análisis del carbón vegetal

Esta normativa sirve para determinar en laboratorio las principales características del carbón vegetal: cantidad de humedad, materiales volátiles, cantidad de cenizas, cantidad de carbón fijo y valor calorífico. La norma se puede aplicar para analizar los terrones, briquetas y carbón vegetal, en esta norma se detalla todos los cuidados que se debe de seguir al momento de analizar las características fisicoquímicas del material analizado: en la normativa no se detalla las normas de seguridad para realizar el ensayo, estas se regirán a las propuestas en los laboratorios (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2007).

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Calidad de carbón vegetal

Es cuando las principales características fisicoquímicas cumplen con los estándares internacionales de comercialización de carbón vegetal (Ngangyo-Heiya et al., 2016).

2.3.2. Rendimiento carbón vegetal

El rendimiento viene a ser la cantidad de carbón vegetal expresada en porcentaje que se produce después de la carbonización (Coronado et al., 2016).

2.3.3. Masa seca de la madera

La madera que ha disminuido el contenido de humedad y ha sufrido algunos cambios en sus propiedades físicas, lo que genera contracción, dureza y grietas (Aquino-Gonzales et al., 2010).

2.3.4. Masa seca del carbón vegetal

Es el peso expresado en gramos que contiene las muestras de madera después que han sido carbonizadas (carbón vegetal) (Fuentes et al., 2006).

2.3.5. Carbonización

La carbonización es la transformación de madera y de residuos agrícolas a través de temperaturas elevadas en carbón fundamental y otros compuestos químicos (Burnette, 2013).

2.3.6. Diseño completamente al azar

Es un diseño estadístico que se caracteriza por estar compuesto por tratamientos y repeticiones, sirve para determinar un tratamiento más eficaz (McDonald, 2023).

2.3.7. Poder calorífico

Es la cantidad de calorías que contiene los combustibles al calcinarse, y depende de la cantidad de humedad; si la humedad es elevada, el poder calorífico será menor (Shikha, 2019).

2.3.8. Materiales volátiles

Son componentes formados del contenido líquido que contiene la madera, que no fueron eliminados en la carbonización (Fuentes et al., 2006).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo, diseño, nivel y enfoque de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

Según Hernández & Mendoza (2018) la investigación se desarrolló como una investigación aplicada, dado que su propósito no se limitó a la generación de conocimiento teórico, sino que buscó utilizar los aportes científicos existentes para ofrecer soluciones concretas a un problema específico.

Para determinar la productividad y la calidad del carbón vegetal de las especies estudiadas, se planteó una hipótesis que fue contrastada mediante un diseño experimental, lo que permitió aplicar el conocimiento científico de manera controlada y sistemática. A partir del análisis de los datos numéricos obtenidos durante el experimento, se validaron las suposiciones planteadas y se establecieron conclusiones fundamentadas, contribuyendo a mejorar los procesos de producción y a generar información útil para su aplicación práctica.

3.1.2. Diseño de investigación

Basándose en lo propuesto por Hernández & Mendoza (2018), el diseño del estudio fue experimental, dado que consistió en carbonizar muestras de diferentes especies siguiendo los protocolos establecidos en la norma ASTM D1762-84 (ASTM, 2007), de manera que se evaluara de forma controlada la productividad y calidad del carbón vegetal. Gracias al diseño experimental, fue posible validar las hipótesis planteadas, obtener resultados numéricos precisos y generar conclusiones fundamentadas en evidencia empírica, asegurando la validez interna de la investigación y la confiabilidad de los hallazgos.

3.1.3. Nivel de investigación

Basándose en lo propuesto por Hernández & Mendoza (2018), la investigación fue de nivel explicativo, dado que para obtener las variables de rendimiento y calidad del carbón vegetal de la *V. macracantha* y *N. pallida*. Se realiza comparando sus características del carbón vegetal, también porque en la investigación se plantearon suposiciones las cuales fueron validadas después de haber realizado el experimento.

3.1.4. Enfoque de investigación

Basándose en lo propuesto por Hernández & Mendoza (2018), la investigación fue de enfoque cuantitativo, porque se realizó un experimento del cual se obtuvo valores numéricos de rendimiento y calidad de carbón vegetal, las cuales fueron sometidos a pruebas estadísticas (Shapiro-Wilk, Cochran, t de Student), lo que permitió validar las hipótesis planteadas.

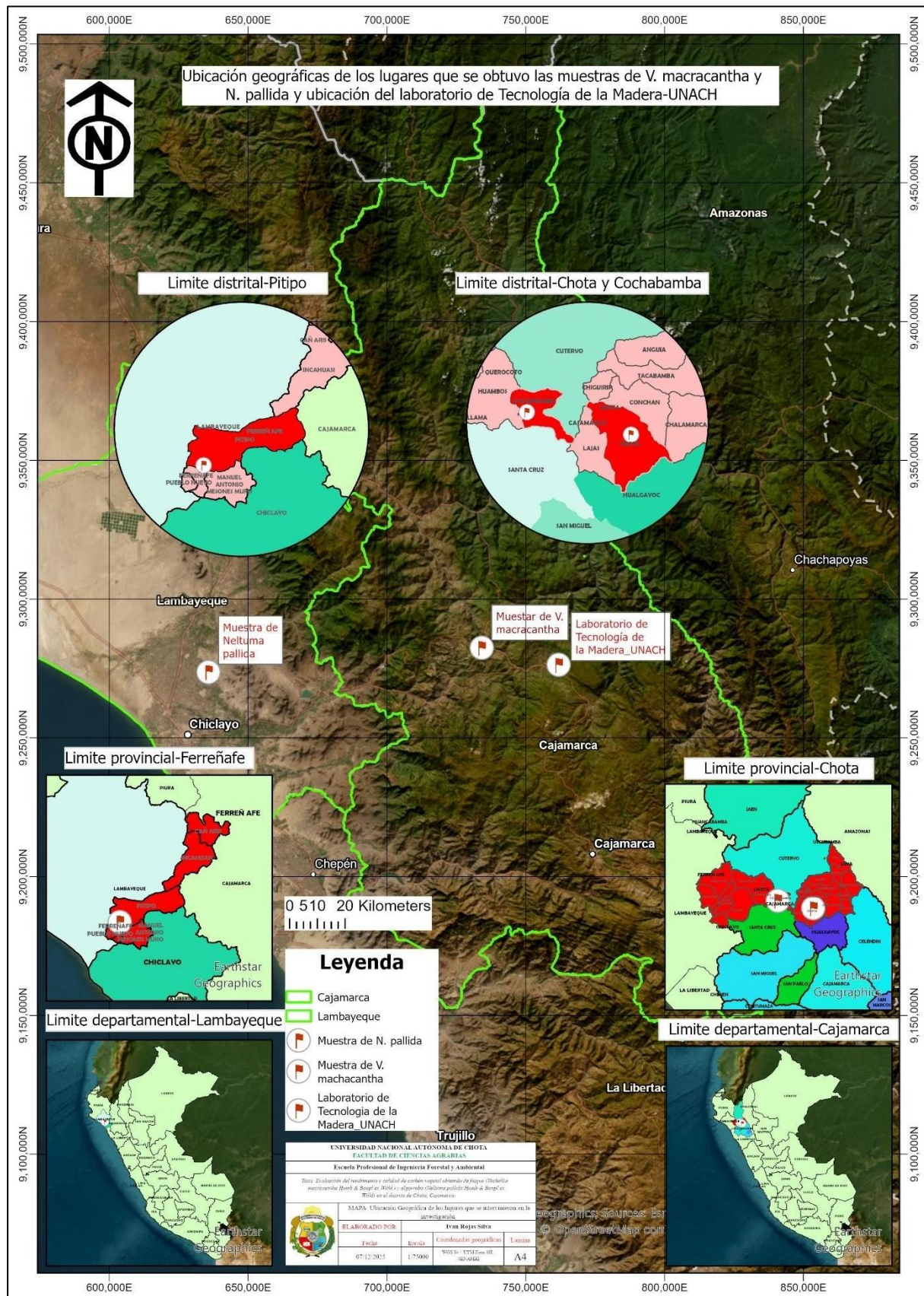
3.2. Ubicación, población, muestra, muestreo y unidad de análisis

3.2.1. Ubicación de la investigación

El ensayo se ejecutó en laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, situado en la comunidad de Colpa Matara, del distrito de Chota, región Cajamarca. Chota tiene un clima tipo lluvioso, semifrío y húmedo, con ausencia de precipitaciones en las temporadas de otoño e invierno, la temperatura promedio es de 15,6 °C, la precipitación anual es de 729 mm (Sánchez & Vásquez, 2010). La muestra de madera de *N. pallida*, se obtuvo del distrito de Pítipa, Lambayeque, su ubicación geográfica está en las coordenadas Este: 635213,82; Norte: 9274053,19 Zona 17S (WGS 1984). En tanto, la muestra de madera de *V. macracantha* se obtuvo del distrito de Cochabamba, Cajamarca, ubicado en las coordenadas Este: 734583,96; Norte: 9282756,36 Zona 17S (WGS 1984).

Figura 1

Ubicación geográfica de los lugares que se intervinieron en la investigación



3.2.2. Población de la investigación

La población estuvo representada por todas las especies de *V. macracantha* presentes en la jurisdicción de Cochabamba, Cajamarca, y de *N. pallida* en la jurisdicción de Pítipo, Lambayeque.

3.2.3. Muestra de la investigación

En el rendimiento del carbón vegetal, la muestra fue compuesta por 40 probetas de madera (5 cm x 5 cm x 5 cm) donde 20 fueron de *V. macracantha* y 20 de *N. pallida*, secadas a temperatura ambiente. En la calidad del carbón vegetal fue representada por ocho gramos de carbón vegetal obtenido de ambas especies.

3.2.4. Muestreo de la investigación

Para la *V. macracantha* y *N. pallida*, se seleccionó un árbol de cada una de las especies con características morfológicas de cosecha, posteriormente se taló y del tronco se extrajeron diez probetas (maderas de 60 cm de largo con 5 cm x 5 cm x 5 cm), posteriormente se acondicionaron a temperatura ambiente por tres meses; se seleccionó cuatro probetas que contenían menor cantidad de humedad y se dividió en proporciones de 5 cm, posteriormente se carbonizaron y se extrajeron ocho gramos de carbón vegetal de ambas especies.

3.2.5. Unidad de análisis de la investigación

La unidad de estudio en el rendimiento de carbón vegetal fue el peso seco del carbón vegetal y el peso seco de las muestras de madera. En cambio, en calidad de carbón vegetal la unidad de análisis fue; el primer peso de la muestra de carbón vegetal molida y cribada, peso de la muestra después de haberse expuesto a 105 °C y peso de la muestra después de haberse expuesto a 950 °C y peso del residuo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

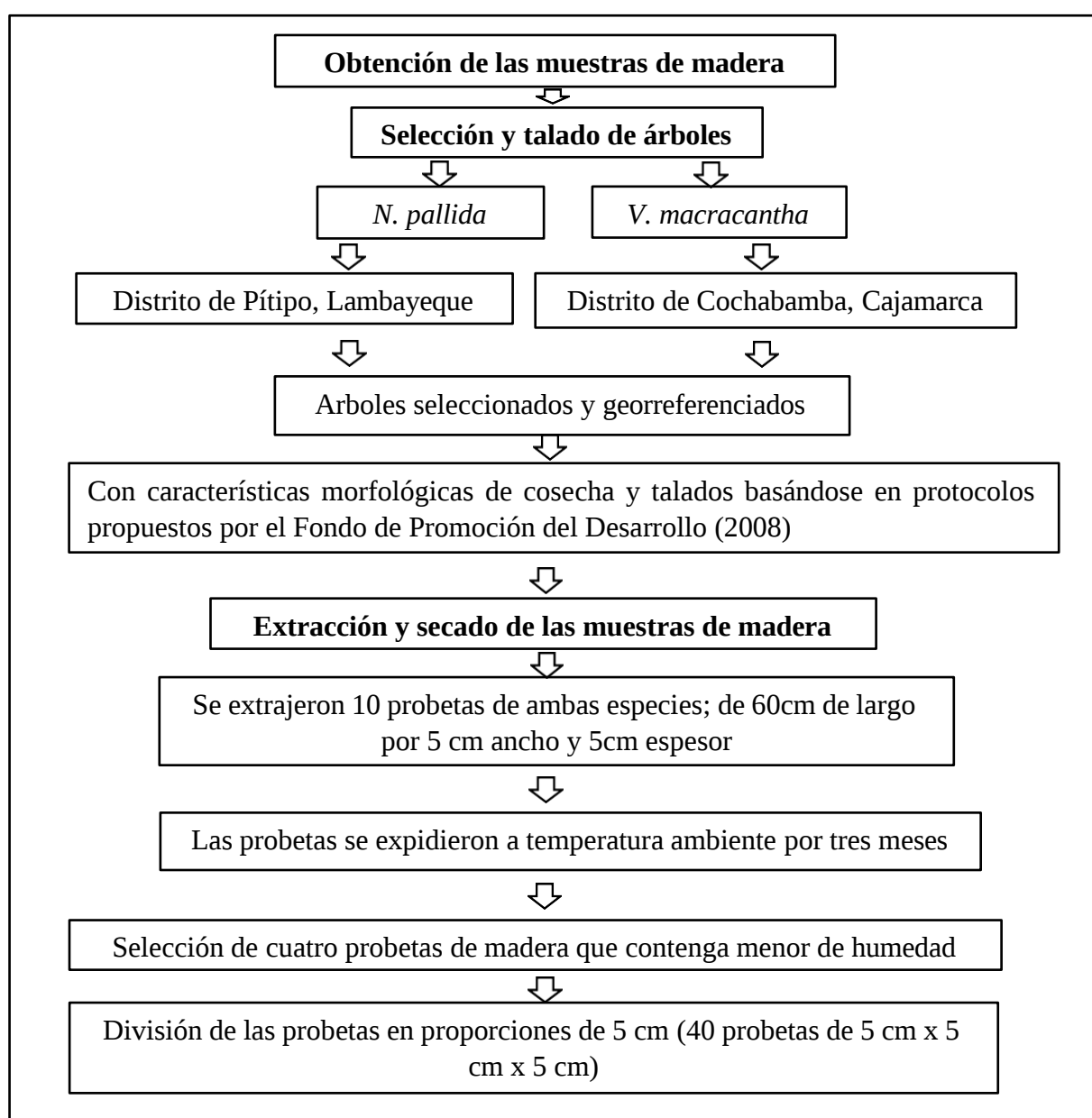
3.3.1.1. Obtención de las muestras de madera y carbonización

- **Selección y talado de árboles de las dos especies estudiadas.** En el distrito de Pítipo, Lambayeque, se seleccionó un árbol de *N. pallida* (Este: 635213,82 y Norte: 9274053,19 Zona 17S , Datum WGS 1984), con características morfológicas de cosecha, fue talado siguiendo los protocolos propuestos por el Fondo de Promoción del Desarrollo (2008), de igual manera en el distrito de Cochabamba, Cajamarca, para extraer la muestra de madera de la especie de *V. macracantha* se realizó los protocolos antes mencionado. La ubicación del árbol fue Este: 734583,96; Norte: 9282756,36 Zona 17S, Datum WGS 1984,
- **Extracción y secado de las muestras de madera.** De cada una de las especies estudiadas; del tronco se extrajo diez probetas de 60 cm de largo por 5 cm ancho y 5 cm espesor (maderas acondicionadas con motosierra de acuerdo a las medidas planteadas), luego se expandieron a temperatura ambiente aproximadamente por tres meses (10/06/2024 al 19/09/2024) para eliminar el contenido de humedad, posteriormente se seleccionó cuatro probetas de madera que contenían menor cantidad de humedad y se dividió en proporciones de 5 cm, para que se realice la carbonización.
- **Carbonización de las muestras de madera.** La carbonatación se ejecutó en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. El laboratorio se encuentra ubicado en el distrito de Chota, Cajamarca, en las coordenadas Este: 761843,52 y Norte: 9276337,36; Zona 17S, Datum WGS 1984.

Por cada repetición; las muestras (40 probetas de 5 cm x 5cm x 5cm) de las dos especies se colocaron en crisoles; posteriormente en una mufla y se subió la temperatura en los siguientes intervalos de tiempo: 1 hora a 150 °C, 1 hora a 200 °C, 1 hora y 30 minutos a 250 °C; 1 hora y 30 minutos a 350 °C, y finalmente un 1/4 de hora a 450 °C (Medeiros et al., 2014), posteriormente se colocaron en crisoles y se enfriaron a temperatura ambiente por un día.

Figura 2

Flujograma del proceso de obtención de muestras y probetas de madera para la carbonización



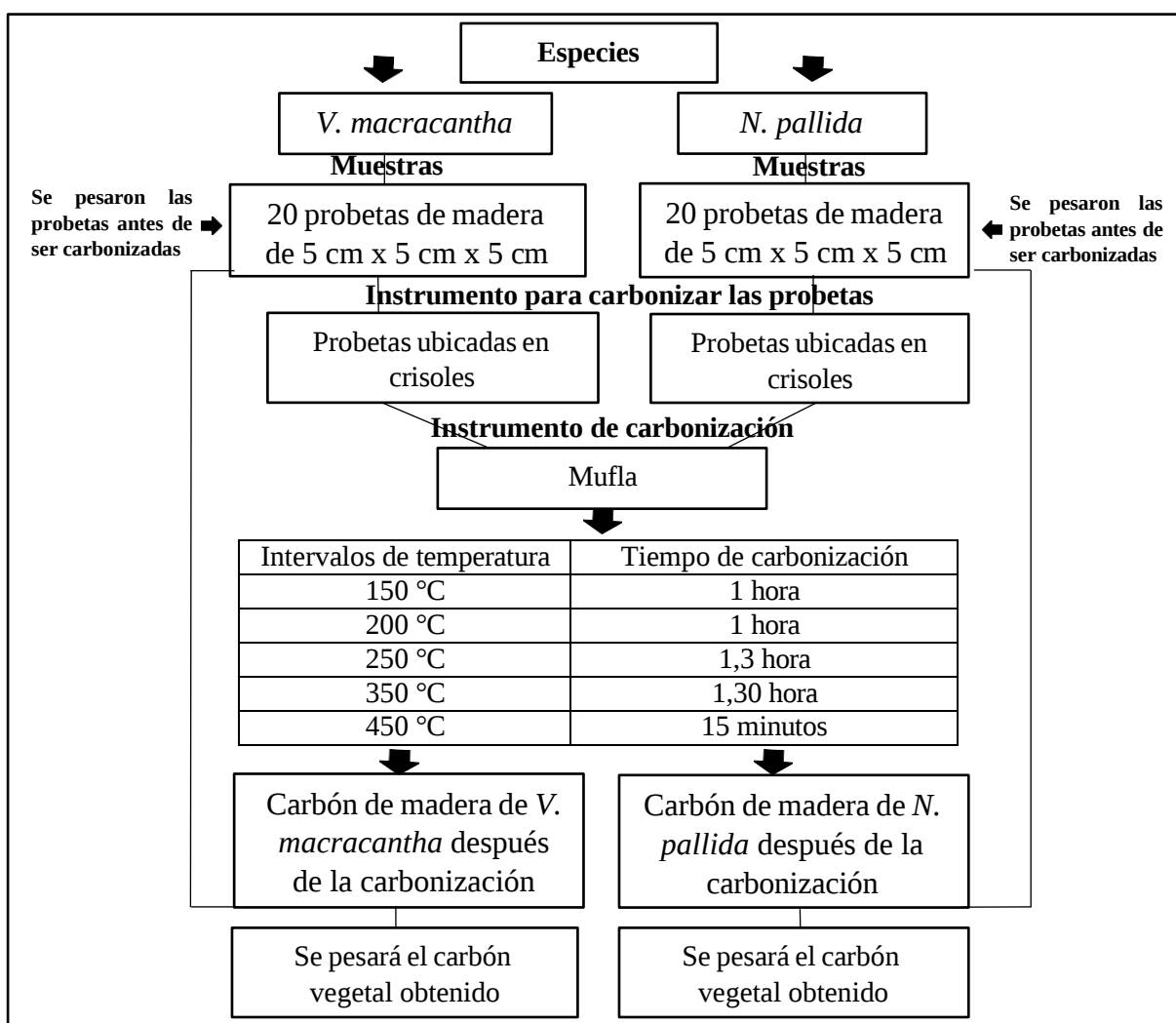
3.3.1.2. Rendimiento del carbón vegetal (RCV%)

Se pesaron las muestras de madera en una balanza analítica, antes de ser carbonizadas y después de haber sido carbonizadas (carbón vegetal): una vez obtenido las masas de las muestras se aplicó la fórmula empleada por Coronado et al. (2016) y se determinó el rendimiento del carbón vegetal.

$$RCV\% = \frac{\text{Masa seca del carbon vegetal}}{\text{Masa seca de la madera}} \times 100$$

Figura 3

Carbonización de las probetas de madera para determinar el rendimiento del carbón vegetal



Nota. Los tiempos y temperaturas se definieron solo para proteger la mufla (armonizadora) y obtener carbón vegetal para evaluar su rendimiento y calidad, sin estudiar otras variables

3.3.1.3. Calidad del carbón vegetal

Las características que definen la calidad del carbón vegetal de las dos especies estudiadas (*V. macracantha*, *N. pallida*) se determinó mediante las principales características fisicoquímicas del carbón vegetal: Cantidad de humedad, materiales volátiles, cantidad de cenizas, cantidad de carbón fijo y poder calorífico.

Tabla 5

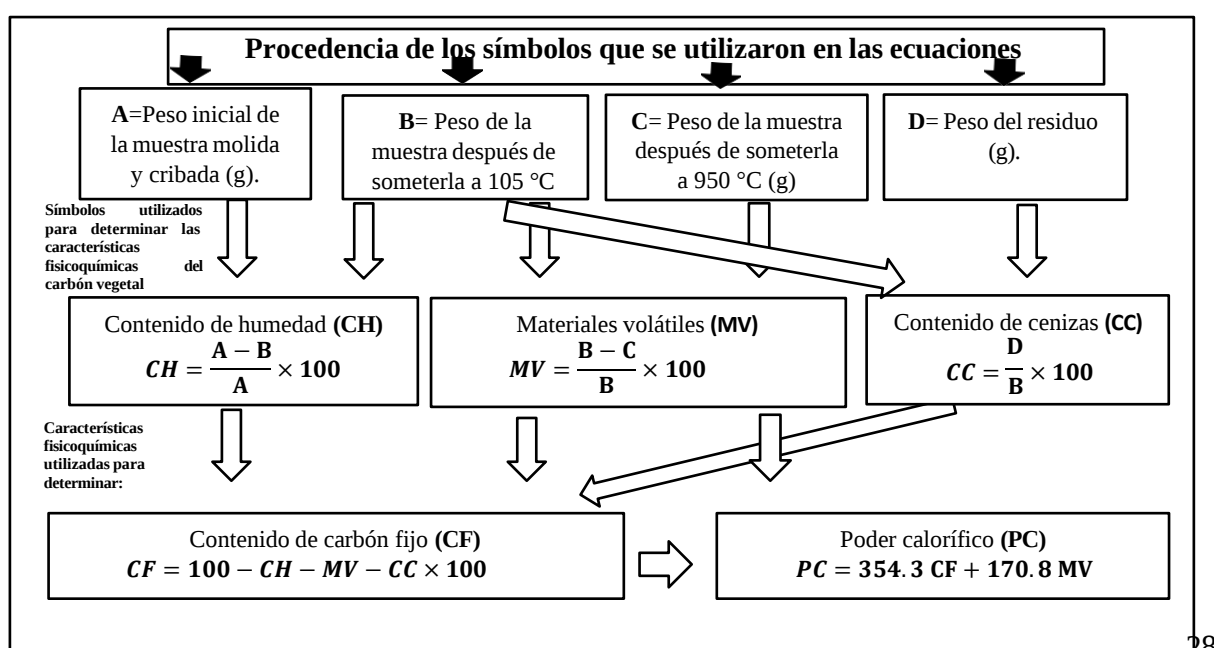
Procedencia de muestras que permitieron determinar la calidad del carbón vegetal

Muestras de carbón vegetal	Cantidad (g)	Especies	Repeticiones del ensayo
Del ensayo que se realizó para	4	<i>V. macracantha</i>	Por cada gramo de carbón vegetal,
estimar la productividad del	4	<i>N. pallida</i>	se realizó un ensayo como lo
carbón vegetal, se obtuvo las			determina la norma ASTM
muestras de ambas especies			D1762–84 (ASTM, 2007)

Nota. La tabla detalla la procedencia de las muestras para la realización del ensayo como lo determina la normal ASTM D1762–84 (ASTM, 2007).

Figura 4

Flujograma de la procedencia de los símbolos y su utilización en las ecuaciones para estimar las principales cualidades fisicoquímicas del carbón vegetal



- **Contenido de humedad (CH).** El porcentaje de humedad se estimó aplicando el método propuesto en la normal ASTM D1762–84 (ASTM, 2007):

$$CH = \frac{A - B}{A} \times 100 \quad \text{-----} (1)$$

A=Peso inicial de la muestra molida y cribada (g). Se trituro la muestra de carbón vegetal, posteriormente con un tamiz N.º 20 (850 µm) se seleccionó 1 g de carbón triturado.

B= Peso de la muestra (g) después de someterla a 105 °C. El gramo de carbón triturado se colocó en crisoles (puesto a una mufla de 750 °C por diez minutos y enfriados por 1 hora a temperatura ambiente) y fueron llevados a la mufla por dos horas, con una temperatura de 105 °C, luego se colocaron en una campana decantadora a temperatura ambiente por 1 hora, luego fueron pesados en la balanza analítica.

- **Materiales volátiles (MV).** Según las indicaciones mencionadas en la norma ASTM D1762–84 (ASTM, 2007), se determinó los materiales volátiles del carbón vegetal:

$$MV = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad \text{-----} (2)$$

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

C= Peso de la muestra (g) después de someterla a 950 °C. Las muestras utilizadas en el ensayo del contenido de humedad, fueron ubicadas en crisoles y llevadas a la mufla abierta con una temperatura de 300 °C por dos minutos, luego se ubicaron en el borde de la mufla a 500 °C por tres minutos, posteriormente se situaron en la mufla cerrada a 950 °C por 6 minutos, finalmente se refrescaron a temperatura ambiente por una hora y se pesaron en la balanza analítica.

- **Contenido de cenizas (CC).** Se determino mediante la metodología propuesta en la norma ASTM D1762–84 (ASTM, 2007).

$$CC = \frac{D}{B} \times 100 \quad \text{—————(3)}$$

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

D= Peso del residuo (g). La muestra del contenido de humedad y contenido de materiales volátiles se colocó en un crisol, posteriormente se ubicó en la mufla a 750 °C por seis horas, luego se enfrió en campana decantadora por una hora y se pesaron en la balanza analítica (si la pérdida del peso de la muestra no es inferior a los 0,0005 g se repetirá el ensayo).

- **Contenido de carbón fijo (CF).** Para determinar la cantidad de carbón fijo, se utilizaron los datos obtenidos de la cantidad de humedad, materiales volátiles y cantidad de cenizas, se utilizó las ecuación empleada por; De la Cruz et al. (2020) en un estudio de caracterización energética del carbón vegetal.

$$CF = 100 - CH - MV - CC \times 100 \quad \text{————— (4)}$$

CH= Contenido de humedad (%)

MV= Material volátil

CC= Contenido de cenizas (%)

- **Valor calorífico (PC).** Para calcular el poder calorífico, se empleó la ecuación empleada por De la Cruz et al. (2020), también los datos obtenidos de la cantidad de carbón fijo y la cantidad de materiales volátiles.

$$PC = 354.3 CF + 170.8 MV \quad (5)$$

CF= Carbón fijo

MV= Material volátil

3.3.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para obtener los datos de las variables de rendimiento (rendimiento de carbón vegetal en porcentaje) y calidad del carbón vegetal (contenido de humedad, materiales volátiles, contenido de cenizas, contenido de carbón fijo, valor calorífico) de las especies estudiadas se utilizó una hoja de registro que describía el diseño estadístico empleado.

3.4. Hipótesis

H1, El rendimiento y calidad del carbón vegetal de *V. macracantha* es superior estadísticamente, frente al carbón obtenido de *N. pallida*.

H0, El rendimiento y calidad del carbón vegetal de *V. macracantha* no es superior estadísticamente, frente al carbón obtenido de *N. pallida*.

3.5. Operacionalización de variables

Tabla 6

Operacionalización de variables de la investigación

Variable independiente	Variables dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Masa seca de madera de	Rendimiento	Masa seca del carbón vegetal		Ficha de recolección de datos,

Variable independiente	Variables dependientes	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
faique algarrobo	y	Masa seca de la madera	Rendimiento del carbón vegetal en porcentaje Contenido de humedad	motosierra, balanza analítica, mufla, machete, sierra, cámara fotográfica
Carbón vegetal obtenido de faique y algarrobo	Calidad del carbón	Protocolos propuestos en la normal ASTM D1762–84: (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2007),	Materiales volátiles Contenido de cenizas Contenido de carbón fijo Poder calorífico	Ficha de recolección de datos, balanza analítica, mufla, de crisoles, tamiz N.º 20 (850 µm), campana decantadora, de cámara fotográfica

3.6. Procedimientos de recolección de datos

En rendimiento de carbón vegetal, los datos fueron recolectados mediante una hoja de registro, en la que se anotó el peso de la masa seca del carbón vegetal (g) y la masa seca de las maderas antes de ser carbonizadas (g). De la misma forma en calidad del carbón vegetal, en una hoja de registro se anotó el peso inicial de la muestra de carbón vegetal molida y cribada (g), peso de la muestra después de someterla a 105 °C (g), peso de la muestra después de someterla a 950 °C (g) y peso del residuo (g). Para la obtención del peso de las muestras se utilizó una balanza analítica del laboratorio de Tecnología de la Madera de la Universidad Nacional Autónoma de Chota.

3.7. Procedimientos de análisis de datos

En el procedimiento de análisis de datos, se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA), se empleó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y homogeneidad de varianza de Cochran, los valores de las variables estudiadas (rendimiento del carbón vegetal, cantidad de humedad,

materiales volátiles, cantidad de cenizas, cantidad de carbón fijo y valor calorífico) cumplieron con los supuestos de ambas pruebas estadísticas mencionadas. Para comparar las medias se utilizó la prueba t de Student en muestras independientes, dado que se compararon solo dos medias de dos grupos diferentes (*V. macracantha* y *N. pallida*). La prueba fue a base de 95% de probabilidad ($p < 0,05$), el proceso se realizó en el programa estadístico IBM SPSS Statistics (SPSS BM, 2020).

3.8. Materiales y equipos

3.8.1. Motosierra

Se utilizó para talar el árbol con características de cosecha de la especie de *V. macracantha* y *N. pallida*, también se utilizó para extraer las probetas de madera (60 cm de largo por 5 cm ancho y 5 cm espesor) de ambas especies.

3.8.2. Machete

El machete se utilizó para acondicionar el árbol talado, para la extracción de las 10 probetas de madera.

3.8.3. Sierra

La sierra se utilizó para acondicionar las muestras de madera de 5 cm x 5 cm x 5 cm, después de haber sido expuesta a temperatura ambiente por tres meses.

3.8.4. Balanza analítica

La balanza analítica se utilizó en todo el proceso del ensayo; en rendimiento del carbón vegetal, se determinó el peso de las muestras de madera y del carbón vegetal. En calidad de carbón vegetal, permitió aplicar los protocolos de la norma ASTM D1762–84.

3.8.5. Mortero

En el mortero se prepararon las muestras de carbón vegetal (demolición de carbón), para ejecutar el procedimiento de determinación la calidad del carbón vegetal estipulado en la de la norma ASTM D1762–84.

3.8.6. Mufla

En la mufla se realizó la carbonización de las muestras de madera para determinar el rendimiento del carbón vegetal; de la misma forma, permitió realizar las carbonizaciones para la calidad del carbón vegetal estipuladas en norma ASTM D1762–84.

3.8.7. Tamiz N.º 20 (850 µm)

El tamiz permitió obtener carbón vegetal separado de partículas gruesas, para ejecutar el procedimiento de determinación de calidad del carbón vegetal estipulado en norma ASTM D1762–84.

3.8.8. Crisoles

En rendimiento de carbón vegetal, los crisoles se utilizaron para carbonizar las muestras de madera en la mufla, y en calidad de carbón vegetal, para aplicar los protocolos de carbonización estipulados en la norma ASTM D1762–84.

3.8.9. Pinzas de laboratorio,

Con las pinzas de laboratorio se retiraron y colocaron las muestras de carbón vegetal de la mufla, de acuerdo con el procedimiento plasmado en la investigación.

3.8.10. Cámara fotográfica

Con la cámara fotográfica, se recolectaron fotografías del todo el proceso de la investigación.

3.9. Aspectos éticos

Para la extracción del material biológico (muestras de madera) se tramito permiso en el SERFOR (RD N.º D000133-2024-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF), también se pedio permiso a los propietarios de los predios de donde se extrajeron las muestras de las especies estudiadas, para talar los árboles se aplicaron protocolos que generaron menos impactos en los árboles y el ambiente. Para la utilización del laboratorio se solicitó permiso cumpliendo con lo estipulado en el Texto único de Procedimiento Administrativo (TUPA) de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH), los equipos del laboratorio se manipularán cumpliendo los protocolos estipulados en el laboratorio; los datos del estudio no fueron alterados por ningún motivo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción de resultados en el indicador de rendimiento del carbón vegetal

4.1.1. Rendimiento del carbón vegetal

Según la prueba de t de Student al 95% de probabilidad, los datos de las dos especies no presento diferencia estadística significativa (Tabla 6). La *V. macracantha* mostró una media de 21,77% de rendimiento de carbón vegetal, su desviación estándar fue de 8,93, y el error promedio de 4,47; en cambio la especie *N. pallida* mostró un promedio de 18,05%, su desviación estándar fue de 4,34 y el error promedio de 2,17.

Tabla 7

Prueba de t de Student para la variable de rendimiento de carbón vegetal

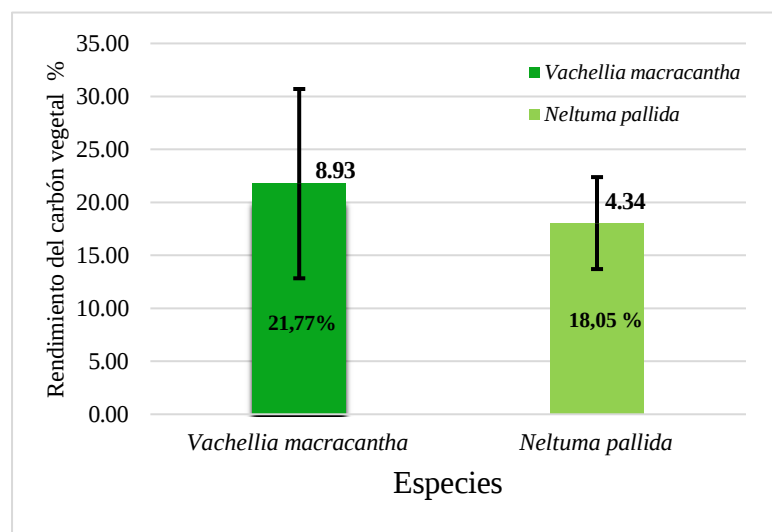
Especies	Media (%)	Desv. estándar	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	21,77	8,93	4,47	0,48 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	18,05	4,34	2,17		

Nota. ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

En la Figura 5 se constata que los resultados de rendimiento de carbón vegetal solo estuvieron diferenciados por 3,72 %. La *V. macracantha* obtuvo un rendimiento de 21,77%, en tanto la *N. pallida* obtuvo 18,05%, su desviación estándar fue de 8,93 y 4,34 respectivamente. Los resultados demuestran que a mayor rendimiento de carbón vegetal; mayor desviación estándar (Figura 5), Ochoa et al. (2024) menciona, que cuando los valores numéricos de la desviación estándar son mayores, demuestran que los datos de la media están más dispersos. De lo mencionado se puede concluir que los datos de la media de la especie *V. macracantha* están más dispensor que de la especie *N. pallida*.

Figura 5

Desviación estándar y medias en la variable de rendimiento de carbón vegetal



Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.2. Descripción de resultados en los indicadores de la calidad del carbón vegetal

4.2.1. Contenido de humedad

Según la prueba t de Student, la variable de contenido de humedad no presento diferencia estadística significativa al 95% de probabilidad. A pesar de que la diferencia de sus medias fue notable (Tabla 7). La *V. macracantha* presento un 16,63% de contenido de humedad y la especie de *N. pallida* 8,86% de contenido de humedad. La desviación estándar fue de 7,30 y 5,69 respectivamente. El error promedio fue de 3,65 (*V. macracantha*) y de 2,85 (*N. pallida*).

Tabla 8

Prueba t de Student para la variable de contenido de humedad

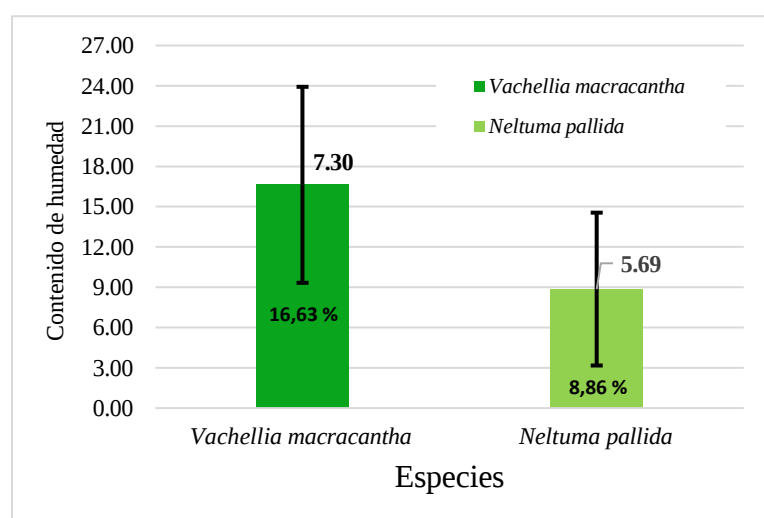
Especies	Media (%)	Desv. estándar	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	16,63	7,30	3,65	0,14 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	8,86	5,69	2,85		

Nota, ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

En la Figura 6 se observa que la *V. macracantha* casi duplica en contenido de humedad a la *N. pallida*, los resultados fueron 16,63% y 8,86% de forma respectiva. La desviación estándar que presentan ambas especies solo está diferenciados por un valor numérico de 1,61, pero basándose en lo propuesto por Ochoa et al. (2024), se puede concluir que ambas especies casi presentan la misma dispersión de los datos en la media, pero siendo menos disperso los datos de datos de la *N. pallida*.

Figura 6

Desviación estándar y medias de la variable de contenido de humedad



Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.2.2. Materiales volátiles

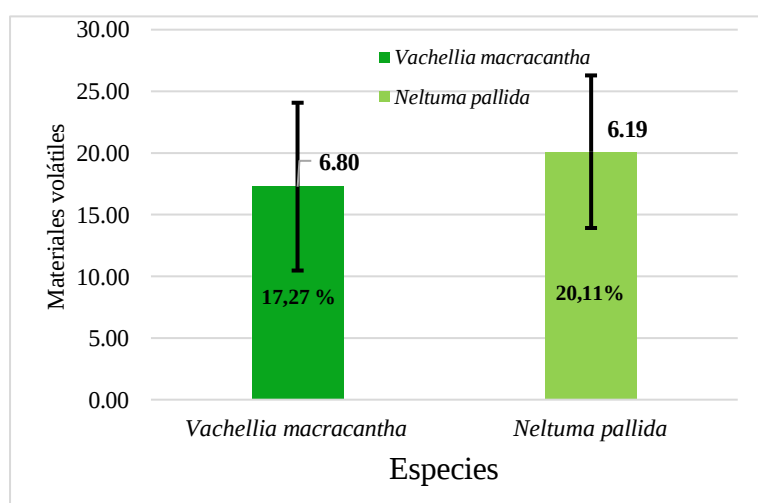
La prueba t de Student, para el contenido de materiales volátiles en el carbón vegetal de ambas especies, demuestra que no existe significancia estadística al 95 % de confianza. En la *V. macracantha* el carbón vegetal contenía 17,27% de materiales volátiles, en cambio en la *N. pallida* el contenido fue de 20,11% (Tabla 8). Así mismo, la *V. macracantha* presento una desviación estándar de 6,80 y un error promedio de 3,40: la *N. pallida* mostró una desviación estándar de 6,19 y un error promedio de 3,09.

Tabla 9*Prueba t de Student para la variable de materiales volátiles*

Especies	Media (%)	Desv. estándar	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	17,27	6,80	3,40	0,56 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	20,11	6,19	3,09		

Nota. ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

La Figura 7 muestra que el carbón vegetal producido de la especie *N. pallida* obtuvo mayor porcentaje de materiales volátiles (20,11%) y menor desviación estándar (6,19) en cambio la *V. macracantha* obtuvo menor porcentaje de materiales volátiles (17,27) y mayor desviación estándar (6,80) (Figura 7). Lo que indica que la especie de *V. macracantha* produce un carbón vegetal con menor contenido de materiales volátiles en comparación de la *N. pallida*. Así mismo la Figura muestra que la dispersión de los datos de la media en ambas especies es casi similar, dado que la desviación estándar solo se diferencia por un valor numérico de 0,61.

Figura 7*Desviación estándar y medias de la variable de materiales volátiles*

Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.2.3. Contenido de cenizas

En esta variable la prueba t de Student, demostró que los datos de ambas especies no presentan diferencias estadísticas significativas al 95 % de probabilidad (Tabla 9). La *V. macracantha* presento una media 0,0525% de contenido de cenizas en el carbón vegetal, la desviación estándar fue de 0,029 y el error promedio fue de 0,014. En cambio, la *N. pallida* mostró una media de 0,0500 % de contenido de cenizas, un valor de 0,024 de desviación estándar y 0,012 de error promedio.

Tabla 10

Prueba t de Student para la variable de contenido de cenizas

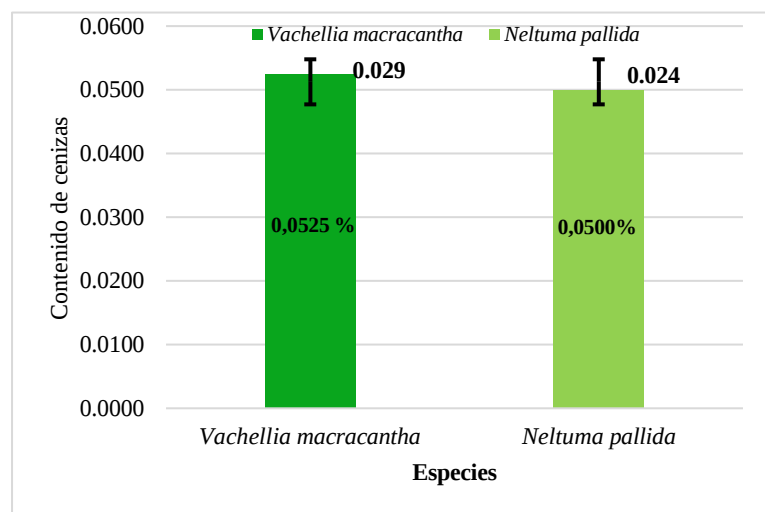
Especies	Media (%)	Desv. estándar	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	0,0525	0,029	0,014	0,89 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	0,0500	0,024	0,012		

Nota. ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

En la Figura 8 muestra que los resultados fueron casi similares en contenido de cenizas y en el valor de la desviación estándar. Se observa que ambas especies producen carbón vegetal con bajo porcentaje de contenido de cenizas dado que la *V. macracantha* obtuvo 0,0525% de contenido de cenizas y la *N. pallida* 0,0500%. La diferencia entre ambas especies solo fue de 0,0025%. De la misma manera la desviación estándar de ambas especies solo lo difiere un valor de numérico de 0,005. La *V. macracantha* obtuvo un valor de 0,029 y la *N. pallida* un valor de 0,024. Ochoa et al. (2024) menciona: cuando el valor de la desviación estándar es cercano a cero existe una mínima variación en los datos de experimento, considerando lo mencionado se concluye que los datos de la media de ambas especies presentan una mínima dispersión.

Figura 8

Desviación estándar y medias de la variable de contenido de cenizas



Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.2.4. Contenido de carbón fijo

Según la prueba de t de Student al 95% de probabilidad, los datos de las dos especies en la variable en mención no presento diferencia estadística significativa (Tabla 10). La *V. macracantha* mostró una media de 66,05% de contenido de carbón fijo, su desviación estándar fue de 2,42, y el error promedio de 1,21; en cambio la especie *N. pallida* mostró una media de 70,98%, su desviación estándar fue de 4,05 y el error promedio de 2,03.

Tabla 11

Prueba t de Student para la variable de contenido de carbón fijo

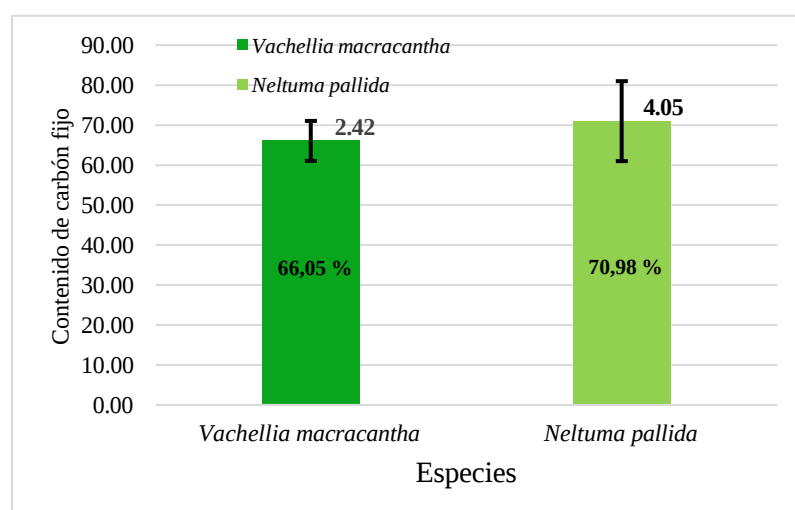
Especies	Media (%)	Desv. Desviación	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	66,05	2,42	1,21	0,08 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	70,98	4,05	2,03		

Nota. ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

En la Figura 9 se observa que la *N. pallida* fue superior en contenido de carbón fijo con un valor de 70,98%. En cambio, *V. macracantha* solo obtuvo un valor de 66,05% de carbón fijo. De lo mencionado se concluye que el carbón vegetal de la *N. pallida* contiene mayor contenido de carbón fijo. También se observa que la desviación estándar de la *N. pallida* fue superior, presento un valor numérico de 4,05; en tanto la *V. macracantha* presento 2,42 de desviación estándar. Si no basamos en lo propuesto por Ochoa et al. (2024) se concluye que los datos de la *V. macracantha* fueron menos dispersos dado que su valor numérico es menor (2,42).

Figura 9

Desviación estándar y medias de la variable de contenido de carbón fijo



Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.2.5. Poder calorífico

La prueba t de Student demostró que el poder calorífico de las dos especies, no presentaron significancia estadística al 95 % de confianza. La media en la *V. macracantha* fue de 6834,47 Kcal/kg y de 7061,11 Kcal/kg en la *N. pallida* (Tabla 11). La desviación estándar fue de 111,87 y de 189,60 respectivamente. El error promedio en la *V. macracantha* fue de 55,93 y de 94,80 en la *N. pallida*.

Tabla 12

Prueba t de Student para la variable de poder calorífico

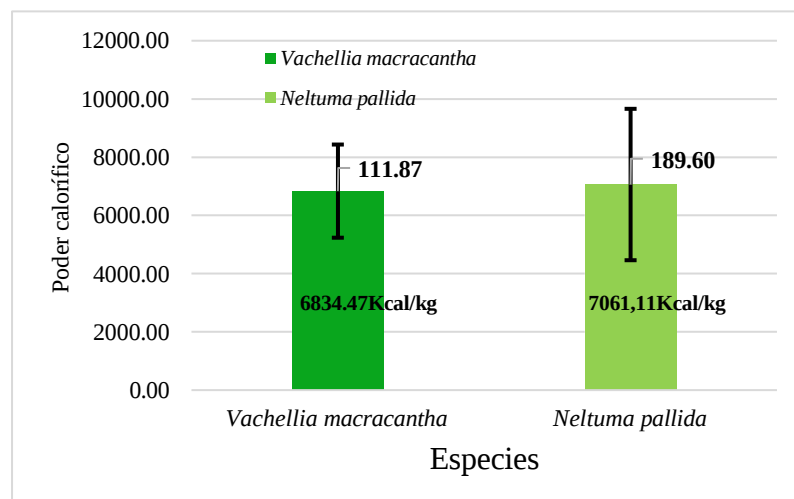
Especies	Media Kcal/kg	Desv. estándar	Error promedio	Significancia	Grados de libertad
<i>Vachellia macracantha</i>	6834,47	111,87	55,93	0,09 ^{NS}	6
<i>Neltuma pallida</i>	7061,11	189,60	94,80		

Nota. ^{NS} Sin significancia estadística al 95 % de confianza según la prueba de t.

En la Figura 10 se observa que el carbón vegetal de la especie de *N. pallida*, presentó mayor poder calorífico con un valor 7061,11 Kcal/kg. En cambio, la *V. macracantha* presentó un poder calórico de 6834,47 Kcal/kg. Ambas especies presentan un valor elevado de desviación estándar, se observa que los valores superan los 100 (Figura 10). La *N. pallida* presentó un valor de 189,60 y *V. macracantha* un valor de 111,87. Basándose en lo propuesto por Ochoa et al. (2024), se concluye que los resultados estuvieron muy dispersos.

Figura 10

Desviación estándar y medias de la variable de poder calorífico



Nota. La desviación estándar y medias fueron extraídas de la prueba de t.

4.3. Contrastación de hipótesis

Luego de haber sometido los datos de los indicadores del carbón vegetal de la *V. macracantha* y la *N. pallida*, a la prueba estadística t de Student; se concluye, que ninguno de los indicadores presenta diferencia estadística significativa al 95 % de confianza, La prueba estadística evidencia que *V. macracantha* obtuvo mejores resultados en rendimiento del carbón vegetal; En cambio, la *N. pallida* registró valores superiores en contenido de humedad, materiales volátiles, contenido de cenizas, carbón fijo y poder calorífico . Por lo mencionado se acepta la hipótesis nula.

H0, El rendimiento y calidad del carbón vegetal de *V. macracantha* no es superior estadísticamente, frente al carbón obtenido de *N. pallida*.

4.4. Discusión de resultados del indicador de rendimiento del carbón vegetal

4.4.1. Rendimiento del carbón vegetal

En la tabla 6 se evidencia que el carbón producido a partir de *V. macracantha* presentó un porcentaje de rendimiento superior al obtenido con *N. pallida*. La diferencia en estos resultados se debe probablemente al contenido de humedad de la madera en ambas especies (Chandrasekaran et al., 2021). Al respecto García-Quezada et al. (2023) menciona que es necesario que las especies a carbonizar contengan una humedad menor al 30%, para obtener carbón vegetal de mejor calidad. Dado a la similitud del contenido de humedad en ambas especies, no es notable la influencia que tuvo en el rendimiento del carbón vegetal de las especies en estudio.

Los hallazgos de los resultados de las dos especies en estudio (21,77% *V. macracantha* y 18,05% *N. pallida*), difieren a los de Chandrasekaran et al. (2021), ellos obtuvieron un

rendimiento de 36,18 % *juliflora* y de 41,15 % en *Casuarina equisetifolia*, con una temperatura de carbonización de 400 °C. Esta diferencia se debe probablemente a la temperatura de carbonización, dado que en el estudio se empleó una temperatura de 450 °C (Figura 3). Al respecto Prías et al. (2011) menciona; cuando las temperaturas de carbonización son bajas y poco tiempo de carbonización se obtiene mejor rendimiento, pero si las temperatura son altas el rendimiento es menor. De lo mencionado se puede concluir que la temperatura de carbonización no es el sustento para justificar la diferencia de los resultados antes mencionados.

Los argumentos de Prías et al. (2011) sugieren que un menor tiempo de carbonización pudo haber influido en los resultados de Chandrasekaran et al. (2021). Sin embargo, la diferencia real en el tiempo de carbonización fue mínima; 300 minutos en el estudio de Chandrasekaran et al. (2021), frente a 315 minutos en el presente estudio, (Figura 3). Por lo tanto, esta diferencia de 15 minutos no es suficiente para explicar la variación en el rendimiento de carbón vegetal entre ambos estudios (Tabla 6).

Por otra parte, los resultados también difieren a los de Kumar & Chandrashekar (2016), que obtuvieron 34% con una temperatura de 800 °C en la especie *Prosopis juliflora*. De la misma forma Kiflie et al. (2021), en la misma especie obtuvieron un rendimiento de 77% con una temperatura de 300 a 600 °C, en un tiempo de 60 minutos entre 180 minutos y en cambio en el estudio con una temperatura de pirolisis 450 °C con un intervalo de tiempo de 315 minutos se obtuvo un de 21, 77% en la *V. macracantha* y 18,05% en la *Neltuma pallida*.

En estos hallazgos coinciden con los argumentos de por Prías et al. (2011), cuando las temperaturas de carbonización son bajas y poco tiempo de carbonización se obtiene mejor

rendimiento, pero si las temperaturas son altas el rendimiento es menor. Lo bajos rendimiento de carbón vegetal del estudio se debe a que el tiempo de carbonización fue mayor en comparación a los de Kiflie et al. (2021).

4.5. Discusión de resultados en los indicadores de la calidad del carbón vegetal

4.5.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad que presentaron ambas especies (Tabla 7) no superan los estándares de calidad de la Norma europea EN 1860-2 (Instituto Esloveno de Normalización, 2018), ni la Norma Alemana DIN 51749 (Deutsches Institut für Normung, 1985) (Tabla 4), la *N. pallida* es la especie que su valor se aproxima al estándar de ambas normas, dado que su contenido de humedad fue de 8,86%, en cambio de la *V. macracantha* fue de 16,63%.

La diferencia del contenido de humedad del carbón vegetal en ambas especies (Tabla 7) se debe probablemente a la cantidad de humedad que contenían las muestras antes de ser carbonizadas. En el estudio la *V. macracantha* contenía 10,01% de humedad y la *N. pallida* 9,5%. A lo argumentado, García-Quezada et al. (2023) menciona que la humedad menor al 30% permite producir carbón vegetal de mejor calidad. Canal et al. (2020) también menciona que la calidad carbón vegetal se ve influenciado por el porcentaje de humedad. Por lo mencionado se puede concluir que la diferencia del contenido de humedad de las muestras antes de ser carbonizadas puede haber influenciado en los resultados (Tabla 7).

Los resultados de la especie *N. pallida* (8,86%), son similares a los Feleke et al. (2020), ellos obtuvieron 8,55% de contenido de humedad en la especie *Acacia melífera*. De la misma forma son próximos a los de Ramos (2018), obtuvo 10, 45% de humedad en la especie de *Mimosa tenuiflora*. Esta similitud se debe probablemente a la composición química de las muestras que

fueron carbonizadas, dado que las tres especies integran el grupo de las leguminosas. Por lo que son similares la celulosa, hemicelulosa y lignina (Salazar-Herrera et al., 2023). También posiblemente influyó la similitud de las características de su madera que tienen las leguminosas (Montaño-Arias et al., 2016).

Por otra parte, los resultados del estudio son diferentes a los Feleke et al. (2020) ellos encontraron que el carbón vegetal producido de especie *Prosopis juliflora* contenía 6,7% de humedad, la *Acacia alpina* contenía 5,89% humedad y la *Oxytenanthera abyssinica* contenía una humedad de 5,2%. De la misma forma Carrillo et al. (2013) reportó que el carbón vegetal producido de *Prosopis laevigata* contenía 3,6% humedad y el de la especie de *Ebenopsis ebano* contenía 3,5% de humedad. Estos hallazgos son inferiores a los del estudio, en el ensayo se evidencio que el carbón vegetal producido de *N. pallida* contenía 8,86% de humedad y la *V. macracantha* 16,63% de humedad.

La diferencia de estos resultados se debe probablemente a los procesos con los que se realizaron los experimentos Feleke et al. (2020), carbonizaron sus muestras en un horno que alcanzó hasta los 500 °C. Por otro parte Carrillo et al. (2013) ejecuto su ensayo en un horno tipo fosa en donde se carbonizaron su muestras hasta 520 °C. En cambio, en el estudio se carbonizaron las muestras en una mufla que se alcanzaron una temperatura de 450 °C. Al respecto De la Cruz et al. (2020) menciona que las variaciones en las características del carbón vegetal depende de los procesos en el que se producen.

4.5.2. Materiales volátiles

Si comparamos los resultados de ambas especies (Tabla 8) con la Norma europea EN 1860-2 y Norma alemana DIN 51749 (Tabla 4), se evidencia que superan los estándares en materiales

volátiles, la *V. macracantha* obtuvo 17,27% de materiales volátiles y la *N. pallida* 20,11%. Los valores de las normas mencionadas tienen como estándar en contenido de materiales volátiles valores de 9% y 16% respectivamente. Evidenciándose que los resultados de la *V. macracantha*, se aproxima al valor de la norma alemana DIN 51749. Al respecto Pereira et al. (2012), menciona que los valores altos de materiales volátiles reducen los niveles de carbono fijo; de lo mencionado se concluye que la *V. macracantha* presenta mayor cantidad de carbón fijo que la *N. pallida*.

Los resultados de la especie *N. pallida* (20,11%), son semejantes a los de Feleke et al. (2020), ellos obtuvieron valores de 20,43% en la especie de *Arundinaria alpina*, 21,82% en la *Acacia melífera*, 23,09% *Prosopis juliflora* y 14,29% en *Oxytenanthera abyssinica*, los investigadores concluyeron que la diferencia de los resultados se debe al proceso de precarburaación y poscarburaación. En su ensayo los investigadores emplearon una temperatura de 650°C por 48 horas, en cambio en el estudio se llegó hasta una temperatura de 450°C en 5 horas más 15 minutos. La similitud en los resultados se debe a características de la madera que presenta la familia de las leguminosas (Montaño et al., 2013), por ello más resalta la proximidad de los datos en la *Acacia Melífera* con la *N. pallida*.

En los resultados de Feleke et al. (2020) evidencian que la especie *Oxytenanthera abyssinica* (14,29%) obtuvo el menor porcentaje de materiales volátiles. Esto se debe probablemente a las propias características propias de madera que mantienen cada una de las especies. A lo mencionado Braadbaart & Poole (2008), determinaron que las especies mantienen sus características cualitativas de la madera cuando ya son carbón vegetal. También pueda haber influenciado el lugar de procedencia de las muestras y el entorno en el que se desarrollan,

Fuentes et al., 2006, menciona que los lugares en que el crecen las especies generan un efecto significativo en las características del carbón vegetal.

De la misma forma Kumar & Chandrashekar (2016) encontraron que el carbón vegetal de *Prosopis juliflora*, contenía 66,6% de materiales volátiles, con una temperatura de carbonización de 102 °C por 8 horas, Kiflie et al. (2021), determinaron que la *Prosopis juliflora*, contenía 99% de contenido de materiales volátiles con una temperatura de carbonización de 300 °C y de 56,58% con una temperatura de 600 °C por 3 horas, mientras que Carrillo et al. (2013), reportó valores de 22,8 % en la *Prosopis laevigata* y 24,9 en la *Ebenopsis ebano* en 152 horas de carbonización, concluyó que a mayor temperatura menor cantidad de materiales volátiles y a la vez menor rendimiento del carbón vegetal.

Los resultados de los investigadores antes mencionados evidencian que fueron superiores a los del estudio (Tabla 8), probablemente se debe a que el estudio las variables fueron controladas dado que el ensayo se desarrolló en laboratorio, al respecto Bautista Vargas et al. (2017), investigaron la calidad del carbón vegetal en diferentes partes de un horno y encontraron que el carbón vegetal producido en horno en la parte superior presenta mejor calidad. Bustamante et al. (2017) mencionan que las temperaturas elevadas aumentan el contenido de carbón fijo, lo mencionado por los investigadores puede haber influenciado en la diferencia de los resultados con los de investigadores (Figura 3).

Otro de los sustentos a los resultados puede ser la diferencia de la madera, a lo argumentado Pereira et al. (2012) sustenta que la calidad de la madera determina la calidad del carbón vegetal. Por otra parte Bustamante-García et al. (2013), mencionan cuando los materiales volátiles se presentan en altas cantidades, evidencian que la carbonización ha sido heterogénea

con bajas temperaturas, lo argumentado evidencia que las altas temperaturas disminuyen la cantidad de materiales volátiles (De la Cruz et al., 2020).

4.5.3. Contenido de cenizas

Los resultados de ambas especies (Tabla 9) superan los estándares de las Norma europea EN 1860-2 y Norma alemana DIN 51749. La *V. macracantha* presentó 0,0525% de contenido de cenizas y el *N. pallida* 0,0500%. Los valores obtenidos demuestran que el carbón vegetal producido de ambas especies presenta un bajo contenido de cenizas, Jayanti et al. (2007) menciona que la cantidad de cenizas puede impedir la combustión del carbón, debido a que los altos contenidos de cenizas impiden la oxidación del carbón vegetal. Por lo que un carbón vegetal con bajos contenido de cenizas es de mejor calidad (Perdomo et al., 2023).

Los resultados del estudio (Tabla 9) difiere a los de Feleke et al. (2020) ellos encontraron valores de contenido de humedad de 18% en la *Oxytenanthera abyssinica*, 9,5% en la *Arundinaria alpina*, 14,47% en la *Acacia melífera* y 5,16% en *Prosopis juliflora*, de la misma forma a los de Ramos, (2018) obteniendo valores de 1,13% *Mimosa tenuiflora* y de 1,29% *Prosopis juliflora*. En lo argumentado, se evidencia que los resultados de Feleke et al. (2020) son más distantes a los del estudio. Esto se debe probablemente al método de carbonización que utilizo, en su estudio las muestras fueron molidas posteriormente se elaboraron en briquetas de carbón vegetal. En cambio Ramos, (2018), su estudio lo realizó con muestras de madera y lo desarrollo en laboratorio.

De la misma forma los resultados del estudio son diferentes a los de Bautista et al. (2020); quienes encontraron que el carbón vegetal de la especie de *Ziziphus joazeiro* contenía 6,305% de humedad y de la especie *Prosopis juliflora* contenía 1,557%. También los resultados de

Ouder & Githiomi (2013) son distinto, dado reportaron valores de 2,34 en la especie *Prosopis juliflora* y 2,42 en las *Prosopis pallida* 2,42. Pyshyev et al. (2021) argumenta que el carbón vegetal producido en hornos tradicionales, su calidad es baja y también genera mayor pérdida de madera (Saniso et al., 2025). Drobniak et al., (2021) argumentan que las propiedades de la madera, la carbonización y condiciones producción influyen en la calidad del carbón vegetal.

Bautista et al. (2020) en su estudio emplearon muestras de madera extraídas de la parte comercial del tronco de las especies en estudio (*Ziziphus joazeiro* y *Prosopis juliflora*) y la carbonización lo realizaron en un horno de laboratorio con siguientes temperaturas; 150 °C durante 60 minutos, 200 °C durante 60 minutos, 250 °C durante 90 minutos, 350 °C durante 90 minutos y temperatura final de 450 °C. Este método es parecido al que se empleó en el estudio, dada que las muestras fueron extraídas de tronco de las dos especies en estudio (*V. macracantha* y el *N. pallida*) y se carbonizaron en mufla de laboratorio con intervalos de temperatura (Figura 3). De lo estipulado se esperaba que los resultados fueran similares, pero solo los de *P. juliflora* es más próximo al del estudio (Tabla 9).

Sus resultados de los investigadores Kumar & Chandrashekar (2016) y Carrillo et al. (2013), también son diferentes, dado que ellos encontraron valores de contenido de cenizas de 84% hasta 2,8%. Kumar & Chandrashekar (2016) evidenciaron que cuando la temperatura de pirolisis aumenta la cantidad de cenizas disminuye, se reportó 55% de contenido de cenizas con 800 °C de temperatura y 84% en 300°C de temperatura. Lo resultados de Carrillo et al, (2013), fueron de 2,8% en la *Prosopis laevigata* y 3,2% *Ebenopsis ebano*, su temperatura de carbonización fue de 458°C hasta 520°C. La influencia de la temperatura en los resultados de las dos investigaciones se evidencia que no influyó de manera significativa.

4.5.4. Contenido de carbón fijo

En esta variable las dos especies no superaron los estándares de la Norma europea EN 1860-2: $\leq 75\%$ (Instituto Esloveno de Normalización, 2018) ni de la Norma alemana DIN 51749: $\leq 80\%$ (Deutsches Institut für Normung, 1985). El contenido de carbón fijo fue de 66% en la *V. macracantha* y 70,98 en la *N. pallida*, evidenciado que el valor de la *N. pallida* fue el que más se aproximó. Esto se debe probablemente al contenido de humedad de las muestras de madera antes de ser carbonizadas la *N. pallida* contenía 9,5% y la *V. macracantha* 10,01%. A lo planteado, Canal et al., (2020) evidenciaron que el contenido de humedad de la madera disminuye el rendimiento energético y el carbón fijo.

Los hallazgos de la investigación difieren a los de Liu et al. (2022), ellos obtuvieron mayor contenido de carbón fijo, empleando dos tiempos (5 °C/min, 50 °C/min) y tres temperaturas (600, 800, 1100 °C) de carbonización. Sus resultados fueron; *A. nilótica*: 83–97; 84–91%, *A. lebbeck*: 83–96; 86–92% y *L. leucocephala*: 76–89; 78–84%. Los resultados evidencian que mayor temperatura de pirolisis; mayor contenido de carbón fijo, dado que en el estudio la temperatura más alta de carbonización fue de 540 °C (Figura 3). En relación con lo descrito Yan et al. (2015) menciona que la temperatura mayor a 600 °C aumenta el contenido de carbón fijo pero redujo ligeramente el poder calorífico.

Por otro lado los valores del estudio (Tabla 10) son superiores a los de Feleke et al. (2020), ellos encontraron 62,31% de contenido de carbón fijo en la *Oxytenanthera abyssinica*, 64,23 % en la *Arundinaria Alpina*, 58,37% en la *Acacia Melífera* y 65,04% *Prosopis Juliflora*. Las diferencias en los hallazgos se deben probablemente a las cualidades fisicoquímicas de la madera que mantiene cada una de las especies (Pereira et al., 2013), Mencarelli et al. (2025), también mencionan que la calidad del carbón vegetal varía según la especie y el ensayo de

carbonización. Feleke et al. (2020) carbonizaron las muestras donde realizó por 48 horas en un horno con una temperatura de 650 °C. En cambio, en el estudio se empleó intervalos de temperatura desde 150 °C hasta 450 °C, por 5 horas con 15 minutos. De ello se puede concluir que el método de carbonización no influyó en el contenido de carbón fijo.

Si comparamos los resultados del estudio (Tabla 11), con los de Kumar & Chandrashekar (2016) y Carrillo et al. (2013), se evidencia que en algunas especies fueron superiores, Kumar & Chandrashekar (2016), en la especie de *Prosopis juliflora*, reportaron valores hasta de 95,5% y Carrillo et al. (2013) valores de 70,8% en la *Prosopis laevigata* y de 68,4 en el *Ebenopsis ebano*. Si analizamos la temperatura de carbonización de las dos investigaciones, identificamos: Kumar & Chandrashekar (2016), determinaron que cuando se aumenta la temperatura, la cantidad de carbón fijo aumenta. Con una temperatura de 400 °C obtuvieron 63% de carbón fijo, en cambio con una temperatura de 700 °C 95% de carbón fijo. Ello puede ser una suposición de bajo contenido de carbón fijo en el estudio (Tabla 10), dado que la temperatura de carbonización solo llegó a 450 °C (Figura 3).

Un valor alto de carbón fijo, es un indicador de menor contenido de humedad y de cenizas (Mencarelli et al., 2022), también es una señal de una buena carbonización (Satomi et al., 2025), e indica que está compuesto principalmente de carbono (Carnaje et al., 2018) y la especie tiene un alto contenido de lignina (Yuningsih et al., 2023). La cantidad de carbón fijo permite al carbón vegetal una combustión estable (Aich et al., 2020). Dado que la quema es más lenta, produciendo llamas más duraderas en el consumo del carbón vegetal (Setiawan et al., 2025).

4.5.5. Poder calorífico

En esta variable la *V. macracantha* obtuvo un valor de 6834,47 kcal/kg y la *N. pallida* 7061,11 kcal/kg (Tabla 11), estos resultados son superiores a los de Feleke et al. (2020), ellos evidenciaron que las especie de *Oxytenanthera abyssinica* contenía 6485 cal/gm, la *Arundinaria alpina* 6558 cal/gm, y la *Prosopis juliflora* 6225 cal/gm. De la misma forma, los valores de poder calorífico determinado por Curo (2019) son inferiores a los del estudio, el concluyo que el carbón vegetal de *Acacia Macracantha* contenía 6327,52, kcal/kg, la *Kageneckia lanceolata* 6302,62, kcal/kg y la *Escallonia Pendula* 6444 kcal/kg.

De lo descrito en el párrafo anterior, se puede evidenciar que lo resultados de la *V. macracantha* (6834,47 kcal/kg) y *Acacia macracantha*, son casi similares, la diferencia es solo de 506,95 kcal/kg; esto se debe a que son la misma especie, y las condiciones de análisis de las características químicas del carbón vegetal fueron realizadas en laboratorio, al respecto Ljagbemi et al. (2014) menciona que las características del carbón vegetal influye el tipo de proceso de carbonización y de la especie de madera de investigación. Cuando las especies presentan valor alto de poder calorífico, es un indicador que su madera contiene mayor contenido de carbón fijo (He et al., 2018), también los valores altos de poder calorífico permiten al carbón vegetal arder por más tiempo (Yusuf et al., 2023).

Belito et al. (2021), obtuvo los siguientes valores de poder calorífico; *Caesalpinia spinosa* 4708,5 kcal /kg, *Vachellia macracantha* 4391,9 kcal /kg y en la *Tecoma stans* 4051,2 kcal / kg, se evidencia que son inferiores a los del estudio (Tabla 11). Esta diferencia probablemente se debe al experimento que se utilizó, dado que el experimento se realizó mediante muestras de carbón vegetal: en cambio, en el estudio de Belito et al. (2021), lo realizaron directamente de muestras de madera, siguiendo lo estipulado en la Norma Estándar ASTM – D – 1110, 1956

(American Society for Testing and Materials [ASTM], 1956). De la misma forma los resultados (Tabla 11) difieren a lo de Ramos (2018), el reporto un valor de 4377,39 kcal /kg de poder calorífico en la *Mimosa tenuiflora* y 4322,41 kcal /kg en la *Prosopis juliflora*, para la obtención de los resultados utilizo la Norma ASTM E711-87, en cambio, en el estudio se utilizó la Norma ASTM D1762–84. Los métodos recomendados en ambas normas probablemente sea el sustento de la diferencia de los resultados. Si analizamos los resultados de Kumar & Chandrashekar (2016) (5019,12 kcal /kg *Prosopis juliflora*), que también fueron diferentes al estudio y a los de Ramos (2018): el utilizo un calorímetro para obtener el poder calorífico, ello probablemente determino los resultados.

Los hallazgos de Carrillo et al. (2013) y Ouder & Githiomi (2013) son superiores a los del estudio (Tabla 11). Carrillo et al. (2013) obtuvo 7222,94 kcal /kg en la *Prosopis laevigata* y 7099,69 kcal /kg en el *Ebenopsis ebano*, para la obtención del poder calorífico empleo un calorímetro adiabático modelo 1013-B. Ouder & Githiomi (2013) obtuvo 7,854 Kcal/kg en la *Prosopis juliflora* y 7,797 Kcal/kg en la *Prosopis pallida*, los resultados lo obtuvieron mediante la fórmula extraída de la Norma ASTM D 1762 – 84 (American Society for Testing and Materials [ASTM], 2001). La carbonización de sus muestras fueron en un horno convencional la temperatura máxima registrada fue de 520 °C.

En cambio, en el estudio el tiempo de carbonización fue de 5 h más 15 min y la temperatura máxima de carbonización fue de 450 °C, de lo que queda evidenciado a mayor tiempo y temperatura de carbonización mayor poder calorífico. Al respecto Ouder & Githiomi (2013), investigaron el tiempo y temperatura de carbonización en la especie *Prosopis juliflora*, concluyeron que a temperaturas elevadas y tiempo de carbonización prologados se obtiene mayor poder calorífico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Se determinó que el rendimiento del carbón vegetal de la especie *Vachellia macracantha* es de 21,77%; mientras que de *Neltuma pallida* es de 18,05 %.
- ✓ La investigación permitió determinar que el carbón vegetal de *Vachellia macracantha* contiene un 16,63 % de contenido de humedad, en tanto la *Neltuma pallida* 8,86 %.
- ✓ De la misma forma se determinó, que el carbono vegetal de *Vachellia macracantha* contiene 17,27 %, materiales volátiles, en tanto *Neltuma pallida* 20,11%.
- ✓ También se determinó que la *Vachellia macracantha* obtuvo 0,0525% de contenido de cenizas, en tanto la *Neltuma pallida* 0,0500%.
- ✓ En la variable de carbón fijo la *Vachellia macracantha* obtuvo 66,05 %, en tanto la *Neltuma pallida* 70,98 %
- ✓ La *Vachellia macracantha* obtuvo 6834,47 Kcal/kg de poder calorífico; en tanto *Neltuma pallida* 7061,11Kcal/kg.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda producir del carbón vegetal de ambas especies *Vachellia macracantha* y *Neltuma pallida*, debido a que los resultados del rendimiento de carbón vegetal de las dos especies fueron satisfactorios. También porque en los indicadores de materiales volátiles y contenido de cenizas, superan los estándares de las Norma Europea EN 1860-2 y Norma Alemana DIN 51749, y en los indicadores de contenido de humedad, contenido de carbón fijo y poder calorífico sus valores son cercanos a las normas en mención, lo que evidencia que las dos especies producen carbón vegetal de buena calidad.

- ✓ Se recomienda reforestar las especies de *Vachellia macracantha* y *Neltuma pallida*, con el objetivo de producir carbón vegetal. La reforestación se recomienda realizar en los lugares donde crecen óptimamente. Como respuesta al planteamiento del problema de la investigación, se recomienda a los pobladores de Lajas, Cochabamba, Huambos y Llama, reforestar con las especies mencionadas.

- ✓ Se recomienda realizar investigaciones para determinar zonas de crecimiento óptimo de las especies estudiadas, para que posteriormente mediante un proyecto de inversión pública o privada poder realizar una reforestación masiva. Para la producción de carbón vegetal en gran cantidad, a fin de generar un impacto económico deseable en los pobladores.

CAPITULO VI

REFERENCIAS

- Aich, S., Behera, D., Nandi, B. K., & Bhattacharya, S. (2020). Relationship between proximate analysis parameters and combustion behaviour of high ash Indian coal. *International Journal of Coal Science and Technology*, 7(4), 766–777. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00312-5>
- American Society for Testing and Materials. (1956). *Standard test method for solubility of wood in water (ASTM D 1110-56)*.
- American Society for Testing and Materials. (2001). Annual Book of American Society for Testing and Materials Standards. In ASTM (Vols. E177-E190a). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www3.epa.gov/hudson/pdf/sedc_2004-2005_append.pdf
- American Society for Testing and Materials. (2007). Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal D 1762 – 84. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 2, Issue 2). <https://doi.org/10.1520/D1762-84R07.2>
- Amilcar, S. (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 Leon]. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/3221>
- Aquino-Gonsales, L., Rodríguez-Ramires, J., Méndez-Lagunas, L. L., & Sandoval-torres, S. (2010). Evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*). *Madera y Bosques*, 16(2), 35–46. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712010000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Bautista, C., Oliveira, E., Calegari, L., Santos, A., Farias, P., & da Costa, D. (2020). Potencial energético do carvão do *Ziziphus joazeiro* (Martius) e da *Prosopis juliflora*. *Ciencia Florestal*, 30(3), 613–619. <https://doi.org/10.5902/198050985070>
- Bautista, U., Ruiz, F., Santiago, W., & Santiago, W. (2017). Evaluación de la calidad del Carbón Vegetal elaborado a partir de madera de Encino en horno de ladrillo. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 4(2), 127–137. https://rmae.voaxaca.tecnm.mx/wp-content/uploads/2020/11/4-RMAE_2017-29-Carbon-To-edit.pdf
- Belito, E. E., Alvarez, E. C., Alvarez, C. J., Laredo, R. I., Manrique-León, S., & Julian, E. (2021). Chemical Composition and Calorific Power of tree species in the Peruvian Andes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1893(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1742->

- Braadbaart, F., & Poole, I. (2008). Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. *Journal of Archaeological Science*, 35(9), 2434–2445. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.03.016>
- Burkart, A. E. (1976). A Monograph of the Genus *prosopis* (Leguminosae Subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold arboretum*, 57(3), 219–249. <https://doi.org/10.5962/p.185864>
- Burnette, R. (2013). Charcoal Production in 200-Liter Horizontal Drum Kilns Environmental Impact of Charcoal and Other Biomass Fuels. Copyright © ECHO, 1(76), 1–7. [https://www.echocommunity.org/resources/069529b4-0ce4-475c-99b8-326957e3afa7#:~:text=According to ATA%2C 200-liter,\(132 to 176 lbs.\)](https://www.echocommunity.org/resources/069529b4-0ce4-475c-99b8-326957e3afa7#:~:text=According to ATA%2C 200-liter,(132 to 176 lbs.))
- Bustamante-García, V., Carrillo-Parra, A., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Corral-Rivas, J. J., & Garza-Ocañas, F. (2013). Evaluation of a charcoal production process from forest residues of *Quercus sideroxyla* Humb., & Bonpl. in a Brazilian beehive kiln. *Industrial Crops and Products*, 42(1), 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.034>
- Bustamante, V., Carrillo, A., Prieto, J. Á., Corral-Rivas, J. J., & Hernández, J. C. (2017). Química de la biomasa vegetal y su efecto en el rendimiento durante la torrefacción: revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(38), 5–24. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v7i38.8>
- Camou, A., Ghilardi, A., Mwampamba, T., Serrano, M., Ortiz, T., Vega, E., Oyama, K., & Masera, O. (2014). Análisis de la producción de carbón vegetal en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México: implicaciones para una producción sustentable. *Investigación Ambiental*, 6(2), 127–138. <https://doi.org/2007-4492>
- Canal, W. D., Macedo, A. M., Figueiró, C. G., Oliveira, A. de C., Fialho, L. de F., & Barros, D. (2020). Impact of wood moisture in charcoal production and quality. *Floresta e Ambiente*, 27(1), 1–7. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.099917>
- Carnaje, N. P., Talagon, R. B., Peralta, J. P., Shah, K., & Paz-Ferreiro, J. (2018). Development and characterisation of charcoal briquettes from water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)-molasses blend. *PLoS ONE*, 13(11), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207135>
- Carrillo, A., Foroughbakhch, R., & Bustamante, 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://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.421>

- Carrillo, N., Hernández, A., & Castellanos, B. P. (2021). El comercio del carbón vegetal y su transitar hacia la bioeconomía en The charcoal trade and its transition to the bioeconomy in Mexico. *C3-Bioeconomy*, 2(2), 56–68. <https://doi.org/file:///C:/Users/hp/Downloads/13527-Texto%20del%20art%C3%ADculo-25905-1-10-20211217.pdf>
- Chandrasekaran, A., Subbiah, S., Bartocci, P., Yang, H., & Fantozzi, F. (2021). Carbonization using an Improved Natural Draft Retort Reactor in India: Comparison between the performance of two woody biomasses, *Prosopis juliflora* and *Casuarina equisetifolia*. *Fuel*, 285(21), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119095>
- Coronado, M. del C., Cueva, G. E., Gonzáles, H. E., & Carrasco, P. (2016). Obtención de carbón activado del endocarpio de shapaja (*Attalea phalerata*) procedente de la región San Martín, empleando un método físico. *Revista Forestal Del Perú*, 31(2), 90–103. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21704/rfp.v31i2.1030>
- Curo, I. (2019). Poder calorífico del carbón de madera de tres especies forestales - Distrito Mariscal Cáceres - Huancavelica [Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- De la Cruz, C., Herrera, J., Ortiz, I. A., Ríos, J. C., Rosales, R., & Carrillo, A. (2020). Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México. *Madera y Bosques*, 26(2), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621971>
- Deutsches Institut für Normung. (1985). *Grillholzkohle und Grillholzkohlebriketts; Anforderungen, Prüfung*. <https://www.dinmedia.de/en/standard/din-51749/2933110>
- Díaz, M., Gonsales, A., Sifuentes, D., & Gonzales, E. (2010). Vista de el carbón vegetal: alternativa de energía y productos químicos. *Xilema. La Molina*, 1(1), 95–103. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/xiu/article/view/813/837>
- Drobníak, A., Jelonek, Z., Mastalerz, M., & Jelonek, I. (2021). Atlas of Charcoal-Based Grilling Fuel Components. *Indiana Journal of Earth Sciences*, 3(Julio), 1–6. <https://doi.org/10.14434/ijes.v3i1.32559>
- Feleke, S., Haile, F., Genene, D., Yadeta, G., Tolessa, A., Tantu, T., Alemu, T., & Bekalu, Y. (2020). Production and Characterization of Charcoal Briquette from *Oxytenanthera abyssinica*, *Arundinaria alpina*, *Acacia melifera* and *Prosopis juliflora*. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 9(1), 16–21. <https://doi.org/10.31254/jsir.2020.9104>
- Fernando, P., Tarcísio, J., Akira, F., & Lino, A. L. (2001). Avaliação de clones de Eucalyptus para produção de carvão vegetal. *CERNE*, 7(2), 104–114. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74470210>

- Fiestas, J. E. (2021). *Producción, rendimiento y estudio del carbón vegetal de Algarrobo obtenido de plantaciones del bosque seco de UDEP* [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/5319/ING_2120.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fondo de Promoción del Desarrollo. (2008). *La tala dirigida y su relación con las tecnologías intermedias* (Issue 511). http://www.itto.int/files/user/pdf/PROJECT_REPORTS/PD233_Manual 2.pdf
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1985). *Industrial charcoal making* (1st ed.). FA, Forestry Department. <https://www.fao.org/3/x5555e/x5555e.pdf>
- Fuentes, A. C., Salas, D., & Recio, A. (2006). Valoración de la calidad del carbón vegetal de las zonas de la EFI “ empresa forestal Gran Piedra- Baconao.” *Revista Cubana de Química*, 18(1), 30–38. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543688006.pdf>
- García-Quezada, J., Musule-Lagunes, R., Wehenkel, C., Prieto-Ruíz, J. A., Núñez-Retana, V., & Carrillo-Parra, A. (2023). Effect of Firewood Moisture Content on Quality, Yield, and Economic Gain during Charcoal Production in a Modified Half-Orange Kiln. *Fuels*, 5(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/fuels5010001>
- He, X., Liu, Z., Niu, W., Yang, L., Zhou, T., Qin, D., Niu, Z., & Yuan, Q. (2018). Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of gas and biochar obtained from pyrolysis of crop residues. *Energy*, 143(January), 746–756. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.062>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (1st ed.). McGRAW-Hill Interamericana Editores, S.A. de C. V. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Hughes, C. E., Ringelberg, J. J., Lewis, G. P., & Catalano, S. A. (2022). Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). *PhytoKeys*, 205, 147–189. <https://doi.org/10.3897/PHYTOKEYS.205.75379>
- Instituto Esloveno de Normalización. (2018). European Standard Norme Européenne Europäische Norm en 1860-2. In *Iso Iec 60601-1* (Vol. 1, Issue I). https://www.en-standard.eu/din-en-1860-2-appliances-solid-fuels-and-firelighters-for-barbecuing-part-2-barbecue-charcoal-and-barbecue-charcoal-briquettes-requirements-and-test-methods/?srsltid=AfmBOopfAfWYkiMjWPQ3hEgDu9PQHtBzlWpjzyHTGNZ2_av3aATeYWY
- Jayanti, S., Maheswaran, K., & Saravanan, V. (2007). Assessment of the effect of high ash

- content in pulverized coal combustion. *Applied Mathematical Modelling*, 31(5), 934–953.
<https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.022>
- Jiménez, L. F., Baquero, M. C., & Díaz, J. (2006). Carbonizados de origen vegetal (cov) para la generación de antroposoles. obtención y caracterización fisicoquímica. *REVISTA COLOMBIANA DE QUÍMICA*, 35(2), 177–190.
<https://www.redalyc.org/pdf/3090/309026669001.pdf>
- Kammen, D. M., & Lew, D. J. (2005). Review of technologies for the production and use of charcoal. In *Renewable and Appropriate Energy Laboratory Report* (Issue May).
- Kiflie, Z., Solomon, M., & Kassahun, S. K. (2021). Statistically optimized charcoal production from *Prosopis juliflora* for use as alternative fuel in cement factories. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(3), 1539–1552. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01172-4>
- Kumar, R., & Chandrashekar, N. (2016). Study on fuelwood and carbonization characteristics of *Prosopis juliflora*. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 13(2), 101–107.
<https://doi.org/10.1007/s13196-016-0171-9>
- Liu, T., Nan, J., Jiang, X., Li, J., & Yang, L. (2022). Models of the time-averaged heat release rate of laminar premixed conical and V-shape flames subjected to flow disturbances. *Fuel*, 320(February), 123831. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123831>
- Ljagbemi, C., Adepo, S., & Ademola, K. (2014). Evaluation of combustion characteristic of charcoal from different tropical wood species. *IOSR Journal of Engineering*, 4(4), 57–64.
<https://doi.org/10.9790/3021-04465764>
- López, O. V., Yáñez, L., & Flores, J. A. (2022). Algunas especies leñosas que se utilizan para elaborar carbón vegetal en San Luis Potosí. *TLATEMOANI*, 1(40), 121–139.
<https://doi.org/10.51896/tlatemoani/ixit7183>
- Marchesan, R., Nunes, D., Carvalhoda Silva, R., Azevedo de Carvalho, L., Tavares, R., & Coelho, V. (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. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i3.65303>
- Martillo, J., Lesme, R., & Oliva, L. (2021). Optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético. In P. Iberoamericano (Ed.), *Red Iberomasa* (España). Desarrollo Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el
https://www.researchgate.net/profile/Mary-Cesare-Coral/publication/362886205_Tasa_de_Retorno_Energetico_del_biodiesel_de_palma_a_ceitera_Elaeis_guineensis_en_la_region_Nor_Oriente_del_Peru/links/63059117acd814437fd1041b/Tasa-de-Retorno-Energetico-del-biodi

- Mcdonald, J. H. (2023). Biological statistics. In *Nature* (1st ed., Vol. 108, Issue 2706). Libretexts. <https://doi.org/10.1038/108070b0>
- Medeiros, P. N., Oliveira, E., & Benigno, J. (2014). Relações entre as Características da Madeira e do Carvão Vegetal de duas Espécies da Caatinga. *Floresta e Ambiente*, 21(4), 484–493. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.051313>
- Mencarelli, A., Cavalli, R., & Greco, R. (2022). Variability on the energy properties of charcoal and charcoal briquettes for barbecue. *Heliyon*, 8(8), e10052. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10052>
- Mencarelli, A., Greco, R., & Grigolato, S. (2025). Can the qualitative characteristics of commercial charcoal-based products affect combustion performance during grilling? *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1(0123456789), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s13399-025-06830-z>
- Montaño-Arias, S. A., Camargo-Ricalde, S. L., & Grether, R. (2016). Anatomía de la madera de tres especies de Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae) distribuidas en México. *Madera Bosques*, 22(1), 191–202. <https://doi.org/10.21829/myb.2016.221486>
- Montaño, A., Camargo, S., & Pérez, C. de la P. (2013). Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género Mimosa (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences*, 91(1), 1–10. https://doi.org/https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982013000100001
- Ngangyo-Heya, M., Foroughbahchk-Pournavab, R., Carrillo-Parra, A., Rutiaga-Quñones, J. G., Zelinski, V., & Pintor-Ibarra, L. F. (2016). Calorific value and chemical composition of five semi-arid Mexican tree species. *Forests*, 7(3), 1–12. <https://doi.org/10.3390/f7030058>
- Ochoa, E., Santillán, D., & Hernandez, R. (2024). Consideraciones estadísticas en los ensayos de investigación preclínica. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 3(1), 29–48.
- Ordaz, J. C. (2003). *Análisis de la calidad del carbón vegetal de encino producido en horno tipo colmena brasileo en Huayacocotla, Veracruz* [Tesis de pre grado, Universidad Autonoma de Chapingo]. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543688006.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1983). *Métodos simples para fabricar carbón vegetal* (1st ed.). FAO. <https://www.fao.org/3/X5328S/X5328S00.htm#Contents>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2014). *Carbón*

- vegetal* (1st ed.). Bioenergía y Seguridad Alimentaria Evaluación Rápida. <https://www.fao.org/publications/card/es/c/7646f640-04ec-4819-9d62-b37e22fbd8c5/>
- Ouder, N., & Githiomi, J. (2013). Fuel-wood energy properties of *Prosopis spp* in baringo district, Kenya. *African Journal of Agricultural Research* Vol. 8, 8(21), 2476–2481. <https://doi.org/10.5897/AJAR08.221>
- Paredes, Y. S., Cerrano, J. A., López, J. P., Ushiñahua, K. M., & Rengifo, Y. M. (2022). El carbón vegetal en los mercados de Punchana, Iquitos, Belén y San Juan Bautista, en Loreto, Perú. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 10(1–2), 45–54. <https://doi.org/10.22386/ca.v10i1-2.360>
- Perdomo, L. A., Perdomo, L., Puchol, R. Q., Rodríguez, M., Martín, A., & Hernández, L. (2023). Obtención y caracterización preliminar de polvo de carbón vegetal de Marabú para su uso en consumibles de soldadura. *Revista Centro Azúcar*, 50(2), 1–12. <http://centrozucar.uclv.edu.cu>
- Pereira, B. L. C., Carneiro, A. de C. O., Angélica, Carvalho, A. M. M. L., Colodette, J. L., Oliveira, A. C., & Fontes, M. P. F. (2013). Influence of Chemical Composition of *Eucalyptus* Wood on Gravimetric Yield and Charcoal Properties. *BioResources*, 8(2), 4574–4592. <https://doi.org/10.15376/biores.8.3.4574-4592>
- Pereira, B. L. C., Oliveira, A. C., Carvalho, A. M. M. L., Carneiro, A. de C. O., Santos, L. C., & Vital, B. R. (2012). Quality of Wood and Charcoal from Eucalyptus Clones for Ironmaster Use. *International Journal of Forestry Research*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1155/2012/523025>
- Petrović, S., & Glavonjic, B. D. (2011). *Standards and certificates for charcoal and charcoal briquettes in the function of harmonization of their quality and market development* (Vol. 1, Issue June 2021). <https://www.researchgate.net/publication/352120554>
- Pipa, E., Chavesta, M., & Gonzales, H. (2009). Validación de una metodología de identificación del carbón vegetal del género *Prosopis* (Algarrobo) a partir de la estructura anatómica. *Anales Científicos UNALM*, 70(2), 132–136. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/506/496>
- Prías, J. J., Rojas, C. A., Echeverry, N. A., Fonthal, G., & Ariza, H. (2011). Identificación de las variables óptimas para la obtención de carbón activado a partir del precursor *Guadua angustifolia kunth*. *Revista Academia Colombiana de Las Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 35(135), 157–166. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v35n135/v35n135a04.pdf>
- Pyshyev, S., Miroshnichenko, D., Malik, I., Bautista, A., Hassan, N., & Elrasoul, A. (2021). State of the art in the production of charcoal: A review. *Chemistry and Chemical*

Technology, 15(1), 61–73. <https://doi.org/10.23939/chcht15.01.061>

- Ramos, F. O. (2018). Potencial energético das espécies *Mimosa tenuiflora* (Willd) Poir E *Prosopis juliflora* 4.2 Bases teórico – científicas [Universidade Federal do Ceará]. In *Universidade Federal do Ceará* (Vol. 6, Issue 1). <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1120700020921110%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.reuma.2018.06.001%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.arth.2018.03.044%0Ahttps://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1063458420300078?token=C039B8B13922A2079230DC9AF11A333E295FCD8>
- Rautiainen, M., Havimo, M., & Gruduls, K. (2012). Biocoal production, properties and uses. In *The Development of the Bioenergy and Industrial Charcoal (Biocoal) Production (Report of BalBiC -project cb46)*.
- Reynel, C., Pennington, T., & Pennington, T. (2016). *Arboles del Perú* (1st ed.).
- Rodriguez, A., & Pérez, J. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. 1(82), 179–200. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Salazar-Herrera, F., Pintor-Ibarra, L. F., Musule, R., Adriananava-Berumen, C., Alvarado-Flores, J. J., González-Ortega, N., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2023). Chemical and Energetic Properties of Seven Species of the Fabaceae Family. *South-East European Forestry*, 14(2), 215–224. <https://doi.org/10.15177/see-for.23-19>
- Saniso, E., Sueni, L., Hayibaka, M., & Suttikan, M. (2025). Enhancing charcoal Production: Improvements in the traditional brick kiln and product properties. *Case Studies in Thermal Engineering*, 73(September), 106634. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106634>
- Sánchez, A., & Vásquez, C. (2010). Mapa climatico (G. regional de Cajamarca (ed.)). <http://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/MapaClimatico.pdf>
- Santos, S. V., Pio, N., Nascimento, C., & Souza, S. (2016). Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. *Madera y Bosques*, 15(2), 59–69. <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1521191>
- Satomi, I. M., Mustafa, B. G., Mohammed, H. D., Abdulaziz, L., & Silas, K. (2025). Biochar Production from Leave Biomass for Environmental Sustainability and Applications. *Chemical Research and Technology*, 2, 12–18. <https://www.chemrestech.com/>
- Setiawan, A., Lubis, A. W., Riskina, S., & Rahman, A. (2025). *Toward sustainable energy : Fuel properties and combustion behavior of torrefied king grass at various briquetting pressures*. 26(11), 299–308. <https://doi.org/https://doi.org/10.12911/22998993/208087>

- Shikha, A. (2019). *Engineering Chemistry* (2nd ed.). Facultad de Ingeniería del Gobierno, Ajmer, India. <https://www.cambridge.org/pe/academic/subjects/engineering/chemical-engineering/engineering-chemistry-fundamentals-and-applications-2nd-edition?format=PB&isbn=9781108724449>
- SPSS BM. (2020). *IBM SPSS Statistics for Windows*. Armonk, NY: IBM Corp.
- Vollmer, F., Zorrilla, P., Baumert, S., Catarina, Luz, A., Woollen, E., Grundy, I., Artur, L., Ribeiro, N., Mahamane, M., & Patenaude, G. (2017). Charcoal income as a means to a valuable end: Scope and limitations of income from rural charcoal production to alleviate acute multidimensional poverty in Mabalane district, southern Mozambique. *World Development Perspectives*, 7–8(November), 43–60. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2017.11.005>
- Yan, W., Chen, Z., & Sheng, K. (2015). Carbonization temperature and time improving quality of charcoal briquettes. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31(24), 245–249. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2015.24.037>
- Yuningsih, L., Ibrahim, E., Marsi, Hastuti, N., & Hermansyah. (2023). The Chemical-Physical and Quality Parameters of Woods Pellets Generated from Revegetation Reclamation of Post-Coal Mining Land. *Journal of Ecological Engineering*, 24(8), 43–51. <https://doi.org/10.12911/22998993/165895>
- Yusuf, M. A., Witdarko, Y., Parjono, Pamungkas, W. A., & Suryadi. (2023). Characteristics of Charcoal Briquettes from Rice Husk Waste with Compaction Pressure Variations as an Alternative Fuel. *Journal of Ecological Engineering*, 24(4), 237–243. <https://doi.org/10.12911/22998993/159966>
- Zalazar-Oliva, C., Góngora-Leyva, E., Retirado-Mediateja, Y., Falconí-Borja, M. A., & Mata Jacome, L. F. (2016). Modelación matemática del proceso de activación de carbón vegetal en horno cilíndrico rotatorio. *Minería y Geología*, 32(2), 140–154. <https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=3&sid=63aed2f3-1a23-41e3-b096-2aa40af49be3%40redis>

CAPÍTULO VII. ANEXOS

Tabla 13

Matriz de consistencia

Título	Problema	Objetivos	hipótesis	Variables o indicadores	Diseño	Resultados	Conclusiones
Evaluación del rendimiento y calidad de carbón vegetal obtenido de faique (<i>Vachellia macracantha</i> Humb & Bonpl ex Willd.) y algarrobo (<i>Neltuma pallida</i> Humb & Bonpl ex Willd) en el distrito de Chota, Cajamarca.	¿Cuál es el rendimiento y la calidad de carbón vegetal de <i>Vachellia macracantha</i> , en comparación con el rendimiento y calidad de carbón vegetal obtenido de <i>Neltuma pallida</i> ?	Objetivo general ✓ Evaluar el rendimiento y la calidad de carbón vegetal obtenido de <i>Vachellia macracantha</i> y <i>Neltuma pallida</i> en el distrito de Chota. Objetivos específicos ✓ Determinar el rendimiento del carbón vegetal en porcentaje de <i>Vachellia macracantha</i> y de <i>Neltuma pallida</i> . ✓ Determinar la calidad de carbón vegetal de <i>Vachellia macracantha</i> y de <i>Neltuma pallida</i> mediante las principales características fisicoquímicas.	H1, El rendimiento y calidad del carbón vegetal de <i>V. macracantha</i> es superior estadísticamente, frente al carbón obtenido de <i>N. pallida</i> . H0, El rendimiento y calidad del carbón vegetal de <i>V. macracantha</i> no es superior estadísticamente, frente al carbón obtenido de <i>N. pallida</i> .	Rendimiento del carbón vegetal. Contenido de humedad. Materiales volátiles. Contenido de cenizas. Contenido de carbón fijo. Poder calorífico.	En la investigación, se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos y cuatro repeticiones; los tratamientos estuvieron representados por las especies; <i>V. macracantha</i> y <i>N. pallida</i> . Las repeticiones en la productividad del carbón vegetal estuvieron conformadas por cinco probetas de madera (5 cm x 5 cm x 5cm) de ambas especies estudiadas. En cambio, la calidad del carbón vegetal se determinó utilizando un gramo de carbón vegetal de cada una de las especies estudiadas.	Los resultados evidenciaron: en la variable de rendimiento de carbón vegetal, las dos especies no presentan diferencia estadística significativa, pero los resultados de la <i>Vachellia macracantha</i> fueron superiores a los de la <i>Neltuma pallida</i> . En las variables de calidad del carbón vegetal, de la misma forma no presentaron diferencia estadística significativa, pero la <i>Neltuma pallida</i> obtuvo mejores resultados en todas las variables.	Se concluye que el rendimiento de carbón vegetal de la especie <i>Vachellia macracantha</i> es de 21,77%; mientras que de la <i>Neltuma pallida</i> es de 18,05 %. En calidad del carbón vegetal la <i>Vachellia macracantha</i> , presento de 16,63 % de contenido de humedad, 17,27 % de materiales volátiles, 0,0525 % de contenido de cenizas, 66,05 % de carbón fijo y 6834,47 Kcal/kg de poder calorífico. En cambio, la <i>Neltuma pallida</i> presento 8,86 % de contenido de humedad; 20,11% de materiales volátiles; 0,0500% de contenido de cenizas; 70,98 % de contenido de carbón fijo y 7061,11Kcal/kg de poder calorífico.

Tabla 14

Peso de las muestras de madera antes y después de haber sido carbonizadas

Tratamientos	Repeticiones	N° Probetas	% De humedad	Masa seca de la madera	Masa seca del carbón vegetal	Rendimiento del carbón vegetal
<i>Vachellia macracantha</i>	1	5	10,1	111,3170	31,7167	28,49%
<i>Neltuma pallida</i>	1	5	9,5	136,1476	20,0358	14,72%
<i>Vachellia macracantha</i>	2	5	10,1	106,8607	18,9418	17,73%
<i>Neltuma pallida</i>	2	5	9,5	137,2360	20,0397	14,60%
<i>Vachellia macracantha</i>	3	5	10,1	109,6800	32,6410	29,76%
<i>Neltuma pallida</i>	3	5	9,5	139,7472	33,1779	23,74%
<i>Vachellia macracantha</i>	4	5	10,1	109,6049	12,1505	11,09%
<i>Neltuma pallida</i>	4	5	9,5	139,1219	26,6043	19,12%

Tabla 15

Obtención de los pesos del carbón vegetal, de acuerdo con la Norma ASTM D1762–84 (ASTM, 2007)

Tratamientos	Repeticiones	N° Gramos	A=Peso inicial de la muestra molida y cribada (g),	B= Peso de la muestra después de someterla a 105 °C (g)	C= Peso de la muestra después de someterla a 950 °C (g)	D= Peso del residuo (g),	contenido de humedad	Materiales volátiles	Contenido de cenizas	Contenido de carbón fijo	Poder calorífico
<i>Vachellia macracantha</i>	1	1	1	0,9260	0,7032	0,00023	7,40	24,06	0,03	68,51	6945,71
<i>Neltuma pallida</i>	1	1	1	0,8669	0,7634	0,00048	13,31	11,94	0,05	74,70	7237,37
<i>Vachellia macracantha</i>	2	1	1	0,7534	0,6790	0,00071	24,66	9,88	0,09	65,37	6805,76
<i>Neltuma pallida</i>	2	1	1	0,9635	0,7480	0,00020	3,65	22,37	0,02	73,96	7198,88
<i>Vachellia macracantha</i>	3	1	1	0,8494	0,6631	0,00023	15,06	21,93	0,03	62,98	6690,88
<i>Neltuma pallida</i>	3	1	1	0,9575	0,7025	0,00043	4,25	26,63	0,05	69,07	6969,27
<i>Vachellia macracantha</i>	4	1	1	0,8061	0,6995	0,00049	19,39	13,22	0,06	67,33	6895,52
<i>Neltuma pallida</i>	4	1	1	0,8576	0,6905	0,00069	14,24	19,48	0,08	66,20	6838,93

Figura 11

Permiso para la extracción de material biológico otorgado por el SERFOR



Firmado digitalmente por ARELLANO
OLAND Williams FAU 2056283697
Id:ad
Cargo: Director
Medio: Soy el autor del documento
Fecha: 11.09.2024 21:15:53 -05:00

RESOLUCIÓN DIRECTORAL

Magdalena Del Mar, 11 de Septiembre del 2024

RD N° D000133-2024-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF

VISTOS:

La carta s/n, registrada con número de expediente 2024-0031837 (2024-0036697), de fecha 08 de julio de 2024, conteniendo la solicitud de autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de áreas naturales protegidas (ANP), presentada por el señor **IVAN ROJAS SILVA**¹ (en adelante, el administrado), ciudadano peruano, identificado con DNI N° 76572721, así como, el Informe Técnico N° D000038-2024-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF-ICV de fecha 11 de septiembre de 2024, y;

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 66° de la Constitución Política del Perú de 1993 establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación; y el Estado es soberano en su aprovechamiento;

Que, el artículo 9° de la Ley N° 26821, Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales, establece que el Estado promueve la investigación científica y tecnológica sobre la diversidad, calidad, composición, potencialidad y gestión de los recursos naturales. Promueve, asimismo, la información y el conocimiento de los recursos naturales. Para estos efectos, podrán otorgarse permisos para investigación;

Que, mediante el artículo 13° de la Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, se creó el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR, como un organismo público técnico especializado con personería jurídica de derecho público interno, como pliego presupuestal adscrito al Ministerio de Agricultura, actualmente el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego; artículo en el que además se señala que el SERFOR es la autoridad nacional forestal y de fauna silvestre, ente rector del Sistema Nacional de Gestión Forestal y de Fauna Silvestre, constituyendo su autoridad técnica normativa a nivel nacional, encargada de dictar las normas y establecer los procedimientos relacionados a su ámbito;

Que, el artículo 137° de la precitada Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre, declara de interés nacional realizar la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación;

Que, según lo dispuesto por el artículo 140° de la Ley en mención, señala que el SERFOR evalúa y otorga la autorización para extracción de recursos forestales y de fauna silvestre con fines de investigación científica cuando: (i) se incluye especies

¹ Tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH)



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

amenazadas^{2,3}, (ii) especies consideradas en los Apéndices de CITES⁴, (iii) se realiza acceso a recursos genéticos sin fines de lucro; y (iv) propósitos culturales. Asimismo, en el citado artículo de la Ley indica que la colecta o extracción de recursos forestales y de fauna silvestre con fines de investigación orientada a determinación de genotipo, filogenia, sistemática y biogeografía es autorizada siguiendo procedimientos simplificados establecidos por el SERFOR;

Que, mediante el artículo 1° de la Resolución de Dirección General N° D000627-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS, de fecha 15 de noviembre de 2021, la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre (DGGSPFFS) del SERFOR resolvió delegar en la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal (DGSPF), las funciones de otorgar permisos de investigación o de difusión cultural con o sin colecta de flora silvestre y sus recursos genéticos, contenida en el literal g) del artículo 53° del Reglamento de Organización y Funciones del SERFOR, aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI y modificado por Decreto Supremo N° 016-2014-MINAGRI; delegación efectuada en aplicación del numeral 78.1 del artículo 78° del Texto Único Ordenado - TUO de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS;

Que, a través del Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal, en el artículo 154°, señala que regula el procedimiento de otorgamiento de autorizaciones con fines de investigación científica, señalando que la investigación del Patrimonio Forestal, se aprueba mediante autorizaciones, salvaguardando los derechos del país respecto a su patrimonio genético nativo; y establece para tal efecto los requisitos y consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo con los lineamientos aprobados por el SERFOR, concordante con el numeral 5.3.2 de los lineamientos aprobados por Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE; así como, las obligaciones materia de cumplimiento por parte del titular de la autorización;

Que, mediante la Cuarta Disposición Complementaria Transitoria del Decreto Legislativo N° 1497, publicado el 10 de mayo de 2020, se dispuso la suspensión hasta el 31 de diciembre de 2020, de la aplicación del numeral 134.3 del artículo 134° del Texto Único Ordenado - TUO de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, respecto a la obligación de la presentación física del escrito o documentación por parte de los administrados; suspensión que mediante Decreto Supremo N° 187-2021-PCM, fue prorrogada hasta el 31 de diciembre de 2024;

Que, en ese contexto mediante carta s/n, con registro de expediente N° 2024-0031837, de fecha 08 de julio de 2024, el administrado solicitó a la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal (DGSPF), la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de áreas naturales protegidas (ANP), para desarrollar el proyecto titulado **Análisis comparativo del rendimiento y calidad del carbón vegetal obtenido de faique [*Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.)**

² Decreto Supremo N° 043-2006-AG. Aprueban categorización de especies amenazadas de flora silvestre.

³ Decreto Supremo N° 004-2014-MINAGRI. Actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre.

⁴ Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres.



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

Seigler & Ebinger.] y algarrobo [*Neltuma pallida* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P.Lewis] en el distrito de Chota, Cajamarca;

Que, en el actual Texto Único de Procedimientos Administrativos - TUPA del SERFOR, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2016-MINAGRI y modificado por Resolución Ministerial N° 613-2016-MINAGRI, Resolución Ministerial N° 026-2019-MINAGRI, Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000103-2020-MINAGRI-SERFOR-DE y Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000099-2021-MIDAGRI-SERFOR-DE; no se contempla el procedimiento de autorización para realizar investigación científica fuera de ANP;

Que, en observancia del principio de impulso de oficio, el cual se encuentra previsto en el numeral 1.3 del artículo IV del Título Preliminar del Texto Único Ordenado - TUO de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado por Decreto Supremo N° 004-2019-JUS; se desprende que las autoridades deben dirigir e impulsar de oficio el procedimiento y ordenar la realización o práctica de los actos que resulten convenientes para el esclarecimiento y resolución de las cuestiones necesarias;

Que, de acuerdo con el artículo 140° de la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, Ley N° 29763, es competencia del SERFOR la evaluación de la presente solicitud, puesto que la investigación se desarrollará fuera de áreas naturales protegidas e involucra el estudio de especies de flora silvestre que se encuentran amenazadas según el Decreto Supremo N° 043-2006-AG;

Que, por tanto, en ese sentido, la solicitud en evaluación aplica lo dispuesto en el numeral 9 del ANEXO N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal, establece los requisitos para la solicitud de autorizaciones con fines de investigación de flora silvestre; en concordancia con el numeral 6.6 de los lineamientos aprobados por Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE, señalan los siguientes requisitos para la autorización con fines de investigación científica fuera de ANP: i) Solicitud con carácter de declaración jurada que contenga información sobre el investigador, según formato; ii) Hoja de vida del investigador principal y plan de investigación, según formato; iii) Carta de presentación de los investigadores participantes, emitida por la institución académica u organización científica nacional o extranjera de procedencia; iv) Documento que acredite el consentimiento informado previo, expedido por la respectiva organización comunal representativa, de corresponder; y v) Documento que acredite el acuerdo entre las instituciones que respaldan a los investigadores nacionales y extranjeros, en caso la solicitud sea presentada por un investigador extranjero;

Que, como parte de la evaluación se encontraron observaciones referidas a la solicitud, requisitos y el plan de investigación, las cuales fueron remitidas por la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal a la dirección electrónica autorizada por el administrado en la solicitud remitida (22librarojas@gmail.com) a través de la Carta N° D000596-2024-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF, notificada el 24 de julio de 2024. El administrado remitió el levantamiento de observaciones mediante carta s/n registrada con expediente N° 2024-0036697, de fecha 05 de agosto de 2024, para su evaluación correspondiente, del cual se evidenció que las observaciones no fueron absueltas satisfactoriamente, siendo comunicado a través de comunicación electrónica el 06 de septiembre de 2024, para su respectiva subsanación de las observaciones recaídas;

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. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: HRGOABD



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

Que, mediante comunicación electrónica recibida el 09 de septiembre de 2024, el administrado remitió el levantamiento de observaciones recaídas, adjuntando el plan de investigación actualizado, con referencia a la corrección de las coordenadas referenciales de las localidades materia de estudio, el detalle de los protocolos que seguirá para la selección y talado de las muestras materia de estudio y la actualización de la tabla que contiene el material biológico, con lo cual subsana las observaciones efectuadas por esta Dirección;

Que, en ese sentido, la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal a través del Informe Técnico N° D000038-2024-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF-ICV, emitido de fecha 11 de septiembre de 2024; concluye que, la solicitud de investigación científica cumple con los requisitos exigidos en el numeral 9 del Anexo N° 1 del Reglamento para la Gestión Forestal y con los "Lineamientos para el otorgamiento de la autorización con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre", aprobado mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE; así como, las condiciones mínimas y los criterios técnicos para su ejecución, considerándose procedente el plazo propuesto para el desarrollo de las actividades con fines de investigación de flora silvestre, esto es, por el periodo de nueve (09) meses;

Que, asimismo, a través de dicho Informe Técnico, se recomienda la emisión del acto administrativo que aprueba la solicitud de investigación científica de flora silvestre, fuera de ANP, para el desarrollo del proyecto titulado **Análisis comparativo del rendimiento y calidad del carbón vegetal obtenido de faique [*Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger.] y algarrobo [*Neltuma pallida* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P.Lewis] en el distrito de Chota, Cajamarca**; el cual se desarrollará en el marco del proyecto de tesis del administrado para la obtención de su título profesional en la UNACH;

Que, finalmente, en dicho informe se señala que la presente investigación permitirá identificar y comparar el rendimiento y calidad del carbón vegetal que producen las especies *Vachellia macracantha* "faique" y *Neltuma pallida* "algarrobo";

Que, por otro lado, el artículo 158° del Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, establece como obligaciones del investigador en flora silvestre que son las siguientes:

- a. No extraer especímenes, ni muestras biológicas, de flora silvestre no autorizadas; no ceder los mismos a terceras personas, ni utilizarlos para fines distintos a lo autorizado.
- b. Entregar al SERFOR un informe final en idioma español y en versión digital, como resultado de la autorización otorgada, así como copia de las publicaciones producto de la investigación realizada, e indicar el número de la Autorización en las publicaciones generadas. Esta información es ingresada al SNIFFS.
- c. Solicitar el correspondiente permiso de exportación ante el SERFOR a través de la Ventanilla Única de Comercio Exterior - VUCE, así como pasar el control respectivo, en caso se requiera enviar al extranjero parte del material colectado, por razones científicas acotadas. Los ejemplares únicos de los grupos taxonómicos colectados y holotipos solo podrán ser exportados en calidad de préstamo.

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. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: HRGOABD



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

Que, asimismo, en el marco de la autorización otorgada, el administrado considerará los siguientes compromisos:

- a. *Comunicar con la debida anticipación a las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestres Lambayeque y Cajamarca del SERFOR, el ingreso y salida a campo.*
- b. *Indicar el número de la resolución en las publicaciones generadas a partir de la autorización concedida.*
- c. *Solicitar anticipadamente ante la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal del SERFOR y dentro del periodo del cronograma de trabajo del plan de investigación, cualquier cambio en las características del estudio aprobado (por ejemplo, cronograma, inclusión de especialistas, etc.), que demande la modificación de la presente resolución.*
- d. *En caso sobrevenga algún hecho o evento que imposibilite la ejecución de la investigación autorizada o que origine que no se pueda continuar con el desarrollo de la misma, corresponde al administrado solicitar por escrito ante la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal del SERFOR, la renuncia a la autorización otorgada; renuncia que deberá ser solicitada dentro del plazo de vigencia de la autorización, precisándose el hecho o evento que origina la imposibilidad de ejecutar o de continuar ejecutando la investigación aprobada, debiendo además el administrado adjuntar la documentación de sustento que estime necesaria, de ser el caso.*

Que, por otro lado, el artículo 100° del Reglamento para la Gestión Forestal y de Fauna Silvestre en Comunidades Nativas y Comunidades Campesinas, señala lo siguiente:

“Investigaciones científicas realizadas dentro de las tierras de comunidades campesinas y comunidades nativas

Toda investigación científica en materia forestal y de fauna silvestre a realizarse dentro de tierras de comunidades campesinas o comunidades nativas, requiere de la autorización expresa de la comunidad y autorización otorgada por la autoridad correspondiente. (...).”

Que, en adición a ello, debemos precisar que, la presente autorización no habilita el ingreso a predios privados en cuyos casos, deberán gestionar la autorización de ingreso correspondiente ante la autoridad o titular del área, según corresponda;

Que, en ese sentido, en caso la ejecución de la investigación comprenda el ingreso a territorios de Comunidades Campesinas o Comunidades Nativas, previamente deberá solicitarse la autorización correspondiente;

Que, en conformidad con la Ley Forestal y de Fauna Silvestre, aprobada por Ley N° 29763; el Reglamento para la Gestión Forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI; el Decreto Supremo N° 004-2019-JUS que aprueba el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444 Ley del Procedimiento Administrativo General; el literal g) del Artículo 53° del Reglamento de Organización y Funciones aprobado por Decreto Supremo N° 007-2013-MINAGRI, y su modificatoria mediante Decreto Supremo N° 014-2016-MINAGRI; la Resolución de Dirección Ejecutiva N° 060-2016-SERFOR/DE; así como, en ejercicio de la función delegada a través del artículo 1



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

de la Resolución de Dirección General N° D000627-2021-MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- OTORGAR la autorización con fines de investigación científica de flora silvestre, fuera de áreas naturales protegidas (ANP), a favor del señor **Ivan Rojas Silva**, identificado con DNI N° 76572721, correspondiéndole el Código de Autorización N° **AUT-IFL-2024-065**; a efectos de desarrollar el proyecto titulado **Análisis comparativo del rendimiento y calidad del carbón vegetal obtenido de faique [*Vachellia macracantha* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Seigler & Ebinger.] y algarrobo [*Neltuma pallida* Humb. & Bonpl. ex Willd. (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P.Lewis] en el distrito de Chota, Cajamarca**; a efectuarse en los departamentos de Cajamarca y Lambayeque, en conformidad con lo señalado en la Tabla N° 1 del **Anexo 1** cuya vigencia se contabilizará desde la fecha de emisión de la presente resolución⁵.

Artículo 2.- Autorizar la participación de la señora Yuli Anabel Chávez Juanito, identificada con DNI N° 42206703, en calidad de asesora de tesis, conforme con lo señalado por el administrado.

Artículo 3.- El ingreso y desarrollo de las actividades de investigación científica dentro de predios privados que abarquen las localidades de muestreo del estudio, deberán ser autorizadas previamente por el respectivo propietario, por lo que es responsabilidad del administrado obtener la autorización de ingreso escrita correspondiente, antes de la ejecución de la investigación.

Artículo 4.- El administrado se encuentra sujeto al cumplimiento de lo presentado en el plan de investigación y al plazo correspondiente a nueve (09) meses, así como la colecta de material biológico de las especies de flora silvestre materia de estudio de acuerdo con lo señalado en la Tabla N° 2 del **Anexo 2**. Los análisis de las muestras biológicas serán ejecutados en el Laboratorio de Tecnología de la Madera, perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH). Asimismo, deberán cumplir con las obligaciones establecidas en la legislación forestal y de fauna silvestre, según lo señalado en la parte considerativa de la presente resolución.

Artículo 5.- La presentación del Informe Final, en versión digital como resultado de la autorización otorgada, se realizará de acuerdo con los términos señalados en el **Anexo 3** de la presente resolución, y deberá ser presentado dentro de los noventa (90) días calendarios posteriores a la culminación de la investigación.

Artículo 6.- La presente autorización no limita el ejercicio de las funciones y/o requisitos de las entidades, en los ámbitos en los que se realice la investigación (ARFFS, ACR, ACP y otros).

⁵ Decreto Supremo N° 004-2019-JUS. Texto Único Ordenado de la Ley 27444 "Ley del Procedimiento Administrativo General"

Artículo 16. El acto administrativo que otorga beneficio al administrado se entiende eficaz desde la fecha de su emisión, salvo disposición diferente del mismo acto.



RESOLUCIÓN DIRECTORAL

Artículo 7.- Toda modificación en el desarrollo de la investigación será comunicada al SERFOR dentro del plazo de vigencia de la presente resolución.

Artículo 8.- La presente autorización no habilita la exportación de muestras biológicas, en caso se requiera realizar esta actividad, el administrado y la asesora de tesis identificada en la presente resolución, podrán gestionar el correspondiente Permiso de Exportación ante la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre del SERFOR.

Artículo 9.- La contravención a las obligaciones y/o condiciones establecidas en la presente resolución conllevará a la comisión de las infracciones tipificadas en el numeral 5) del Anexo 1 del Cuadro de Infracciones y Sanciones en materia forestal, aprobado mediante Decreto Supremo N° 007-2021-MIDAGRI.

Artículo 10.- Notificar la presente resolución directoral al señor Ivan Rojas Silva; a efectos de que tome conocimiento de su contenido. Contra la presente Resolución es posible la interposición de los recursos impugnativos contemplados en el Texto Único Ordenado de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General, aprobado mediante Decreto Supremo N° 004-2019-JUS, dentro del plazo de quince (15) días hábiles más el término de la distancia en caso corresponda, contados a partir del día siguiente de notificada la misma.

Artículo 11.- Remitir la presente resolución a la Dirección de Control de la Gestión del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre y a las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestres Lambayeque y Cajamarca del SERFOR, para su conocimiento y fines pertinentes; asimismo, la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal deberá cargar la presente resolución en el Directorio de la Dirección de Información y Registro.

Artículo 12.- Disponer la publicación de la presente resolución en el portal web del SERFOR: www.gob.pe/serfor

Regístrese y comuníquese,

Documento Firmado Digitalmente

WILLIAMS ARELLANO OLANO

Director

Dirección de Gestión Sostenible del
Patrimonio Forestal

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre - SERFOR

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. 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave: HRGOABD

Figura 12

Identificación del árbol de Neltuma pallida, con características de cosecha



Figura 13

Probetas a temperatura ambiental, especies de las Vachellia macracantha y Neltuma pallida



Figura 14

Calibración de balanza analítica en laboratorio



Figura 15

Acondicionamiento de probetas de madera de ambas especies, para su posterior análisis



Figura 16

Ubicación de muestras de madera de ambas especies de acuerdo con el diseño estadístico



Figura 17

Peso de muestras de Vachellia macracantha y Neltuma pallida en balanza analítica



Figura 18

Peso de muestra de madera de 5 cm x 5cm x 5cm, en ambas especies Vachellia macracantha y Neltuma pallida

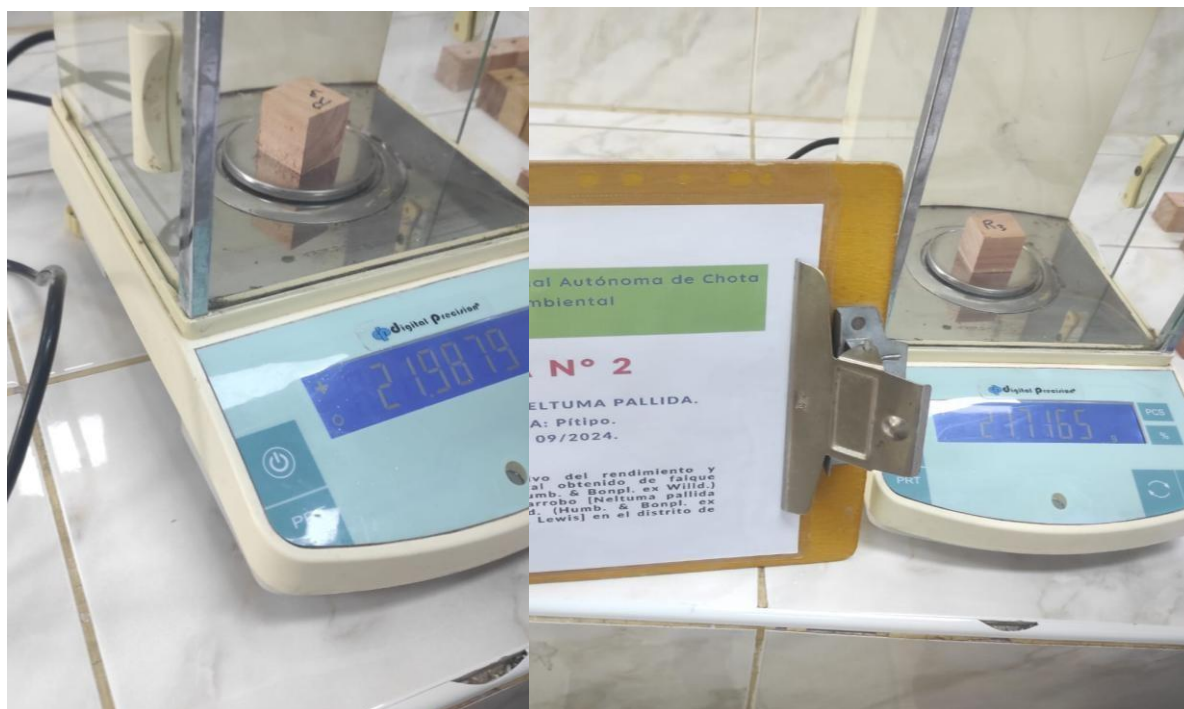


Figura 19

Determinación del contenido de humedad de las muestras de madera

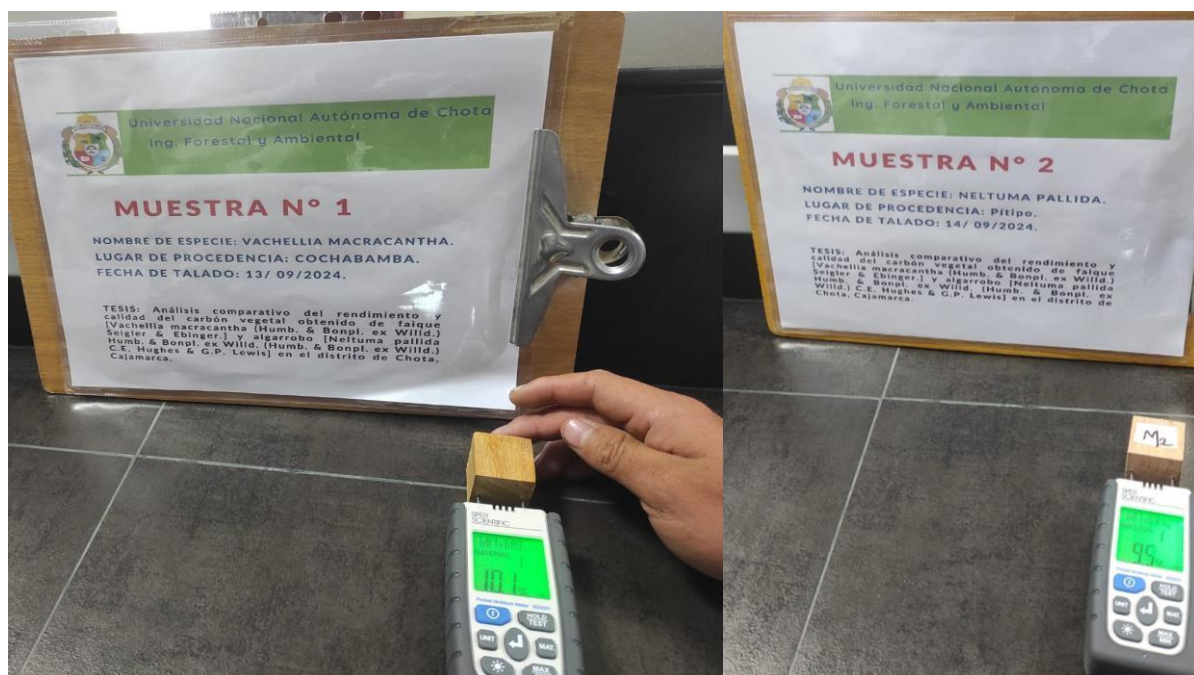


Figura 20

Ubicaciones de las muestras de madera en la mufla, para determinar el rendimiento del carbón vegetal

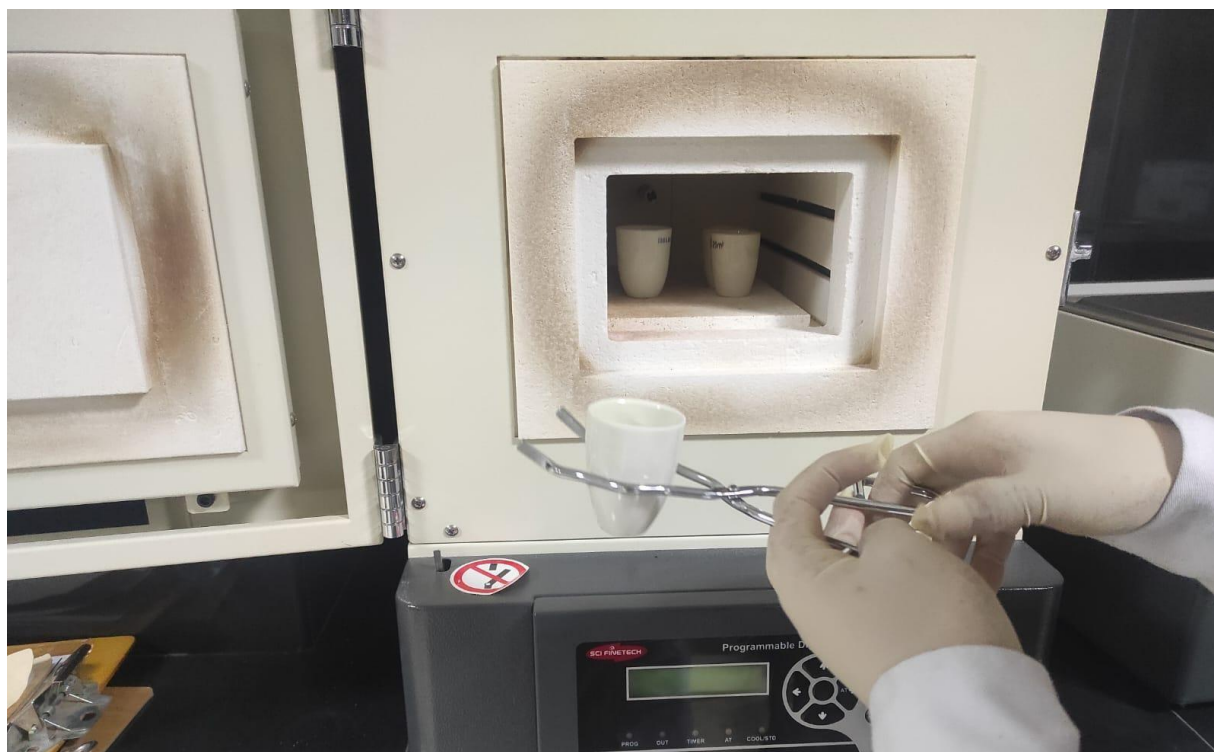


Figura 21

Mufla con muestras de madera en el intervalo de tiempo de 350 °C



Figura 22

Mufla con muestras de madera en el intervalo de tiempo de 250 °C



Figura 23

Muestra de carbón vegetal de ambas especies, obtenidas después de haber ser sometidas en la mufla hasta 450 °C



Figura 24

Peso de las muestras del carbón vegetal, para determinar el rendimiento del carbón vegetal



Figura 25

Cribado de muestra de carbón vegetal, para determinar la calidad del carbón vegetal de ambas especies



Figura 26

Acondicionamiento de equipos, para extraer los 4 gramos de carbón vegetal de ambas especies



Figura 27

Acondicionamiento de crisoles para ser llevados a la mufla con las muestras de carbón vegetal



Figura 28

Calibración de la balanza analítica, para pesar las muestras del ensayo



Figura 29

Peso de un gramo de carbón vegetal de cada especie, de acuerdo con el diseño estadístico



Figura 30

Muestras de carbón vegetal en crisoles, listas para ser llevadas a la mufla de laboratorio



Figura 31

Ubicación de los crisoles con las muestras de carbón vegetal en la mufla

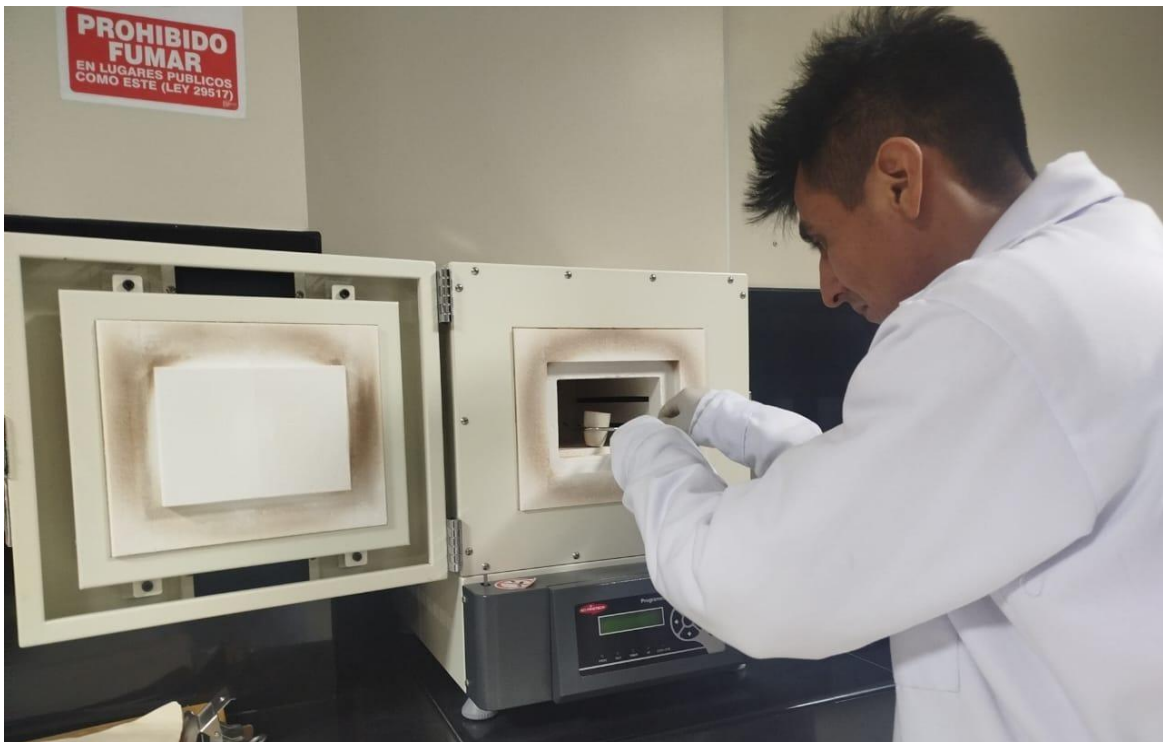


Figura 32

Mufla con muestras de carbón vegetal a 105 °C, de acuerdo con el diseño experimental



Figura 33

Peso de las muestras de carbón vegetal después de expuesto a 105 °C



Figura 34

Ubicación de las muestras de carbón vegetal en la mufla, tal como lo detalla el diseño de la investigación



Figura 35

Gramo de carbón triturado, en la una mufla de 750 °C por diez minutos



Figura 36

Crisoles con muestras de carbón vegetal en la mufla abierta con una temperatura de 300 °C



Figura 37

Peso final del residuo de carbón vegetal $\leq 0,0005$

