



PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego

SERFOR Servicio  
Nacional  
Forestal y  
de Fauna  
Silvestre

# RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL

## A PARTIR DE MADERA ROLLIZA DE *Neltuma pallida*

(Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis  
"algarrobo"  
en la costa norte - Piura







PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego

**SERFOR**

Servicio  
Nacional  
Forestal y  
de Fauna  
Silvestre

# RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL

A PARTIR DE  
MADERA ROLLIZA DE  
*Neltuma pallida*

(Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis  
"algarrobo"  
en la costa norte - Piura

# RENDIMIENTO EN LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL A PARTIR DE MADERA ROLLIZA DE *Neltuma pallida*

(Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis "algarrobo" en la costa norte - Piura

---

## MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

### Ministro

Angel Manuel Manero Campos

### Viceministra de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Carmen Inés Vegas Guerrero

### Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Iván Ramos Pastor

## SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR)

### Director Ejecutivo

Desiderio Erasmo Otárola Acevedo

### Dirección General de Política y Competitividad Forestal y de Fauna Silvestre

#### Directora General

Jessica Moscoso Guerrero

### Dirección de Estudios e Investigación

#### Directora

Fabiola Adela Carreño Villar

### Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Piura

#### Administrador Técnico (e)

Roberto Miceno Seminario Trelles

### Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Lambayeque

#### Administrador Técnico

Jorge Apolonio Alfaro Navarro

### Equipo técnico:

William Nauray Huari

David Roy Aldana Gomero

Hermenegildo Cortez Neira

Roberto Miceno Seminario Trelles

Nelly Esther Pilco Díaz

Natan Melquisedec Aguilar Calderón

Luis Alberto Effio Zapata

Amalia Cecilia Delgado Rodríguez

### Equipo colaborador de Proambiente-GIZ

William Raúl Pariona Arias

Giannina Claudia Rimarachin Vega

### Colaboración técnica

Renzo Carlos Vergara Arellano

### Fotografías

SERFOR

### Diseño y diagramación

NEGRAPATA S.A.C.

Teléfono: (01) 425 6979

### © Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)

Av. Javier Prado Oeste N° 2442

Urb. Orrantía, Magdalena del Mar, Lima - Perú.

Teléfono: (511) 225-9005

[www.gob.pe/serfor](http://www.gob.pe/serfor)

[informes@serfor.gob.pe](mailto:informes@serfor.gob.pe)

Primera edición digital, abril 2025.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú

N° 2025-03889

ISBN: 978-612-5116-12-3

La elaboración de este documento fue posible gracias al apoyo de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del programa Gestión Ambiental y Forestal orientada a la Implementación (ProAmbiente).

Estudio: "Rendimiento de carbón a partir de la madera de algarrobo para la costa norte del Perú (Tumbes, Piura y Lambayeque)".

Autorización de investigación: Resolución Directoral N° D000133-2022-MIDAGRI- SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF

Se autoriza la reproducción o uso de la información de esta guía, siempre que se cite correctamente la fuente.

### Referencia sugerida

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2024).

Rendimiento en la producción de carbón vegetal a partir de

madera rolliza de *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.)

C.E. Hughes & G.P. Lewis "algarrobo" en la costa norte - Piura



# PRESENTACIÓN

El algarrobo es una especie clave de los bosques estacionalmente secos de la costa norte del Perú y es un recurso forestal multipropósito que brinda diferentes productos y usos a los pobladores de esta zona del país, entre ellos la algarroba para la producción de derivados como algarrobina y harina, el follaje para la ganadería, así como leña y carbón vegetal obtenidos a partir de trozas del fuste y ramas.

En este contexto, la producción de carbón vegetal de algarrobo en la costa norte es principalmente artesanal, para esto se emplean hornos cubiertos con material vegetal y tierra denominados localmente como “huayronas” en donde se realiza la combustión incompleta de la madera. La producción es realizada dentro de las áreas de aprovechamiento de los títulos habilitantes.

En cuanto al rendimiento de carbón vegetal a partir de madera rolliza (trozas y ramas) existen estudios no publicados y tesis de universidades, sobre todo aplicados a hornos artesanales, donde el rendimiento promedio obtenido varía en diferentes porcentajes. Además, no se cuenta con una referencia técnica actualizada sobre dicho rendimiento para la especie.

Al respecto, el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) a través de la Dirección de Estudios e Investigación (DEI) de la Dirección General de Política y Competitividad Forestal y de Fauna Silvestre (DGPCFFS), la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre de Piura (ATFFS Piura) y la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre de Lambayeque (ATFFS Lambayeque) desarrollaron el estudio sobre el rendimiento de carbón a partir de la madera de algarrobo en la costa norte – Piura, a fin de obtener un rendimiento promedio de referencia y poner los resultados a disposición de los actores y usuarios que gestionan y aprovechan este recurso en la costa norte.

Finalmente, la elaboración y publicación de este documento técnico forma parte del compromiso continuo del SERFOR para fomentar y desarrollar estudios e investigación científica en respuesta a las necesidades del sector forestal y de fauna silvestre en el país para contribuir con su desarrollo y competitividad.

## **Jessica Moscoso Guerrero**

Directora General

Dirección General de Política y Competitividad

Forestal y de Fauna Silvestre

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)

# ÍNDICE

---

<b>1.</b>	INTRODUCCIÓN	6
<b>2.</b>	PRODUCCIÓN DE CARBÓN DE ALGARROBO EN LA COSTA NORTE	8
<b>3.</b>	IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO	16
<b>4.</b>	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
<b>5.</b>	CONCLUSIONES	37
<b>6.</b>	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
<b>7.</b>	ANEXOS	42

---

# INTRODUCCIÓN

El “algarrobo” *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis (Fabaceae), también conocida anteriormente como *Prosopis pallida*<sup>1</sup>, es una especie clave para la funcionalidad de los ecosistemas de bosque seco y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos del norte del país. Está altamente adaptada a condiciones extremas de aridez y humedad, incluida su respuesta frente al fenómeno de “El Niño” (Salazar Zarzosa et al., 2021). En cuanto a su distribución, los bosques de algarrobo se desarrollan principalmente en los ecosistemas de bosques estacionalmente secos de llanura y ribereño de la costa, en una superficie estimada de más 1.5 millones de hectáreas (MINAM, 2019). Estos se ubican principalmente en los departamentos de Tumbes, Piura, Lambayeque y en menor proporción o probabilidad en La Libertad, Lima, Ica, Ancash y Arequipa.

El algarrobo también es un recurso forestal muy importante para las comunidades de la costa norte, puesto que al ser una especie multipropósito proporciona diferentes productos y usos a los pobladores de esta zona del país (SERFOR, 2021a), entre ellos, las vainas de algarrobo “algarroba” para algarrobina y harina, forraje para ganadería, flores para producción de miel, así como leña y carbón vegetal a partir de las trozas y ramas. En cuanto al carbón, es elaborado en hornos artesanales llamados localmente en la costa norte como “huayronas” o “parvas”.

En lo que respecta a la producción de carbón de algarrobo en Tumbes, Piura, Lambayeque y la Libertad, este representó el 31% de todo el carbón producido del país durante periodo 2010-2020. No obstante, en estos departamentos dicha producción viene reduciéndose en los últimos años (SERFOR, 2021b).

---

1 De acuerdo con el estudio de Hughes et al. (2022) sobre la desintegración del género *Prosopis*, el algarrobo *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth es ahora un sinónimo de *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E. Hughes & G.P. Lewis.

En lo que concierne al rendimiento de carbón, los estudios desarrollados sobre todo en la costa norte muestran que el rendimiento promedio varía desde 28.9% hasta 40.0%, siendo gran parte de ellos realizados en hornos artesanales y con menos de 15 individuos evaluados (INRENA – ATFFS Tumbes Piura, 2003; Rocha, 2012; Fiestas, 2021).

Asimismo, la normativa vigente referida a la elaboración de la declaración de manejo para el aprovechamiento forestal maderable en bosques secos<sup>2</sup>, indica referencias de rendimiento de producción de carbón vegetal por método artesanal que data del año 2003. Sin embargo, la misma normativa señala la posibilidad de utilizar información más actualizada.

En este contexto, el SERFOR, a través de la Dirección de Estudios e Investigación (DEI) de la Dirección General de Política y Competitividad Forestal y de Fauna Silvestre (DGPCFFS), con el apoyo de la Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre (ATFFS) de Piura y de la ATFFS de Lambayeque, y con la asistencia técnica del programa Gestión Ambiental y Forestal orientada a la Implementación (ProAmbiente) de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), ha desarrollado el estudio denominado “Rendimiento de carbón a partir de la madera de algarrobo para la costa norte - Piura”<sup>3</sup>, a fin de contar con una referencia técnica actualizada de rendimiento de carbón vegetal de algarrobo por método artesanal y así contribuir con las actividades de aprovechamiento y gestión sostenible de este recurso en la costa norte.

---

2 Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000061-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE (08.03.2023), se aprueba los “Lineamientos para la elaboración de la declaración de manejo para el aprovechamiento forestal maderable en bosques secos”.

3 Estudio que cuenta con la Autorización con fines de investigación científica aprobada mediante Resolución Directoral N° D000133-2022- MIDAGRI-SERFOR-DGGSPFFS-DGSPF (21 de octubre de 2022).

# PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL DE ALGARROBO EN LA COSTA NORTE

**"En este ítem se desarrollan aspectos como el proceso de carbonización, producción de carbón y rendimiento de carbón en estudios previos, como información de contexto para el desarrollo del estudio."**

## Proceso de carbonización

El carbón de la madera es obtenido a través de la exposición a altas temperaturas durante un tiempo determinado sin la presencia de oxígeno, denominada también pirolisis. En este proceso generalmente se observan cuatro (04) fases: (i) combustión, donde el material debe arder en presencia de oxígeno, (ii) deshidratación endotérmica, variable en periodo dependiendo de la cantidad de humedad de la madera y método utilizado, aquí la temperatura aumenta hasta los 270°C; en esta fase la madera pierde humedad (secado) eliminando compuestos volátiles y vapor de agua, (iii) fase exotérmica, a partir de los 280°C y una vez eliminada el agua y sin el aporte de calor exterior, se incrementa la temperatura rápidamente, empezando la descomposición de la madera y varias sustancias, obteniéndose carbón vegetal (sólido) y un destilado llamado licor piroleñoso, que es una mezcla de agua y componentes orgánicos como ácido acético, metanol, etanol, ácido propiónico, ácido fórmico, furfural y compuestos fenólicos entre otros, y además se obtiene una mezcla de gases no condensables que contiene dióxido y monóxido de carbono, hidrógeno, metano, etileno, entre otros compuestos orgánicos, (iv) enfriamiento, en la cual la temperatura desciende (Rocha, 2012; Navas, 2001).

De acuerdo con el trabajo de Díaz Batalla et al. (2010) la producción de carbón en la costa se realiza principalmente mediante el método artesanal, donde se usan los hornos denominados huayronas (Figura 1). No obstante, en menor grado se utilizan hornos semiindustriales que son de mayor dimensión en los que generalmente se mezcla la madera de algarrobo con otras especies forestales y frutales para la obtención de carbón vegetal (Figura 2).

El método artesanal “huayrona” o “parva” (Figura 3) consiste en apilar secciones o fragmentos de madera rolliza previamente trozada, formando una estructura en forma de prisma rectangular que posteriormente es cubierta con una capa de materia orgánica vegetal (hojarasca o cascarilla de arroz) y otra capa de tierra formando una estructura de prisma trapezoidal, la cual es sometida a combustión lenta por aproximadamente 15 a 20 días. Esta es controlada a través de orificios ubicados en la parte lateral que cumplen la función de chimeneas o respiraderos. Posteriormente se deja enfriar al aire y finalmente es envasado y acopiado para su transporte y comercialización (INRENA - ATFFS Tumbes Piura, 2003).

**Figura 1.**  
Horno artesanal para la producción de carbón “huayrona”

a. Apilado de trozas y ramas de algarrobo para producción de carbón



b. Huayrona para la producción de algarrobo



**Figura 2.**  
Horno semiindustrial para la producción de carbón



**Figura 3.**  
Método artesanal de producción de carbón vegetal

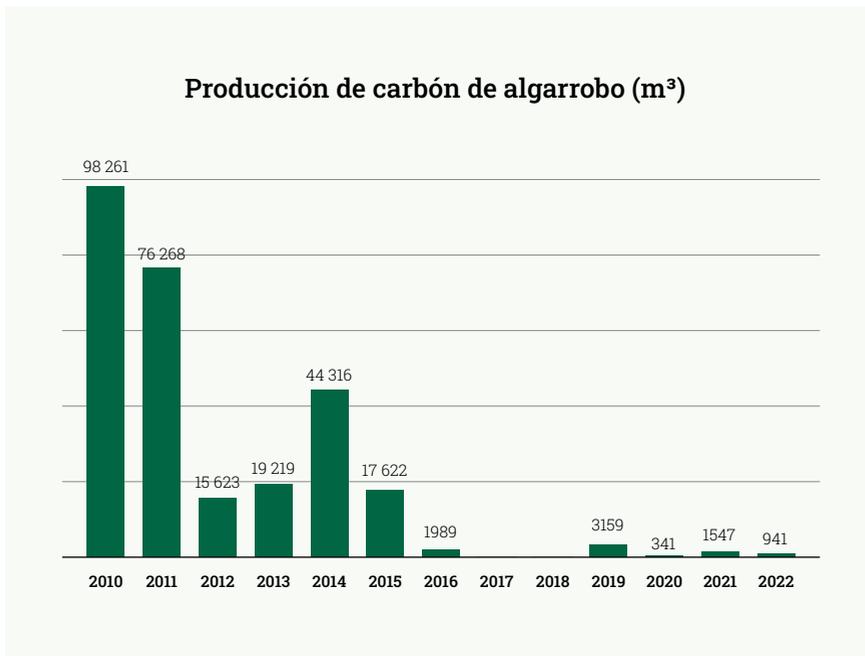


## Producción de carbón

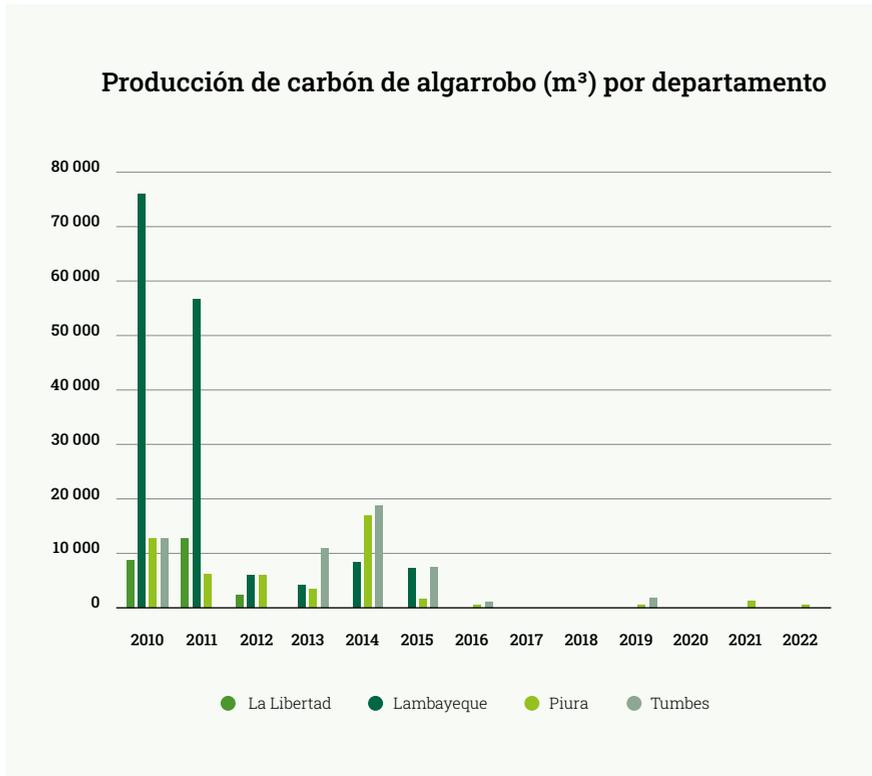
Sobre la producción de carbón de *N. pallida*, de acuerdo con los anuarios forestales y de fauna silvestre del SERFOR (SERFOR, 2021b, 2022a, 2023) se registra un volumen de 279,629 m<sup>3</sup> de carbón producidos en el periodo del 2010 al 2022. Los departamentos de Lambayeque, Piura y Tumbes son los de mayor producción. No obstante, esta viene disminuyendo notoriamente en los últimos años (Figura 4).

**Figura 4.**  
Evaluación de producción de carbón de algarrobo 2010-2022

### a) Producción nacional



## b) Producción de los departamentos de la costa norte



## Rendimiento de carbón en estudios previos

Los estudios previos sobre rendimiento de obtención de carbón a partir de la madera de algarrobo corresponden a documentos no publicados y tesis de universidades de la costa norte (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Estudios con estimación del rendimiento de producción de carbón a partir de la madera de algarrobo en la costa norte**

RENDIMIENTO CARBÓN DE ALGARROBO (%)	LOCALIDAD	MÉTODO DE OBTENCIÓN DE CARBÓN	NÚMERO DE MUESTRAS (n)	REFERENCIA
37.5%	Sectores de Cruz Blanca, El imperial y Mocape, Olmos, Lambayeque	Horno artesanal "parva" o "huayrona"	n=13 (parvas o huayrona)	Rocha, 2012
23.7%	Sector Cascajal, Olmos, Lambayeque	Horno artesanal "parva" o "huayrona"	n = 4 (parvas o huayronas)	Alvarado, 2003, en Rocha 2012
37.6%	Sector Puente, Olmos Lambayeque	Horno artesanal "parva" o "huayrona"	---	Beytia, 2004, en Rocha 2012
32.5%	Sector Baden, Olmos Lambayeque	Horno artesanal "parva" o "huayrona"	---	Beytia, 2004, en Rocha 2012
28.9%	Caserío de Pajaritos, Comunidad Campesina de Mancora, Caserío de Quebrada Seca, Tumbes	Horno artesanal "parva" o "huayrona"	n = 3 (individuos del algarrobo)	INRENA – ATFFS Tumbes Piura, 2003
40.0%	Universidad de Piura, distrito de Piura, Piura	Horno tipo retorta (laboratorio)	n = 9 (secciones de 3 individuos de algarrobo)	Fiestas Ramírez, 2021

En relación con estos estudios previos, los que se desarrollaron a través de la evaluación del método artesanal, los valores de rendimiento varían desde 28.9% hasta 37.5%; además, el tamaño de muestras está en función al número de huayronas evaluadas, con un máximo de 13, o en relación con solo tres (03) individuos de algarrobo evaluados.



## IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO

En este ítem se desarrollan los aspectos considerados en el estudio como: ámbito donde se desarrollaron las evaluaciones, metodología aplicada con el conjunto de procedimientos realizados, así como el análisis de estadísticos que permitieron obtener los resultados.

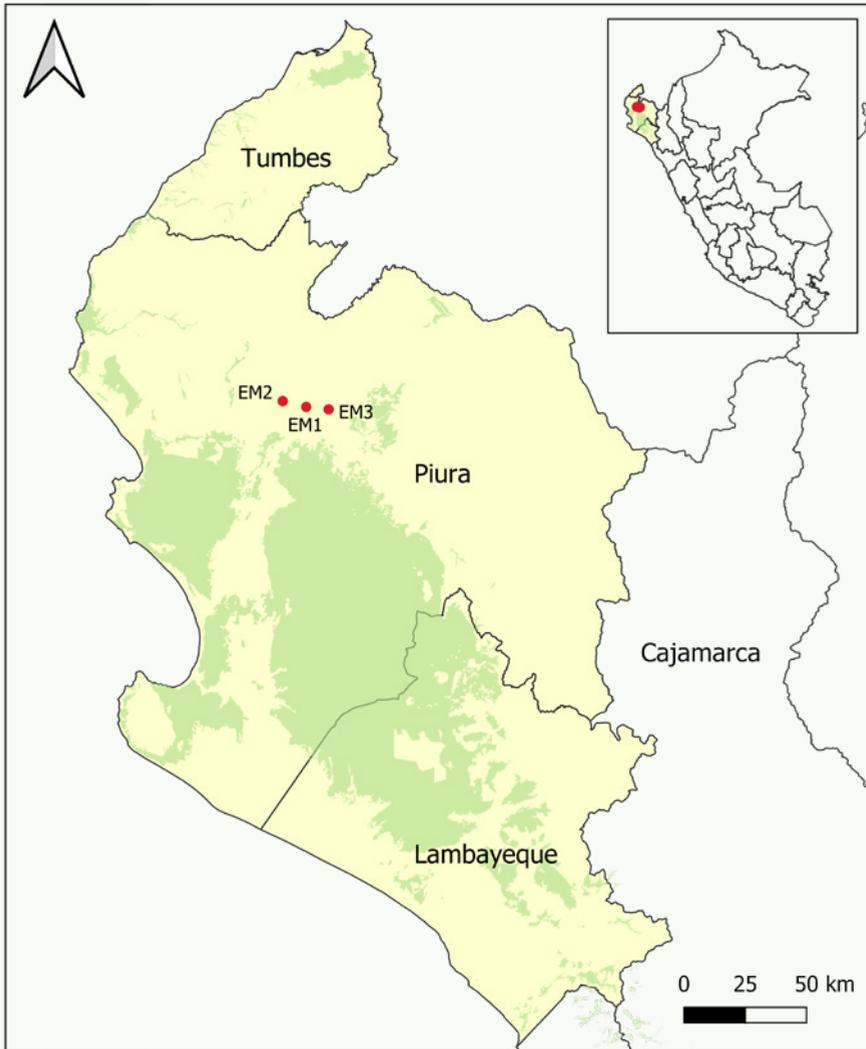
### 3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO

El trabajo de campo se desarrolló entre octubre de 2022 a enero de 2023, en tres (03) áreas bajo manejo de la costa norte que estuvieron produciendo carbón vegetal de algarrobo en ese periodo. Estas áreas se ubicaron en el distrito de Tambo Grande, provincia de Piura y los distritos de Sullana y Bellavista de la provincia de Sullana, departamento de Piura (Cuadro 2), las cuales han sido denominadas estaciones de muestreo (EM).

**Cuadro 2. Estaciones de muestreo del Estudio Rendimiento de carbón a partir de la madera de algarrobo para la costa norte – Piura**

EM	Resolución de aprobación del Plan de Manejo Forestal	Provincia	Distrito	Coordenadas		
				E	N	Zona
1	Resolución Administrativa D000099-2022- MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA	Sullana	Bellavista	559823	9468323	17
2	Resolución Administrativa D000163-2022-MIDAGRI- SERFOR-ATFFS-PIURA	Sullana	Sullana	550271	9470700	17
3	Resolución Administrativa D000212-2022-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-PIURA	Piura	Tambo Grande	568938	9467317	17

**Figura 5.**  
**Mapa de ámbito del estudio**



- Estaciones de muestreo - EM
- Ecosistemas de bosques seco asociados a algarrobo

Legenda: Los ecosistemas de bosques secos asociados al algarrobo corresponden a los bosques estacionalmente secos de llanura y ribereño (MINAM, 2019).

## 3.2 METODOLOGÍA

### 3.2.1 Muestreo

#### a. Tamaño de muestra

Teniendo en cuenta la disponibilidad de las áreas bajo manejo con producción de carbón de algarrobo y considerando la recomendación de tamaño muestral por efectos estadísticos de un estudio de rendimiento en madera (Chávez y Guillen, 1997), el tamaño de la muestra fue de 30 (n) árboles de algarrobo, y cada uno fue transformado a carbón individualmente.

La distribución de muestras fue de 10 por cada área bajo manejo, lo que a la vez representaron tres (03) estaciones de muestreo (EM). La selección de las muestras fue de acuerdo con el recorrido de los productores de carbón, realizándose en fajas de aprovechamiento.

#### b. Selección del individuo y colecta botánica

Para la identificación de los árboles a aprovechar se tuvo en cuenta el diámetro mínimo de corta (DMC) de 30 cm para el algarrobo (con nombre científico *P. pallida*, el cual es actualmente sinónimo de *N. pallida*) establecido en la Resolución Jefatural N° 458– 2002-INRENA. La selección de árboles a evaluar fue de acuerdo con el recorrido del aprovechamiento del recurso en las áreas bajo manejo.

La recopilación de información botánica incluyó datos sobre la identificación taxonómica de la especie, la georreferenciación de cada árbol, y datos adicionales para la identificación en herbarios (de ser necesario).

### 3.2.2 Evaluación de rendimiento de carbón vegetal a partir de la madera de algarrobo

Para la elaboración de la presente metodología se tomó en cuenta los estudios de rendimiento de carbón a partir de trozas de algarrobo en huayronas (método artesanal) realizados por el INRENA – ATFFFS Tumbes Piura (2003) y SERFOR – ATFFFS Lambayeque (2014).

La evaluación de rendimiento se realizó en concordancia con el procedimiento de obtención de carbón de algarrobo en hornos artesanales “huayronas” (Ver título 2, Proceso de carbonización). Las evaluaciones siguieron las siguientes etapas:

### a. Evaluación dasométrica en pie

La recopilación de información dasométrica de los caracteres del fuste como el diámetro a la altura del pecho (DAP), altura comercial (Hc), altura total (Ht), y del diámetro de las ramas primarias y secundarias (D), así como de su longitud de ramas (L), se realizó de acuerdo con los lineamientos y formatos para la formulación de los Planes de Manejo Forestal en Bosques secos de la Costa<sup>4</sup>. Las medidas dasométricas fueron registradas utilizando el hipsómetro para la altura y la cinta métrica para los diámetros.

- Para el cálculo del volumen en pie se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Volumen en pie o volumen de rama (m}^3\text{)} = AB \times L \times F$$

Donde:

V : Volumen (m<sup>3</sup>)

AB : Área basal (metros cuadrados)

L : Altura comercial (Hc) o longitud de rama (L) (metros)

D : Diámetro de rama o DAP (metros)

F : Factor de forma (0.90 para el caso de Algarrobo)

- Para el cálculo del área basal (AB) se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Área Basal} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2$$

Donde:

AB : Área basal  $\pi$  : Pi (3.1416)

D : Diámetro

El volumen del árbol en pie se obtuvo a través de la sumatoria del volumen del fuste y los volúmenes de las ramas.

4 Aprobado mediante Resolución Ministerial N° 166-2012-AG.

**Figura 6.**  
**Evaluación de la altura mediante hipsómetro**



#### **b. Tumbado y trozado**

Los árboles fueron tumbados y trozados en secciones de longitudinales empleando la motosierra como herramienta de corte. Cabe precisar que los árboles utilizados en el presente estudio son aquellos que fueron aprobados en el Plan de Manejo Forestal.

#### **c. Cálculo del volumen y peso**

Posterior al trozado, se realizó la medición de cada una de las piezas de madera rolliza del individuo para obtener información del volumen ( $m^3$ ) y del peso (kg) e identificando cuando corresponde a fuste (F) o rama (R). El diámetro mínimo de las ramas evaluadas fue de 3 cm, considerando que para la producción de carbón se utilizan las ramas a partir de este diámetro.

Para la información del volumen se midió el diámetro mayor y menor y la longitud de la troza del fuste y ramas. Asimismo, se registró el peso de cada pieza por árbol. Las medidas de longitud y diámetro se realizaron con una wincha; y para el pesaje se utilizó una balanza digital.

**Figura 7.**  
**Medición y pesaje de trozas**



- Para la obtención del volumen de cada troza o sección de fuste o rama se utilizó la fórmula de Smalian:

$$\text{Volumen rollizo (m}^3\text{)} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times \left(\frac{D + d}{2}\right)^2 \times L$$

Donde:

D: Diámetro mayor (m) d: Diámetro menor (m)  
 $\pi$ : Pi (3.1416)

- La obtención del volumen rollizo total de las secciones del árbol que ingresaron a la huairona correspondió a la sumatoria de los volúmenes de sus respectivas trozas y ramas:

$$\text{Volumen rollizo total (m}^3\text{)} = \text{Vol}_1 \text{ (m}^3\text{)} + \text{Vol}_2 \text{ (m}^3\text{)} + \dots + \text{Vol}_n \text{ (m}^3\text{)}$$

Donde:

Vol<sub>1</sub> (m<sup>3</sup>): Volumen de la troza o rama 1.

Vol<sub>2</sub> (m<sup>3</sup>): Volumen de la troza o rama 2.

Vol<sub>n</sub> (m<sup>3</sup>): Volumen de la última troza o rama del árbol que ingresa al proceso de carbonización.

- La obtención del peso total de las secciones del árbol que ingresó al proceso de carbonización en la huairona, fue a partir de la sumatoria de los pesos de sus respectivas trozas del fuste y ramas:

$$\text{Peso total (kg)} = \text{Peso}_1 \text{ (kg)} + \text{Peso}_2 \text{ (kg)} + \dots + \text{Peso}_n \text{ (kg)}$$

Donde:

Peso<sub>1</sub> (kg): peso de la troza o rama 1.

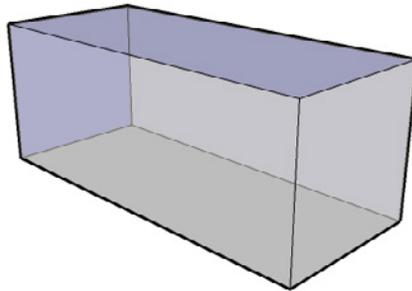
Peso<sub>2</sub> (kg): peso de la troza o rama 2.

Peso<sub>n</sub> (kg): peso de la última troza o rama del árbol que ingresa al proceso de carbonización.

#### d. Volumen de trozas apiladas

Una vez apilada la madera de algarrobo se calculó su volumen tomando en cuenta la forma de ortoedro o prisma rectangular. Para ello, con una wincha se tomó una (01) medida de la longitud, tres (03) medidas del ancho y tres (03) medidas de la altura en tres puntos distintos de la hornilla (extremos y medio). Los valores obtenidos se promediaron y con ellos se obtuvo el volumen.

**Figura 8.**  
**Mediciones de trozas apiladas**



➤ Para el cálculo de volumen se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen apilado (m}^3\text{)} = \text{Longitud (m)} \times \text{Ancho promedio (m)} \times \text{Altura promedio (m)}$$

#### e. Tapado de horno

En esta etapa del proceso de producción de carbón se obtuvo información del material que se utiliza para cubrir la hornilla, el cual puede ser cascarilla de arroz u otros que considere el titular.

#### f. Carbonización y enfriamiento

En esta etapa se recopiló información sobre el periodo de carbonización y enfriamiento, desde el encendido de la huayrona hasta que se enfría y se empieza a abrir para la obtención del producto transformado.

#### g. Peso de carbón

Posterior al enfriamiento, el carbón obtenido de la huayrona fue almacenado en costales de una capacidad de hasta 90 kg aproximadamente. Una vez terminado de encostar el carbón se realizó el pesaje de todos los sacos de carbón producidos que correspondieron a la huayrona, y que a la vez provinieron de un individuo de algarrobo aprovechado. El pesaje se realizó a través de una balanza digital.

**Figura 9.**  
**Pesaje de la producción de carbón**





- El cálculo del peso total de carbón obtenido de la huayrona, se realizó a través de la siguiente formula:

$$\text{Peso total de carbón (kg)} = \text{Peso saco}_1 \text{ (kg)} + \text{Peso saco}_2 \text{ (kg)} + \dots + \text{Peso saco}_n \text{ (kg)}$$

Donde:

Peso saco<sub>1</sub> (kg): peso de saco con carbón 1.

Peso saco<sub>2</sub> (kg): peso de saco con carbón 2.

Peso saco<sub>n</sub> (kg): peso del último saco con carbón de la huayrona.

#### h. Estimación de pesos por unidad volumétrica (m<sup>3</sup>)

- Para estimar el peso de la madera rolliza (trozas y ramas) utilizada y el peso del carbón obtenido por un (1) m<sup>3</sup>, se utilizaron las siguientes relaciones:

<p><b>Para madera:</b></p> $\text{Peso de trozas por m}^3 \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso total de un árbol (kg)}}{\text{Volumen rollizo total de un árbol (m}^3\text{)}}$
<p><b>Para carbón:</b></p> $\text{Peso de carbón obtenido en 1 m}^3 = \frac{\text{Peso total de carbón (kg)}}{\text{Volumen rollizo total de un árbol (m}^3\text{)}}$

### i. Estimación del rendimiento

- Para la estimación del rendimiento, se utilizó la fórmula aplicada por Flores y Quinteros (2008) y Rocha (2012), donde el rendimiento expresado en porcentaje se obtiene de la relación de la cantidad de carbón obtenido entre la cantidad de madera (trozas y ramas).

$$\text{Rendimiento (\%)} = \frac{\text{Peso del carbón obtenido (kg)}}{\text{Peso de trozas y ramas utilizada (kg)} \times 100}$$

### j. Coeficiente de apilado

- También se calculó el coeficiente de apilado, es decir, la relación entre la sumatoria de los volúmenes rollizos (trozas y ramas) y el volumen en el apilado. La determinación de este coeficiente permite determinar el volumen real de madera que contiene la "hornilla" (López, 2023).

$$\text{Coeficiente de apilado} = \frac{\text{Volumen rollizo total de un árbol (m}^3\text{)}}{\text{Volumen del apilado por huayrona (m}^3\text{)}}$$

## 3.2.3 Análisis estadísticos

Las variables evaluadas en campo y analizadas para el cálculo del rendimiento son:

- > Volumen en pie (m<sup>3</sup>)
- > Volumen de madera rolliza [trozas y ramas] (m<sup>3</sup>)
- > Peso de madera rolliza [trozas y ramas] (kg)
- > Peso madera rolliza por 1 m<sup>3</sup>
- > Peso de carbón (kg)
- > Peso de carbón (kg) por 1 m<sup>3</sup>
- > Rendimiento (%)
- > Coeficiente de apilado
- > Volumen de apilado (m<sup>3</sup>)

Utilizando el software Minitab 22, se realizaron los siguientes análisis estadísticos:

- Aplicación de la prueba no paramétrica de normalidad de Ryan-Joiner al conjunto de valores obtenidos de las variables para determinar si muestran una distribución normal.
- Análisis a través de diagramas de cajas y bigotes (estadística descriptiva) para identificar la presencia de valores atípicos y extremos que puedan sesgar los resultados de la investigación (Tukey, 1977).
- Aplicación de la prueba t de student para conocer si hay diferencias significativas entre el volumen de madera rolliza (trozas y ramas) y el volumen en pie estimado de los árboles de algarrobo.
- Aplicación del ANOVA (análisis de varianza) de un solo factor con un nivel de confianza de 95% y utilización de la prueba de Tukey con un nivel de significación de 5% para los rendimientos obtenidos en el muestreo.
- Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson con un nivel de confianza de 95% para examinar la fuerza y la dirección de la relación lineal entre variables, los valores pueden variar de -1 a 1, mientras mayor sea el valor absoluto del coeficiente, más fuerte será la relación entre las variables. La interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson según las sugerencias de Cohen, indica que la magnitud es independiente del signo y según el detalle a continuación (Hernández et al., 2018).

Rango de valores de (r)	Interpretación
$0.00 \leq  (r)  < 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq  (r)  < 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq  (r)  < 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq  (r)  < 1.00$	Correlación fuerte

- Para el rendimiento y volumen de apilado se calcularon las medidas de tendencia central como promedio (media aritmética), medidas de dispersión como rango, desviación estándar y varianza de la muestra, y medidas generales (límites máximos y mínimos).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del estudio implementado para estimar el rendimiento de carbón obtenido a partir de la madera de *N. pallida* "algarrobo", corresponden a la aplicación de la metodología durante el proceso de obtención de carbón a través de hornos artesanales "huayronas" en áreas bajo manejo forestal en Piura, entre octubre de 2022 a enero de 2023.

Para tener un adecuado seguimiento en la aplicación del método, las evaluaciones se realizaron desde que el árbol fue seleccionado en pie para aprovechamiento hasta el pesaje de los sacos de carbón obtenidos producto de la carbonización.

### 4.1 IDENTIFICACIÓN DE LA ESPECIE

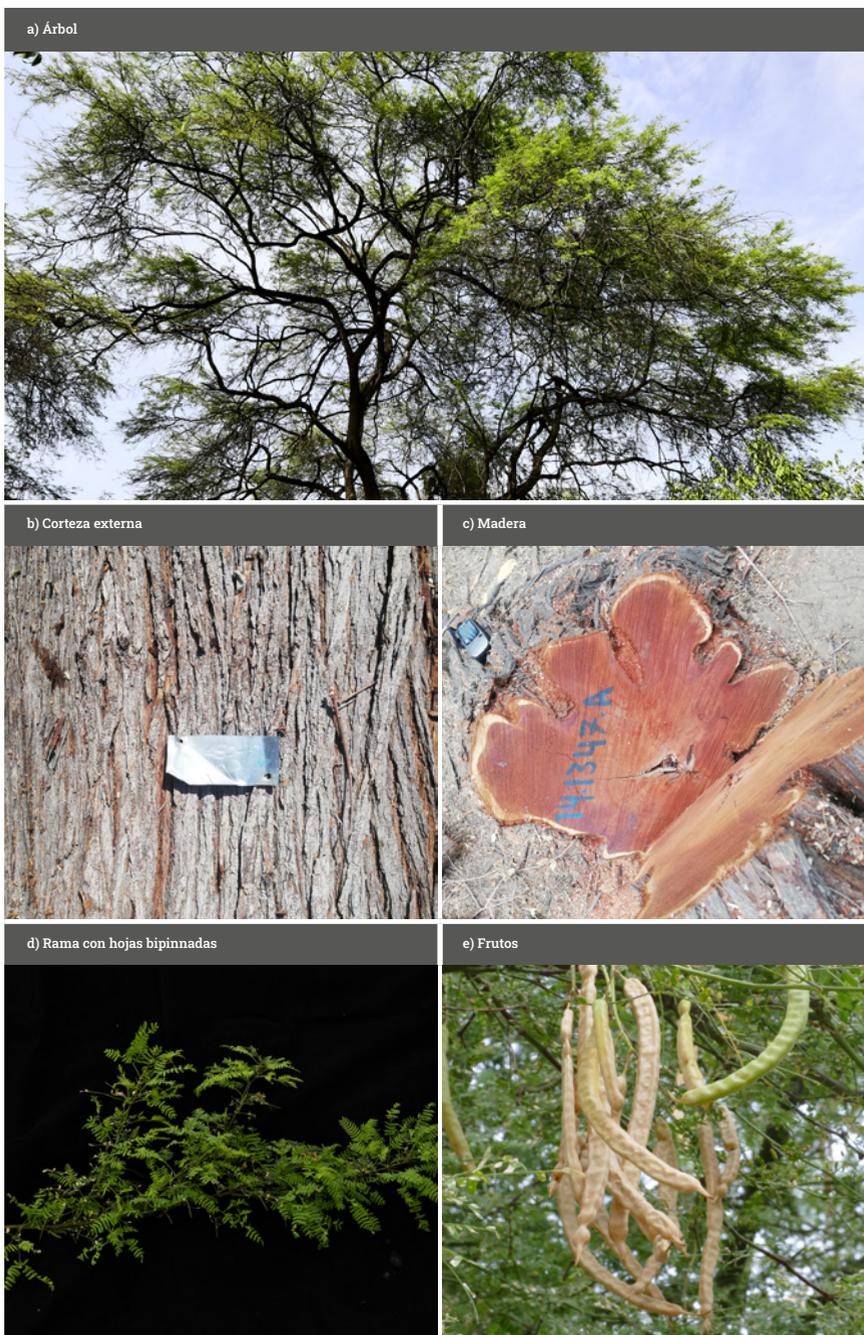
La identificación botánica de los árboles de algarrobo evaluados correspondió a la especie *Neltuma pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) C.E.Hughes & G.P.Lewis (Fabaceae). Las muestras botánicas están depositadas en el Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina (MOLF).

Anteriormente esta especie fue denominada como *Prosopis pallida* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth. Sin embargo, de acuerdo con el estudio filogenético de Hughes, et al. (2022), las especies de *Prosopis* ocurrientes en Perú corresponden a los géneros *Neltuma* y *Strombocarpa*. Además, esta actualización taxonómica se recoge en la Lista Oficial de Especies Forestales aprobado por el SERFOR mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000163-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE.

*N. pallida* se caracteriza por ser un árbol de 8-20 m de alto. El fuste es, generalmente, de hasta 60 cm de diámetro. Presenta corteza fisurada, de color marrón a grisácea. La albura es de color amarillenta y el duramen varía de color rojizo a marrón. Los individuos, pueden o no presentar espinas, cuando están presentes, son cortas,

axilares, de hasta 4 cm. La ramificación basal es ligeramente fastigiada (dirigidas hacia el ápice del árbol) y las últimas son paralelas al terreno. Presenta ramitas con entrenudos muy cortos, con pocas hojas (1-3). Las hojas son de hasta 15 cm de largo, compuestas, bipinnadas, es decir, con el limbo dividido en pinnas, que su vez tienen folíolos de segundo orden o foliólulos colocados en un raquis de segundo orden o raquilla, pubescentes, cilioladas o casi glabras; con 2-4 pares pinnas, cada pinna con 6-15 (generalmente de 10-13) pares de foliólulos; estos son aproximadamente de 7 mm de largo o más, por 2-2.5 mm de ancho, de forma elíptica a elíptica-angostas, el ápice es mucronado, con pelos o tricomas dispersos, rígidos y agudos. El racimo es espiciforme (en forma de espiga), más largo que las hojas. Presenta numerosas flores (200-250 por racimo), con pedicelos, cortos, verde-amarillas; cáliz de 0.5-1.5 mm de longitud, ciliolado; pétalos de 2.5-3 mm de longitud, libres, vilosos interiormente (pelos largos); los estambres son de 5-7 mm de longitud. Frutos en vainas de 14-22 cm de longitud, de 1-1.5 cm de ancho, en general rectos, generalmente amarillos al madurar, adelgazados hacia el ápice, con 18-27 artejos. Las semillas son de 4.8-6.2 mm de longitud, 3.7-4.6 mm de ancho y 1.8-3.2 mm de espesor, de forma elíptica a ampliamente ovada (Burkart, 1976; Mom et al., 2002; SERFOR, 2022b).

**Figura 10.**  
**Características de *Neltuma pallida* "algarrobo"**



## 4.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ESTADÍSTICOS

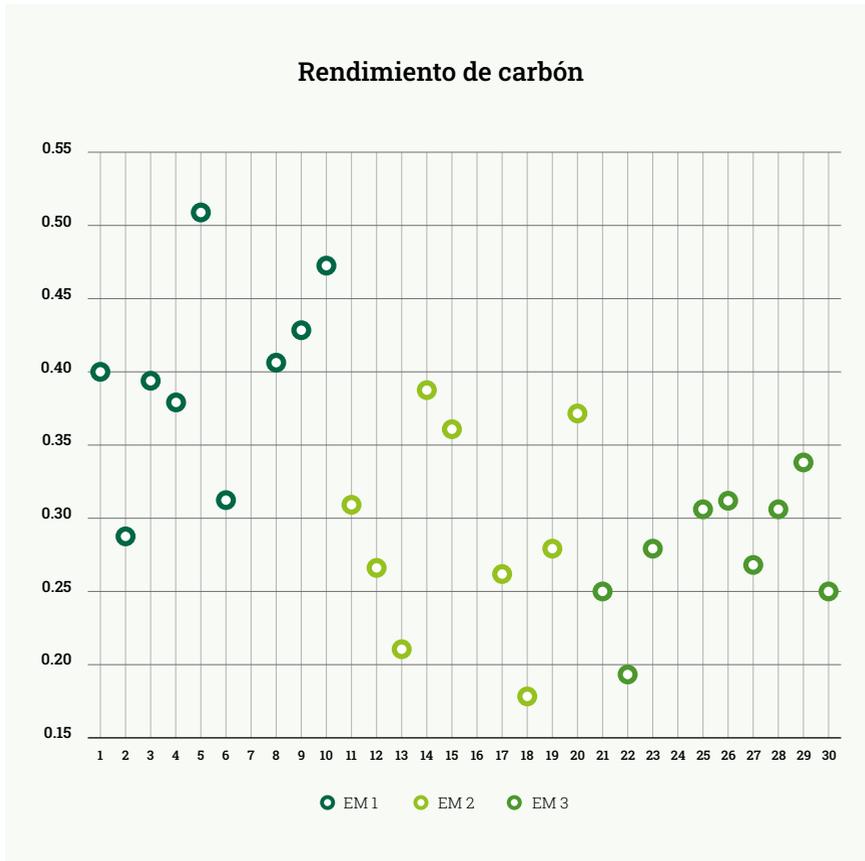
La prueba de normalidad de Ryan-Jonier mostró que los valores de los conjuntos de variables no se ajustaron a una distribución normal ( $p < 0.01$ ) (Anexo 1), identificándose cuatro valores atípicos (valor EM 3: muestra 24 de volumen en pie, valor EM 2: muestra 16 de peso de madera por  $1 \text{ m}^3$ , valor EM 1: muestra 7 de peso de carbón por  $1 \text{ m}^3$ , y valor EM 1: muestra 7 de rendimiento) (Anexo 2). Considerando que los valores atípicos pueden afectar a los resultados, se retiraron para la estimación del rendimiento. Posteriormente, se volvió a realizar la prueba de normalidad resultando que los conjuntos de valores presentan una distribución normal ( $p > 0.05$ ) (Anexo 1).

La correlación entre las variables registradas en campo y los valores obtenidos, mediante la aplicación de la prueba paramétrica de correlación de Pearson, presentó un valor  $> 0.5$  entre dichas variables, indicando una correlación fuerte entre ellas (Anexo 3).

### 4.3 RENDIMIENTO DE CARBÓN VEGETAL DE ALGARROBO

Los resultados del rendimiento de carbón de algarrobo por cada estación de muestreo (n=30) se muestran en la Figura 13.

**Figura 13.**  
**Rendimientos (%) de carbón**  
**de algarrobo por estación de muestreo (n = 27)**



La aplicación del ANOVA mostró que los rendimientos de la EM 2 y EM 3 no presentan diferencia entre ellas ( $p= 0.897$ ) a diferencia de los rendimientos de estas EM con la EM 1 (Anexo 4). Al respecto y de acuerdo con lo indicado por Racha (2012), la relación entre la EM 2 y EM 3 podría deberse a que el proceso de carbonización fue similar y que la madera tendría las mismas condiciones antes de iniciar el proceso de carbonización. Asimismo, el tiempo de transformación (8 a 9 días) fue similar entre ellos. Por otro lado, teniendo en cuenta que presentan valores de medias similares, se utilizaron los valores de toda la muestra para el cálculo del rendimiento y las medidas de tendencia central (Anexo 5).

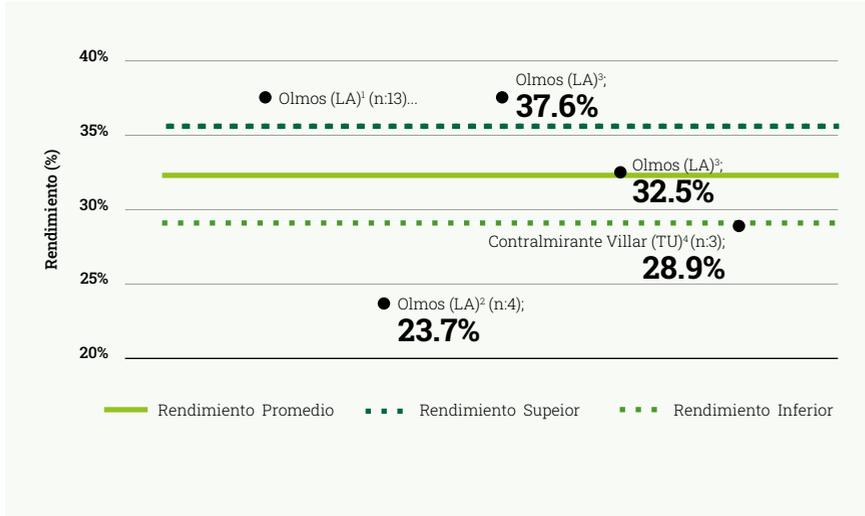
Por tanto, los cálculos respecto a los conjuntos de valores de variables que muestran distribución normal ( $n_{\text{normal}} = 27$ ), determinan que un metro cúbico ( $1\text{m}^3$ ) de madera rolliza de algarrobo (trozas y ramas) pesa en promedio 981.03 kg, y que luego de su transformación en carbón por método artesanal (huayronas) pesa en promedio 315.78 kg, teniendo un rendimiento promedio de 32.3%.

Asimismo, a un intervalo de confianza del 95%, el valor de límite inferior del rendimiento es de 29.1%, mientras que el valor de límite superior es de 35.6%.

Cabe señalar que el rendimiento promedio de carbón obtenido por método artesanal "huayronas" y los límites máximos y mínimos a un intervalo de confianza 95% del presente estudio son semejantes a los datos de rendimiento obtenidos en Tumbes y el sector Baden en Olmos - Lambayeque con el mismo método (INRENA – ATFFS Tumbes Piura, 2003; Beytia, 2004 citado en Rocha, 2012); mientras que son inferiores o superiores a los resultados de rendimiento con el mismo método en otras localidades de la costa norte como Olmos – Lambayeque (Alvarado, 2003 citado en Rocha, 2012; Beytia, 2004 citado en Rocha, 2012; Rocha, 2012;). No obstante, se debe precisar que en esta investigación se tuvo un mayor esfuerzo de muestreo ( $n = 30$ ) respecto a las referencias señaladas, donde en general no superan las 13 muestras ( $n \leq 13$ ).

**Figura 15.**

Rendimiento promedio de obtención de carbón a partir de trozas y ramas de algarrobo en hornos artesanales y límites superior e inferior en Piura (2023), y datos de rendimiento en otros estudios como (1) Rocha, 2012, (2) Alvarado, 2003 citado en Rocha, 2012, (3) Beytia, 2004 citado en Rocha, 2012, (4) INRENA – ATFFS Tumbes Piura, 2003

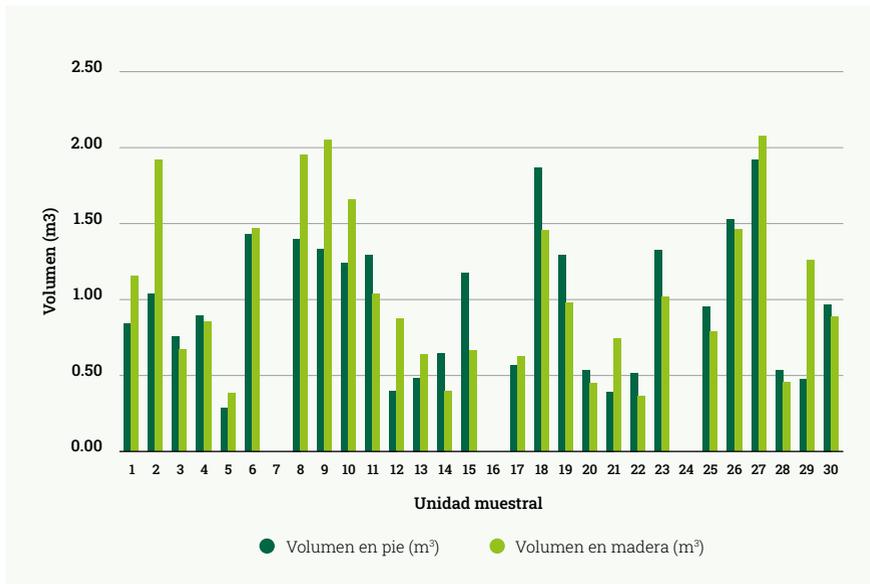


## 4.4 RELACIÓN ENTRE VOLUMEN EN PIE Y VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA

Otro resultado del estudio es la relación entre el volumen en pie ( $m^3$ ) y el volumen rollizo ( $m^3$ ) de algarrobo. Al respecto y de acuerdo con la aplicación de la prueba t student a un nivel de confianza de 95%, no hay diferencia significativa entre las medias del conjunto de datos de ambos volúmenes ( $p = 0.543$ ).

**Figura 17.**

Relación de volumen en pie ( $m^3$ ) y volumen rollizo ( $m^3$ ) (trozas y ramas) de algarrobo para la producción de carbón



Este resultado de referencia podría deberse a que los criterios de medición del fuste y ramas de la metodología de estimación del volumen en pie considera casi a la totalidad del árbol que será transformado en carbón. Cabe mencionar que la metodología para estimar el volumen en pie está indicada en los lineamientos y formatos para la formulación de los Planes de Manejo Forestal en Bosques Secos de la Costa<sup>5</sup>, y se mantienen en los lineamientos para la elaboración de declaración de manejo para el aprovechamiento forestal maderable en bosques secos<sup>6</sup>.

5 Aprobado mediante Resolución Ministerial N° 166-2012-AG

6 Aprobado mediante Resolución de Dirección Ejecutiva N°000061-2023-MIDAGRI-SERFOR-DE

## 4.5 APILADO DE MADERA

Adicionalmente al rendimiento, también se generó un resultado referido al análisis del volumen apilado en la hornilla y su relación con el volumen de las trozas y ramas antes de dicho apilamiento.

De acuerdo con las medidas de tendencia central, el promedio del coeficiente de apilado es de 0.54, es decir que, en el apilado de la hornilla, el 54% corresponde a las trozas y ramas, y mientras que el 46% corresponde al espaciamiento en el apilado. Asimismo, a un intervalo de confianza del 95% el límite inferior del coeficiente tiene un valor de 0.49, mientras que el límite superior es de 0.59.

**Figura 11.**  
Porcentaje de trozas y ramas, y de espaciamiento en la obtención de carbón de algarrobo en hornos artesanales



## CONCLUSIONES

- EL SERFOR, a través de la Dirección e Estudios e Investigación y con el apoyo de las Administraciones Técnicas Forestales y de Fauna Silvestre de Piura y Lambayeque implementó el estudio para determinar el rendimiento promedio de carbón a partir de la madera rolliza (trozas y ramas) de "algarrobo" *Neltuma pallida* obtenido mediante el método artesanal. Para tal fin se aplicó una metodología que incluyó evaluaciones en todas las etapas del proceso de producción del carbón en tres (03) áreas bajo manejo de Piura, teniendo como tamaño de muestra 30 individuos de algarrobo (n=30) que posteriormente fueron transformados en carbón mediante el método artesanal (localmente denominadas huayronas).
- El resultado obtenido en base al análisis estadístico determinó que, un metro cúbico (1 m<sup>3</sup>) de madera rolliza de algarrobo (trozas y ramas) pesa en promedio 981.03 kg, y que luego de su transformación en carbón vegetal por método artesanal con huayronas pesa en promedio 315.78 kg, teniendo un rendimiento promedio de 32.3%. Asimismo, a un intervalo de confianza del 95%, el valor de límite inferior del rendimiento es de 29.1%, mientras que el valor de límite superior es de 35.6%.
- El rendimiento promedio obtenido es un valor de referencia con sustento en una metodología replicable y las evaluaciones de campo. Además, en relación con otros estudios sobre la temática, el presente tuvo un mayor esfuerzo de muestreo.

- Otros resultados obtenidos a partir del estudio son:
  - > Las medias del conjunto de valores del volumen en pie ( $m^3$ ) y el volumen rollizo ( $m^3$ ) de trozas y ramas de algarrobo no presentan diferencias significativas.
  - > Se determinó que el volumen promedio de madera rolliza de algarrobo (trozas y ramas) apiladas en la hornilla de la huayronas es de 54%, mientras que el volumen de espaciamiento corresponde al 46%. Asimismo, a un intervalo de confianza de 95%, el límite inferior de volumen de apilamiento es de 49% mientras que el límite superior es de 59%.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burkart, A. E. (1976).** A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Journal of the Arnold Arboretum* 57(4): 450–525.
- Chávez, A. y Guillén, A. (2007).** *Estudio de Rendimiento, Tiempos y Movimientos en el Aserrío Manual Práctico*. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR).
- Díaz Batalla, M., Gonzales Asencio, A., Sifuentes Yepes, D., y Gonzales Mora, E. (2010).** El carbón vegetal: alternativa de energía y productos químicos. *Xilema* 95- 110.
- Fiestas Ramírez, J. E. (2021).** *Producción, rendimiento y estudio del carbón vegetal de Algarrobo obtenido de plantaciones del bosque seco de UDEP* [Tesis, Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5319>
- Flores, R. E., y Quinteros, H. E. (2008).** *Diseño de horno tipo retorta para elaborar carbón vegetal* [Tesis, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador].
- Hernández, J., Espinosa, J., Peñaloza, M., Rodríguez, J., Chacón, J., Toloza, C., Arenas, M., Carrillo, S. y Bermúdez, V. (2018).** Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Revista Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica* 38(5): 587-601. [https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft\\_5\\_2018/25sobre\\_uso\\_adecuado\\_coeficiente.pdf](https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf)

**Hughes, C., Ringelberg, J.J., Lewis, G.P. y Catalano, S.A. (2022).** Disintegration of the genus *Prosopis* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae, mimosoid clade). In: Hughes CE, de Queiroz LP, Lewis GP (Eds) *Advances in Legume Systematics* 14. Classification of Caesalpinioideae Part 1: New generic delimitations. *PhytoKeys* (205),147-189. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.205.75379>

**Instituto Nacional de Recursos Naturales - ATFFS Tumbes PIURA. (2003).** *Estudio sobre el rendimiento en la producción de carbón de algarrobo "método artesanal"*.

**López, C. (2023).** *Cubicación de leñas y madera apilada*. Universidad Politécnica de Madrid. [https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/232/mod\\_label/intro/Tema12.pdf](https://moodle.upm.es/en-abierto/pluginfile.php/232/mod_label/intro/Tema12.pdf)

**MINAM. (2019).** Memoria Descriptiva: Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>

**Mom, M.P., Burghardt, A.D., Palacio, R.A., Albán, L. (2002).** Los algarrobos peruanos: *Prosopis pallida* y su delimitación. *Arnaldoa* 9(1),39-48.

**Navas, S. (2001).** Horno de carbonización de laboratorio programable. *Revista Tecnología en Marcha* 13(3), 53-56.

**Rocha, A. (2012).** *Caracterización del carbón vegetal de algarrobo (Prosopis pallida) de la zona de Olmos - Lambayeque, obtenido por dos métodos de carbonización* [Tesis, Universidad Nacional Agraria La Molina].

**Salazar Zarzosa, P., Mendieta-Leiva, G., Navarro-Cerrillo, R.M., Cruz, G., Grados, N. y Villar, R. (2021).** An ecological overview of *Prosopis pallida*, one of the most adapted dryland species to extreme climate events. *Journal of Arid Environments* 193, 104-576. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2021.104576>

**SERFOR. (2021b).** *Compendio Estadístico Forestal 2010-2020*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/929>

**SERFOR. (2022a).** *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2021*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/943>

**SERFOR. (2022b).** *Guía para la identificación de insectos asociados al algarrobo Prosopis pallida (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Kunth. Volumen I: Tumbes.* Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/924>

**SERFOR. (2023).** *Anuario Forestal y de Fauna Silvestre 2022.* Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/948>

**Tukey, J.W. (1977).** *Exploratory Data Analysis.* Addison-Wesley, Reading, MA.

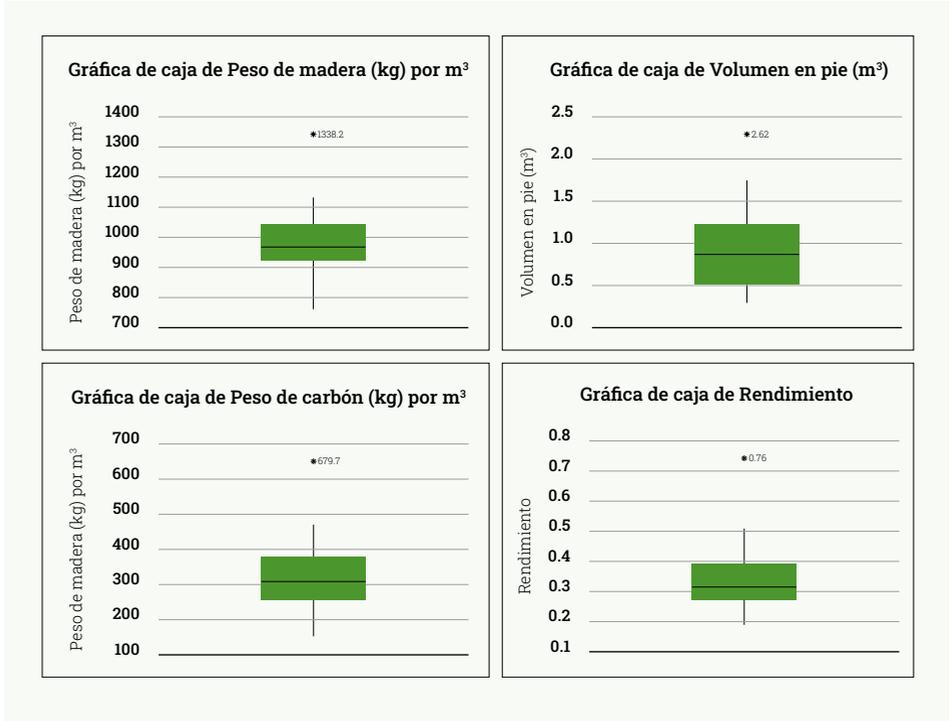
# 07

## ANEXOS

### Anexo 1. Distribución de los datos de variables

PRUEBA DE NORMALIDAD CON EL MÉTODO DE RYAN-JOINER		
VARIABLE / VALOR	n :30	n : 27
	p VALUE	p VALUE
Vol. en pie (m <sup>3</sup> )	0.032	>0.1
Vol. de madera rolliza (m <sup>3</sup> )	0.031	0.083
Peso de madera rolliza (kg)	0.039	0.054
Vol. apilado (m <sup>3</sup> )	0.041	0.075
Peso de carbón (kg)	<0.01	<0.01
Peso madera rolliza por m <sup>3</sup>	0.089	>0.1
Peso de carbón por m <sup>3</sup>	<0.01	>0.1
Coefficiente de apilado	>0.1	>0.1
Rendimiento (%)	<0.01	>0.1

## Anexo 2. Valores atípicos de los datos de variables



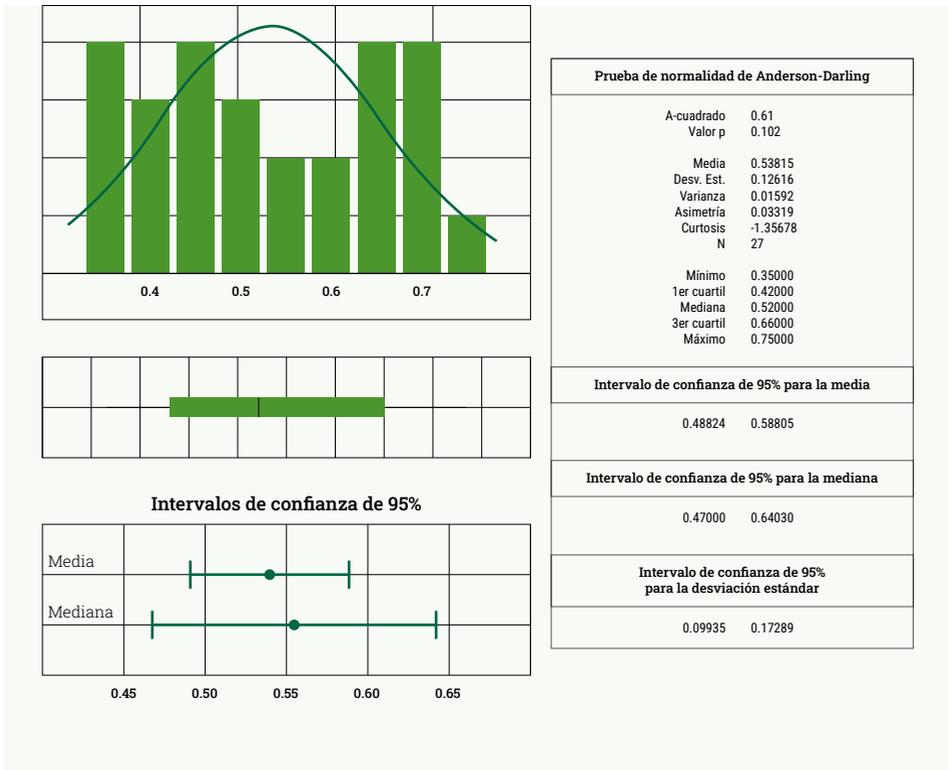
### Anexo 3. Correlación de Pearson entre variables

	VOLUMEN EN PIE (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (m <sup>3</sup> )	PESO DE MADERA (kg)	VOLUMEN APILADO (m <sup>3</sup> )	PESO DE CARBÓN (kg)	PESO DE MADERA (kg) POR m <sup>3</sup>	PESO DE CARBÓN (kg) POR m <sup>3</sup>	RENDIMIENTO
Volumen de madera rolliza (m <sup>3</sup> )	0.735							
Peso de madera (kg)	0.719	0.981						
Volumen apilado (m <sup>3</sup> )	0.729	0.932	0.927					
Peso de carbón (kg)	0.564	0.907	0.890	0.855				
Peso de madera (kg) por m <sup>3</sup>	-0.228	-0.269	-0.089	-0.163	-0.208			
Peso de carbón (kg) por m <sup>3</sup>	-0.175	-0.021	-0.011	-0.004	0.346	0.101		
Rendimiento	-0.094	0.097	0.039	0.073	0.429	-0.281	0.924	
Coefficiente apilado	0.425	0.737	0.703	0.510	0.684	-0.300	-0.025	0.105

## Anexo 4. Prueba de ANOVA de Tukey para diferencias de las medias

DIFERENCIA DE NIVELES	DIFERENCIA DE LAS MEDIAS	EE DE DIFERENCIA	IC DE 95%	VALOR T	VALOR p AJUSTADO
EM 2 - EM 1	-0.1067	0.0299	(-0.1813, -0.0320)	-3.57	0.004
EM 3 - EM 1	-0.1200	0.0299	(-0.1946, -0.0454)	-4.01	0.001
EM 3 - EM 2	-0.0133	0.0299	(-0.0880, 0.0613)	-0.45	0.897

## Anexo 5. Medidas de tendencia central



### Anexo 6. Valores de volumen y pesos de los árboles evaluados

EM	ID	CÓDIGO ÁRBOL	VOLUMEN EN PIE (m³)	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (m³)	PESO TROZAS Y RAMAS (kg)	VOLUMEN APILADO (m³)	PESO DE CARBÓN (kg)	PESO DE MADERA ROLLIZA (kg) POR m³	PESO DE CARBÓN (kg) POR m³	RENDIMIENTO	COEFICIENTE DE APILADO
EM 1	1	1339	0.84	1.15	1158.3	1.66	465.1	1005.9	403.9	0.40	0.69
EM 1	2	1342	1.03	1.91	2065.0	2.73	592.4	1080.6	310.0	0.29	0.70
EM 1	3	1256	0.75	0.67	628.2	1.41	248.1	940.6	371.5	0.39	0.47
EM 1	4	1257	0.89	0.85	858.5	1.82	325.9	1010.6	383.6	0.38	0.47
EM 1	5	1258	0.29	0.38	358.6	0.91	182.3	931.7	473.6	0.51	0.42
EM 1	6	1480	1.42	1.47	1511.1	2.11	470	1030.1	320.4	0.31	0.70
EM 1	7	892	0.76	0.70	620.9	1.42	473.2	891.8	679.7	0.76	0.49
EM 1	8	1350	1.39	1.95	1790.7	2.60	726.3	920.4	373.3	0.41	0.75
EM 1	9	1349	1.32	2.05	1940.0	3.08	831.3	947.4	406.0	0.43	0.66
EM 1	10	1347	1.24	1.65	1417.8	2.66	668.5	858.5	404.8	0.47	0.62
EM 2	11	264	1.29	1.04	802.9	1.60	248.4	773.7	239.4	0.31	0.65
EM 2	12	269	0.40	0.87	906.8	1.72	242.3	1039.5	277.8	0.27	0.51
EM 2	13	503	0.48	0.64	712.1	1.73	149.8	1113.9	234.3	0.21	0.37
EM 2	14	523	0.64	0.40	445.8	1.07	172.5	1124.1	435.0	0.39	0.37
EM 2	15	227	1.17	0.66	674.3	1.82	244	1018.3	368.5	0.36	0.36
EM 2	16	276	0.69	0.54	723.7	1.64	165.1	1338.2	305.3	0.23	0.33
EM 2	18	103	1.86	1.45	1401.9	2.07	249.3	965.7	171.7	0.18	0.70
EM 2	17	260	0.56	0.62	706.0	1.19	185.1	1135.4	297.7	0.26	0.52
EM 2	19	259	1.29	0.98	931.2	1.83	260.6	952.4	266.5	0.28	0.53

EM	ID	CÓDIGO ÁRBOL	VOLUMEN EN PIE (m <sup>3</sup> )	VOLUMEN DE MADERA ROLLIZA (m <sup>3</sup> )	PESO TROZAS Y RAMAS (kg)	VOLUMEN APILADO (m <sup>3</sup> )	PESO DE CARBÓN (kg)	PESO DE MADERA ROLLIZA (kg) POR m <sup>3</sup>	PESO DE CARBÓN (kg) POR m <sup>3</sup>	RENDIMIENTO	COEFICIENTE DE APILADO
EM 2	20	267	0.53	0.45	430.9	1.29	159.9	958.8	355.8	0.37	0.35
EM 3	21	15	0.39	0.74	796.8	1.57	199.8	1078.5	270.4	0.25	0.47
EM 3	22	20	0.52	0.36	349.7	0.96	67.8	965.4	187.2	0.19	0.38
EM 3	23	72	1.32	1.02	1052.2	1.80	295.1	1035.0	290.3	0.28	0.56
EM 3	24	74	2.62	2.06	1557.5	3.02	451.4	756.9	219.4	0.29	0.68
EM 3	25	75	0.95	0.79	717.3	1.33	219.3	912.4	279.0	0.31	0.59
EM 3	26	18	1.52	1.46	1474.0	3.08	457.4	1012.1	314.1	0.31	0.47
EM 3	27	54	1.91	2.07	1949.3	3.24	523.3	942.0	252.9	0.27	0.64
EM 3	28	73	0.53	0.45	480.1	1.13	147.3	1059.8	325.2	0.31	0.40
EM 3	29	82	0.47	1.26	945.9	1.86	320.7	753.7	255.5	0.34	0.67
EM 3	30	79	0.97	0.88	813.3	1.73	203.5	921.4	230.6	0.25	0.51



Con el apoyo de:

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre  
Av. Javier Prado Oeste N° 2442, Urb. Orrantía,  
Magdalena del Mar - Lima  
T. (511) 225 9005  
[www.gob.pe/serfor](http://www.gob.pe/serfor)  
[www.gob.pe/midagri](http://www.gob.pe/midagri)

