

Charcoal production profitability and technical efficiency in the Sierra Nevada of Puebla, Mexico

José Luis Jaramillo Villanueva*

Ignacio Carranza Cerda

Luis Adolfo Zepeda Casillas

Sergio Martínez Trinidad

Abstract

This study aimed to analyze the technological and economic aspects of charcoal production to suggest opportunities for improving production process efficiency and reducing potential environmental impact. The research was conducted in San Nicolás de los Ranchos, located in the Sierra Nevada of Puebla. Data were obtained through 40 interviews with charcoal producers, key informants, and field visits. Project analysis and stochastic frontier analysis were employed to estimate both the profitability and technical efficiency of charcoal production. The average age of charcoal producers was 43 years, with an average of 15 years of experience in charcoal production. Elementary education accounted for 63 % of respondents, while 37 % had completed junior high school. Of the interviewees, 42 % were exclusively dedicated to charcoal production, while the remaining respondents engaged in complementary activities. The production activity is carried out year-round (68 %) with an average of 25 burns. The analysis revealed a benefit-cost ratio (BCR) of 1.6 and technical efficiency (TE) ranging from 0.50 to 0.88. Key variables explaining TE included education, experience, kiln size, and land area owned by the producer. The findings indicate significant room for improving efficiency, particularly for small-scale producers.

Keywords: Charcoal, financial profitability, Sierra Nevada, economic profitability.

Rentabilidad y eficiencia técnica de la producción de carbón en la Sierra Nevada de Puebla, México

Resumen

Analizar aspectos tecnológicos y económicos de la producción de carbón vegetal para sugerir oportunidades para mejorar la eficiencia del proceso de producción y reducir el posible impacto ambiental, fue el objetivo del estudio. La investigación se realizó en San Nicolás de los Ranchos, en la Sierra Nevada de Puebla. Los datos se obtuvieron de 40 entrevistas a productores de carbón, a informantes clave y recorridos de campo. El análisis de proyectos y la frontera estocástica se utilizaron para estimar la rentabilidad y la eficiencia técnica de la producción de carbón. Los productores de carbón tienen edad promedio de 43 años, con 15 años de experiencia haciendo carbón. La escolaridad fue de primaria (63 %) y secundaria (37 %). Los entrevistados dedicados exclusivamente a producir carbón fueron 42 %, el resto realiza actividades complementarias. La actividad se lleva a cabo todo el año (68 %), con promedio de 25 quemas. La actividad productiva mostró relación beneficio costo (RBC) de 1.6, y eficiencia técnica (ET) entre 0.50 y 0.88. Las variables que explican la ET son la escolaridad, experiencia, tamaño del horno y la cantidad de tierra que posee el productor. Existe un amplio margen para mejorar la eficiencia, principalmente para los productores pequeños.

Palabras clave: Carbón, rentabilidad financiera, Sierra Nevada, rentabilidad económica.

Introduction

In Mexico, as in many other countries, charcoal production represents an essential complement to the income of rural producers. Although the agricultural activities of these rural inhabitants are mainly aimed at meeting their basic needs for social and economic reproduction, as well as the sale of surpluses in the market, almost exclusively local, the production and sale of charcoal become a relevant financial strategy for rural households that can dispose of forest resources for this purpose; in this regard, Fernández (2012) suggests that regulated and sustainable charcoal production can be a vital source of employment and income.

According to FAO (2017), 50 % of the wood harvested from forests worldwide is used for firewood and charcoal. In Mexico, firewood accounts for 80 % of the energy used in rural households (Díaz, 2000). Overall, firewood and charcoal meet 48 % of the total household energy demand (Serrano-Medrano et al., 2014). Additionally, SEMARNAT (2016) reports that charcoal and firewood represent 9.4 % of Mexico's timber forest production. However, the production, distribution, and sale of charcoal operate predominantly within the informal economy (Camou-Guerrero et al., 2014; Morales et al., 2018). This informal sector status implies that the actual production may be higher, with significant intermediation and resulting economic consequences for the producers (Nabukalu and Gieré, 2019). Orozco-Ramírez et al. (2022) further highlight the barriers faced in the production and market of solid forest biofuels, as observed in their study conducted in Mexico.

According to FAOSTAT (2020), the leading producers of charcoal are Brazil, Nigeria, Ethiopia, India, Democratic Republic of Congo, mainland China, Tanzania, Ghana, Thailand, and Egypt. Global charcoal production increased from around 30 million tons in 1990 to 53 million tons in 2020. In Mexico, annual consumption is estimated at 700,000 tons, with a yearly growth rate of 3 to 4 percent. By 2030, consumption could increase by 360,000 tons (Serrano et al., 2014). At the national level in 2016, roundwood production reached 365,281 m³, with Sonora and Durango contributing 43.32 % and 19.50 %, respectively. In the case of Puebla, the contribution amounted to 564 m³ of roundwood (Dirección General de Gestión Forestal y Suelos, SEMARNAT, 2016).

Introducción

En México, como en muchos otros países, la producción de carbón vegetal representa un importante complemento al ingreso de los productores rurales. Si bien, las actividades agropecuarias de estos habitantes del campo, se destinan principalmente a cubrir sus necesidades básicas de reproducción social y económica, así como la venta de excedentes en el mercado, casi exclusivamente local, la producción y venta de carbón se convierte en una estrategia económica relevante para los hogares rurales que pueden disponer de recursos forestales para este fin, sobre esto, Fernández (2012) sugiere que la producción regulada y sostenible de carbón tiene el potencial de ser una fuente importante de empleo e ingreso.

De acuerdo con la FAO (2017), a nivel mundial 50 % de la madera de los bosques se destina a leña y carbón. En México, la leña aporta 80 % de la energía de los hogares rurales (Díaz, 2000); en general, el 48 % de la demanda energética de los hogares es provista por la leña y el carbón (Serrano-Medrano et al., 2014) y según SEMARNAT (2016) el carbón y la leña representan 9.4 % de la producción forestal maderable en México. Sin embargo, la producción, distribución y venta de carbón vegetal, se encuentra en la informalidad (Camou-Guerrero, et al., 2014; Morales et al., 2018), lo que implica que, la producción real puede ser mayor, observándose una fuerte intermediación y las inherentes consecuencias económicas en perjuicio de los productores (Nabukalu y Gieré, 2019), como las barreras para la producción y el mercado de biocombustibles sólidos forestales reportados por Orozco-Ramírez et al., (2022) en su estudio realizado en México.

Según FAOSTAT (2020), los principales países productores de carbón vegetal son Brasil, Nigeria, Etiopía, India, República Democrática del Congo, China Continental, República Unida de Tanzania, Ghana, Tailandia y Egipto. La producción mundial en 1990 ascendía a unos 30 millones de toneladas y en 2020 llegó a 53 millones de toneladas. En México se estima un consumo de 700 000 toneladas cada año, con un crecimiento de 3 a 4 % anual y para 2030 podría incrementarse en 360 mil toneladas (Serrano et al., 2014). A nivel nacional en 2016 fue de 365 281 m³ en rollo, en donde los estados de Sonora y Durango fueron los que contribuyeron con el 43.32 y el 19.50 % respectivamente, en

Charcoal is produced through an incomplete combustion process called pyrolysis (Hernández-Hernández et al., 2020) under an inert atmosphere (Surup et al., 2020). It is formed by the incomplete burning of the three main components of wood: cellulose, hemicellulose, and lignin. Additionally, factors such as plant species, wood size and sections, density, moisture content, extractives, and ash content contribute to the yield and quality of charcoal (dos Santos et al., 2012; Basile et al., 2017).

In Mexico, charcoal is primarily produced using traditional methods employing a wide variety of forest species, rudimentary earth kilns, and low-yield techniques (Heya et al., 2014; FAO, 2017; de la Cruz et al., 2020). This results in a non-standardized process that hinders consistent product quality. Moreover, the prohibition of charcoal production has not been effective as production continues, and, on the contrary, there has been an increase in clandestine activities and a lack of control and proper registration (Eniola and Odebode, 2018). Therefore, efforts should be made to establish reliable statistics, adopt appropriate technology, promote efficient energy conversion to minimize waste, and ensure sustainable biomass utilization, thus transitioning to a forest-based bioeconomy (Bahdon et al., 2002).

Charcoal is a vital and highly valued energy source in developing countries (Okello et al., 2001). However, without effective sustainable utilization management programs, charcoal production can contribute to deforestation and pose risks of flooding and landslides (PDNA, 2010), creating significant hazards for both the general population and particularly vulnerable communities in rural areas. Therefore, it is crucial to establish forest management programs aimed at mitigating the negative ecological impact of charcoal production on natural resources (Oladeji et al., 2018).

In their conclusions, Carrillo et al. (2021) suggest several alternatives, including maximizing energy conversion, providing technical assistance for technology transfer, product distribution, and developing sales strategies. They also highlight the importance of reducing unregulated charcoal production, which calls for professionalization through the organization, technology dissemination, purposeful plantations, and utilizing waste for energy purposes.

el caso de Puebla, aportó un volumen de 564 m³ en rollo (Dirección General de Gestión Forestal y Suelos, SEMARNAT, 2016).

El carbón vegetal es producto de una combustión incompleta de la madera a través de un proceso de pirólisis (Hernández-Hernández et al., 2020) y en una atmósfera inerte (Surup et al., 2020), a partir de la combustión de los tres principales componentes de la madera que son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que juntamente con otros factores como la especie vegetal, el tamaño y las secciones de madera, la densidad, contenido de humedad, extractos y contenido de ceniza, determinan el rendimiento y la calidad del carbón (dos Santos et al., 2012; Basile et al., 2017).

En México, el carbón se produce principalmente de manera artesanal, haciendo uso de muy variadas especies forestales, hornos rudimentarios de tierra y técnicas con bajos rendimientos (Heya et al., 2014; FAO, 2017; de la Cruz et al., 2020), lo que se refleja en un proceso no estandarizado que permita una calidad homogénea del producto. Por otro lado, la prohibición de la producción de carbón vegetal no ha sido efectiva, debido a que no se reduce la producción y por el contrario, se ha incrementado el clandestinaje y se impide el control y registro (Eniola y Odebode, 2018); por consiguiente es necesario realizar esfuerzos para tener estadísticas confiables, disponer de tecnología, de una conversión energética eficiente para evitar desperdicios y hacer un uso sustentable de la biomasa, y así transitar a una bioeconomía forestal (Bahdon et al., 2002).

El carbón es una fuente de energía vital y muy apreciada en los países en desarrollo (Okello et al., 2001); sin embargo, sin un programa de manejo sostenible de aprovechamiento, la producción de carbón puede incrementar el potencial de deforestación y amenazar con riesgos de inundaciones y deslizamientos de tierra (PDNA, 2010), situaciones que significan serios riesgos para la población en general y más específicamente para los más vulnerables en el medio rural. Por tanto, es necesario el establecimiento de programas de manejo forestal orientados a reducir el saldo ecológico negativo de la actividad carbonera sobre los recursos naturales (Oladeji et al., 2018).

En sus conclusiones Carrillo et al. (2021) apuntan como alternativas la maximización de la conver-

These measures aim to enhance income generation and promote the commercialization of charcoal within the bioeconomy.

Regarding the challenges faced by the charcoal production chain in improving commercialization and, consequently, the income of producers, the focus lies on training activities encompassing marketing, finance, distribution, cost analysis, profitability, investments, and access to social security for producers (Medina et al., 2022). In this sense, a pertinent question arises: What is the importance of charcoal production as a source of family income, profitability, and technical efficiency? Thus, the objective of this research was to identify the significance of charcoal production as a source of family income and employment generation and to determine the profitability and technical efficiency of the charcoal production process to derive recommendations for process enhancement.

Materials and methods

The study area. The research was conducted in the municipality of San Nicolás de los Ranchos, located at the foothills of the Popocatepetl volcano at an altitude of 2,616 meters above sea level. It covers an area of 195.2 km² and has a semi-cold subhumid climate with summer rainfall (INEGI, 2021). Socioeconomically, the municipality is characterized by high poverty levels, with a rate of 85.2 % in 2015 and food insecurity of 25.1 % (CONEVAL, 2020).

The data was obtained through a survey, which consisted of a structured questionnaire applied to a non-probabilistic sample of 40 charcoal producers in October and November 2021, chosen using the snowball sampling method. The first interviewee provided information to locate the second one, and so on. The search for new interviewees concluded when saturation of categories and variables was observed (Baltar and Gorjup, 2012), including kiln capacity, number of burns, origin and wood species, value added to charcoal, production process, and type of commercialization.

To document the socio-economic and environmental context of charcoal production, interviews were conducted with key informants, including ejidal and municipal authorities and technical advisors from the Sembrando Vida program. Field visits were

sión energética, el acompañamiento técnico para la transferencia de la tecnología, la distribución del producto y desarrollo de estrategias de venta. Asimismo, resaltan la importancia de reducir la producción desordenada de carbón, por lo que se requiere la profesionalización a través de la organización, la difusión tecnológica, plantaciones con intensidad, así como el uso de residuos con fines energéticos que favorezcan el ingreso de la producción y comercialización del carbón vegetal en la bioeconomía.

Por su parte, los retos que la cadena productiva del carbón vegetal enfrenta para mejorar la comercialización y por consiguiente los ingresos de los productores, se concentran en actividades de capacitación sobre: marketing, finanzas, distribución, análisis de costos, rentabilidad, inversiones y cuotas para que los productores tengan acceso a seguridad social (Medina et al., 2022). En este sentido, una pregunta relevante es ¿cuál es la importancia de la producción de carbón como fuente de generación de ingreso familiar y su rentabilidad y eficiencia técnica? De esta forma, el objetivo de la presente investigación fue identificar la importancia de la actividad de elaboración de carbón vegetal como una fuente de ingreso familiar, en la generación de empleo y, determinar la rentabilidad y eficiencia técnica del proceso de la elaboración de carbón vegetal, para derivar algunas recomendaciones para mejorar el proceso de producción.

Materiales y métodos

La zona del estudio. La investigación se realizó en el municipio de San Nicolás de los Ranchos, ubicado en las faldas del volcán Popocatepetl, a una altitud de 2 616 msnm, tiene una superficie de 195.2 km², y un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2021). El municipio, en lo socioeconómico, se caracteriza por sus condiciones de pobreza, que en 2015 fue 85.2 % y con inseguridad alimentaria de 25.1 % (CONEVAL, 2020).

Los datos se obtuvieron mediante una encuesta, que consistió en un cuestionario estructurado, que se aplicó a una muestra no probabilística de 40 productores de carbón, en octubre y noviembre del 2021, elegidos por el método de bola de nieve. El primer entrevistado proporcionó información para

also carried out with charcoal producers. Prior to the formal data collection, field visits were conducted to the locations where charcoal producers operate, aiming to understand the specific context, such as the forest sites where producers obtain trees for charcoal production and the sites of their kilns.

The study variables. The main variables were collected through a structured questionnaire consisting of three sections: sociodemographic characteristics, activities of the charcoal production process and associated costs, and finally, variables related to marketing, income, and climatic and institutional factors that affect production.

The analysis of the results. The data analysis consisted of descriptive statistics, followed by the calculation of economic concepts such as the cost of each activity in the production process, sales income, and depreciation of fixed assets to determine financial profitability. Technical efficiency was also estimated using the Stochastic Production Frontier (SPF).

Stochastic Frontier Model. The assumption of stochastic production means that the production level of a production unit is upper-bounded by a stochastic frontier, which can be modeled as in equation 1.

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u \quad (1)$$

Where the error term consists of two parts: a symmetric random disturbance v , assumed to be identically and independently distributed with a mean of 0, and u is a non-negative error term that is independently distributed of v , following a one-tailed distribution. The random component represents events beyond the control of the production unit (such as climatic, social, and economic factors), while u captures the distance of each production unit to its stochastic frontier, representing a measure of technical inefficiency (Green et al., 2019). Therefore, the Stochastic Production Frontier (SPF) is described by equation (2):

$$Y^* = f(x) + v \quad (2)$$

In the case of the SPF, the technical efficiency index for the production unit can be calculated using equation (3):

$$ET_i = \frac{Y_i}{f(x) + v_i} \quad (3)$$

Estimation of Parameters

ubicar al segundo, y así sucesivamente. La búsqueda de nuevos entrevistados concluyó cuando se observó saturación de categorías y variables (Baltar y Gorjup, 2012), a saber, capacidad del horno, número de quemas, origen y especie de la madera, valor agregado al carbón, proceso de producción y tipo de comercialización.

Para documentar el contexto socioeconómico y ambiental de la producción de carbón, se realizaron entrevistas a informantes clave (autoridad ejidal, municipal, y técnico asesor del programa sembrando vida) y recorridos de campo con productores de carbón. Previo al levantamiento formal de datos, se realizaron recorridos de campo por los lugares en donde los productores elaboran el carbón, con la finalidad de conocer el contexto específico, como los sitios de bosque de donde los productores obtienen los árboles para la producción de carbón y los lugares donde tienen los hornos.

Las variables del estudio. Las variables principales se colectaron con un cuestionario estructurado, con tres secciones: características sociodemográficas, las actividades del proceso de producción de carbón y sus costos asociados, y finalmente las variables relativas a la comercialización, ingresos, y factores climáticos e institucionales que afectan la producción.

El análisis de los resultados. El análisis de los datos consistió en estadísticos descriptivos, seguidos de la construcción de los conceptos económicos de costo de cada una de las actividades del proceso de producción, del ingreso por venta, y depreciación de activos fijos, para calcular la rentabilidad financiera. Con estos conceptos también se estimó la eficiencia técnica utilizando la Frontera Estocástica de Producción (FEP).

Modelo de frontera estocástica. El supuesto de una producción de naturaleza estocástica significa que el nivel de producción de una unidad de producción está limitado superiormente por una frontera estocástica, la cual puede modelarse como en la ecuación 1;

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u \quad (1)$$

Donde el término de error está compuesto por dos partes; una perturbación aleatoria v , simétrica que se supone idéntica e independientemente distribuida con media 0, y u es un término de error no negativo,

The empirical analysis is based on estimating a Cobb-Douglas production function, where both the output and inputs are expressed in the logarithmic form (equation 4):

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \ln(MO) + \ln(INSUMOS) + \ln(CAPITAL) + \varepsilon_i \quad (4)$$

In this model, the dependent variable (Y_i) is the value of charcoal production. The explanatory variables include labor used in the process, input costs, and the value of capital, with the kiln being the main asset.

Individual Efficiency Model

The estimated model of individual efficiencies is described by equation 5. It considers the estimated inefficiency measures from equation 4 as the dependent variable. The explanatory variables hypothetically affect the performance of the production unit. Common explanatory variables reported in the literature include the age of the production unit's head, their level of education, experience in the activity under study, unit characteristics, management, and environmental factors (Veloso-Contreras et al., 2015; Ngango and Kim, 2019). The estimated multiple regression model is given by equation (5):

$$U_i = \delta_0 + \delta_1 \ln(ESC) + \delta_2 (ED) + \delta_3 (EMP) + \delta_4 (EXP) + \delta_5 (QUE) + \delta_6 (TAM) + \delta_7 (SUP) + \varepsilon_i \quad (5)$$

Where:

ESC is the level of education (in years) of the production unit's head; ED is the age of the production unit's head; EMP is the producer's second job; EXP is the number of years of experience in the activity; QUE is the number of burns; TAM is the kiln capacity in m^3 ; and SUP is the amount of land area in hectares owned by the producer for wood extraction.

Results and discussion

Sociodemographic and Productive Characteristics. A large percentage of producers, 61.5 %, have completed elementary education, and 33.3 % have finished middle school. In this regard, the study region has a higher education level than the average in the state of Puebla, where 52.2 % of the population has a fundamental education, according to the 2020 report (INEGI, 2021). In addition to charcoal production, the interviewed charcoal producers are involved in other

que se distribuye independientemente de v , siguiendo una distribución de una cola. El componente aleatorio representa sucesos que no son controlables por la UP (fenómenos climáticos, sociales, económicos), mientras que u , recoge la distancia de cada UP a su frontera estocástica, representando una medida de ineficiencia técnica (Green et al., 2019). Por tanto, la Frontera de Producción Estocástica (FEP) es descrita por la ecuación (2):

$$Y^* = f(x) + v \quad (2)$$

En el caso de las FEP, el índice de eficiencia técnica para la UP_i puede calcularse con la ecuación (3):

$$ET_i = \frac{Y_i}{f(x) + v_i} \quad (3)$$

Estimación de los parámetros

El análisis empírico se basa en la estimación de una función de producción Cobb-Douglas, en la que tanto el producto como los insumos se expresan en forma logarítmica (ecuación 4):

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \ln(MO) + \ln(INSUMOS) + \ln(CAPITAL) + \varepsilon_i \quad (4)$$

En este modelo, la variable dependiente (Y_i) es el valor de la producción de carbón. Las variables explicativas son: la mano de obra utilizada en el proceso, el costo de los insumos, y el valor del capital, en donde el horno es el principal activo.

Modelo de eficiencias individuales

El modelo estimado de eficiencias individuales es descrito por la ecuación 5. Considera como variable dependiente las medidas de ineficiencia estimadas en la ecuación cuatro. Las variables explicativas hipotéticamente afectan el desempeño de la UP. La literatura reporta como variables explicativas más comunes la edad del jefe de la UP, su nivel de escolaridad, la experiencia en la actividad objeto del estudio, características de la UP, administración, y factores ambientales (Veloso-Contreras et al., 2015; Ngango y Kim, 2019). El modelo de regresión múltiple estimado fue el modelo (5):

$$U_i = \delta_0 + \delta_1 \ln(ESC) + \delta_2 (ED) + \delta_3 (EMP) + \delta_4 (EXP) + \delta_5 (QUE) + \delta_6 (TAM) + \delta_7 (SUP) + \varepsilon_i \quad (5)$$

Donde:

ESC es el nivel de escolaridad (en años) del jefe de la

agricultural activities (74.4 %) and non-agricultural activities (25.6 %), primarily in commerce and various trades. As small subsistence producers, charcoal production is one of their survival strategies, along with agriculture, small-scale livestock farming, dealings, and off-farm work, as documented in previous studies (Argueta, 2006; Estevez et al., 2010; Ngango and Kim, 2019; Carrillo et al., 2021).

Producers use at least one plot of land (79.5 %), of which 64.1 % are owners, while the rest pay rent, which increases their production costs. The average size of the cultivated area was 0.56 ha per producer. Similar findings were reported by Ngango and Kim (2019), with an average plot size of 0.28 ha among coffee and charcoal producers in Rwanda. The experience as charcoal producers, the production location, and the number of burns per year are presented in Table 1.

The firewood for charcoal production is primarily sourced through the purchase of standing trees, which refers to a group of trees within a forest. This sourcing method constitutes 75.9 % of the firewood supply, where only the trees are purchased solely for use as firewood in charcoal production. The remaining 20.5 % is obtained from their own plot.

Technical aspects of production. The assets of the charcoal producer, in addition to the kiln, include a machete, shovel, rake or weed puller, and a chainsaw. The chainsaw may be owned or rented. The size of

UP; ED es la edad del jefe de la UP; EMP es el segundo empleo del productor; EXP son los años de experiencia en la actividad; QUE es el número de quemadas; TAM es la capacidad del horno en m³; y SUP es la cantidad de hectáreas de tierra en posesión del productor para extraer madera.

Resultados y discusión

Características sociodemográficas y productivas. La mayoría de los productores, 61.5 %, tienen escolaridad de primaria, y 33.3 % terminaron la secundaria. Al respecto, la región de estudio tiene escolaridad mayor que la media del estado de Puebla, que en 2020 reportó que 52.2 % de la población tiene estudios de nivel básico (INEGI, 2021). Los carboneros entrevistados, además de hacer carbón, realizan otras actividades productivas agrícolas (74.4 %) y no agrícolas (25.6 %), principalmente comercio y diversos oficios. Siendo pequeños productores de subsistencia, el carbón es una más de sus estrategias de sobrevivencia, además de la agricultura, pequeña ganadería, comercio y trabajo extra-finca (Argueta, 2006; Estevez et al., 2010; Ngango y Kim, 2019; Carrillo et al., 2021).

Los productores usufructúan al menos una parcela (79.5 %), y de estos, 64.1 % son propietarios, el resto paga renta, lo que aumenta sus costos de producción. El tamaño de la superficie sembrada tuvo

Table 1. Experience, technique, production sites, frequency and annual charcoal burns.
Cuadro 1. Experiencia, técnica, lugares de producción, frecuencia y quemadas al año de Carbón

Experience / Experiencia	%	Technique used / Técnica utilizada	%
Less than 10 years / Menor a 10 años	43.6	Traditional method / Método tradicional	97.4
11 to 20 years / De 11 a 20 años	20.5	Soil burial / Enterrado suelo	2.6
More than 20 years / Más de 20 años	35.9		
Production locations / Lugares de producción	%	Production frequency / Frecuencia de producción	%
Forest / Monte	43.6	Every 15 days / Cada 15 días	59.0
Plot / Parcela	38.5	Monthly / Mensual	25.6
Purchased location / Lugar de compra	18.0	Every 3 months / Cada 3 meses	15.4
No. of burns per year / Núm. de quemadas al año	%		
Less than 10 / Menor de 10	30.8		
10 to 20 / De 10 a 20	23.1		
More than 20 / Más de 20	46.2		

the kiln, which has a conical shape, is 5 m³ (71.8 %), 6 to 10 m³ (12.8 %), and over 10 m³ (15.4 %). According to the information provided by the interviewees, the dimensions range from 1.10 to 2.0 m in height and from 2 to 4 m in diameter at the base. With these dimensions, a burn requires 8 to 12 trees (52.63 %), resulting in an average production of 670 kg of charcoal. However, the types of kilns used in Mexico vary widely, from artisanal to innovative industrial proposals (García-Quezada et al., 2021).

According to Stassen (2002), it takes 8 to 12 kg of firewood to produce 1 kg of charcoal traditionally, and it is possible to obtain yields of 1 kg of charcoal per 6 to 8 kg of firewood using improved traditional methods.

The charcoal production process, according to 67 % of the producers, consists of the following stages: (1) procuring standing trees or firewood, (2) selecting and felling the trees, (3) debarking or removing the branches, cutting the wood into suitable pieces, gathering the firewood, transporting it to the kiln site, and arranging it for the kiln, (4) building the kiln, arranging the firewood in a way that the logs touch end to end, and covering it with leaves and soil (leaving some openings for ignition). This process is known as *cincama*. (5) igniting the kiln using fire starter wood and dry firewood and tending to the burning process by stoking the fire with oak leaves, branches, and *ocoxal* (leaves or pine needles) twice daily. This process continues for three days, after which the soil is compacted. The temperature is monitored to prevent the kiln from burning and producing ashes instead of charcoal. (6) allowing the kiln to cool for a day and then removing the charcoal from the kiln, (7) selecting the product; there are two types of selection, one involves separating the larger pieces, known as *colma*, and the other involves setting aside the smaller fragments, which are sold at a lower price, (8) finally, packaging and weighing the charcoal for commercialization. This process typically takes between 10 and 15 days.

Marketing: Producers sell their charcoal in the local market (60 %), with buyers either via direct purchases at their homes (15.4 %) or purchasing it at the production site (12.8 %). The charcoal is commonly packaged in 50-kg sacks (according to 74.4 % of the respondents) without any additional packag-

promedio de 0.56 ha por productor. Algo muy similar encontraron Ngango y Kim (2019) con parcelas en promedio de 0.28 ha en Ruanda entre productores de café y carbón. La experiencia como carboneros, el lugar de producción y el número de quemadas al año se muestra en el Cuadro 1.

La procedencia de la leña para la elaboración del carbón, 75.9 % la obtienen comprando la palizada, esto último se refiere a un conjunto de árboles que están como bosque, y al propietario solo le compran los árboles para utilizarlos como leña para hacer el carbón. El restante 20.5 % lo extraen de su parcela.

Aspectos técnicos de la producción. Los activos del carbonero son, además del horno, el machete, la pala, el bieldo o jalador de hierbas y la motosierra. Esta última propia o rentada. El tamaño del horno, de forma cónica, tiene 5 m³ (71.8 %), de 6 a 10 m³ (12.8 %) y mayor de 10 m³ (15.4 %). De acuerdo con la información proporcionada por los entrevistados, las medidas son de 1.10 a 2.0 metros de altura y de 2 hasta 4 del diámetro de la base. Con estas medidas, una quema requiere de 8 a 12 árboles (52.63 %), lo que genera en promedio 670 kg de carbón. Sin embargo, existe una gran variedad de tipos de hornos utilizados en México, desde los artesanales, hasta propuestas industriales innovadoras (García-Quezada et al., 2021).

De acuerdo con Stassen (2002), la producción de manera tradicional de 1 kg de carbón vegetal se obtiene a partir de 8 a 12 kg de leña y si fuera con métodos tradicionales mejorados, es posible obtener rendimientos de 1 kg de carbón por 6 a 8 kg de leña.

El proceso de elaboración de carbón vegetal, de acuerdo a 67 % de los productores, consta de las siguientes etapas; (1) comprar la palizada o leña; (2) seleccionar y cortar los árboles, (3) desramar o quitar las ramas, hacer los trozos a la medida, recolectar la leña, traslado hacia el horno, y acomodarla en donde se va hacer el horno, (4) hacer el horno, acomodando la leña procurando que los palos toquen punta con punta, y tapado con hoja y tierra (se dejan unas ventanas para encenderlo), a esto se llama *cincama*, (5) encendido del horno (con ocote y leña seca), y cuidado del quemado, lo cual es atizar el fuego con hojas de encino, ramas, *ocoxal* (hojas o agujas de pino), lo anterior se hace dos veces al día. Este proceso durante tres días, después continua el acomodo de la tierra

ing, labeling, or branding. However, the remaining interviewees pack the charcoal in small plastic bags. This variation in packaging practices is commonly observed among small and traditional producers in Mexico and other countries (Argueta, 2006; Carrillo et al., 2011; Kees et al., 2017). The price per sack varies from MX\$5 to 10 per kilogram, while retail sales are typically priced between MX\$8 and 12.

The producers were willing to add value to their product by creating labels with product descriptions, quantities, and a brand (74.4%). However, limitations such as a lack of funds to invest in better kilns, equipment, further training in technical aspects, environmental regulations, and marketing hinder the implementation of these actions.

Within the study region, the traditional method is still employed for charcoal production. However, producers have become aware of more efficient technologies for production (69.2 %) and are willing to consider making a switch. The remaining 30.8 % prefer their current methods, citing their familiarity with the work rhythm and resistance to adapting to changes. Producers mentioned a strong need for training (87.2 %) in advanced kiln technologies, forest management, and conservation. However, comprehensive training beyond technical aspects is required, encompassing marketing, finance, distribution, cost analysis, profitability, investments, and contributions to grant producers access to social security (Medina et al., 2022).

Profitability of production. Descriptive statistics for the cost and income concepts of charcoal production are presented in Table 2. The profitability of charcoal production, represented by the benefit-cost ratio, averaged 1.6, with a minimum value of 0.50 and a maximum of 2.4. These results are similar to those reported by Carrillo-Parra et al. (2011), who, in a study conducted in northeast Mexico, reported profitability ranging from 1.3 to 1.8, depending on market prices. Furthermore, da Silveira et al. (2017) reported that the profitability of charcoal production from reforested wood in Paraguay using brick kilns was 47 %, compared to 10 % for production in traditional kilns. In our study, producers whose profitability was below one conducted ten burns or less. A positive correlation exists ($P \leq 0.05$) between profitability and the number of burns. The stratum that conducted

y checar el calor, porque si se pasa la temperatura, el horno se quema y en lugar de carbón se obtendría cenizas, (6) dejar enfriar el horno por un día y sacar el carbón del horno, (7) selección del producto; hay dos tipos de selección, uno es separando los trozos grandes, lo que se llaman colma y el otro es apartando la pedacería, que se vende a menor precio. (8) finalmente el embolsado y pesado para la comercialización. Este proceso tiene una duración entre los 10 y 15 días.

Comercialización. Los productores venden en el mercado local (60 %), a su casa pasa el comprador (15.4 %) o en el lugar en donde se hizo el carbón (12.8 %). El carbón se vende en bultos de 50 kilos (74.4 % de los entrevistados) sin ninguna presentación, leyenda o etiqueta, y el restante preparan bolsas pequeñas de plástico. Este comportamiento en la realización del producto es común en México y en los demás países entre los productores pequeños y tradicionales (Argueta, 2006; Carrillo et al., 2011; Kees et al., 2017). El precio por bulto osciló entre 5 y 10 pesos el kilo, si es al menudeo, se vendió entre 8 y 12 pesos.

Los productores manifestaron disponibilidad para darle valor agregado a su producto; elaborar etiqueta con descripción del producto, cantidad y una marca (74.4 %). Las limitantes para hacerlo son falta de dinero para invertir en mejores hornos, equipo, y más capacitación, tanto técnica como de regulación ambiental, y de comercialización.

En la región de estudio se sigue utilizando el método tradicional para elaborar carbón vegetal; sin embargo, los productores han escuchado que existen tecnologías más eficientes para la producción (69.2 %) y estarían dispuestos a cambiar. El restante 30.8 % dijeron que no utilizarían otras técnicas, ya que están acostumbrados a un ritmo de trabajo y no se adaptarían a los cambios. Los productores manifestaron que requieren capacitación (87.2 %) en temas de hornos tecnificados y manejo y conservación del bosque. Sin embargo, en este sentido se requiere capacitación más allá de los aspectos técnicos, como son: marketing, finanzas, distribución, análisis de costos, rentabilidad, inversiones y cuotas para que los productores tengan acceso a seguridad social (Medina et al., 2022).

Rentabilidad de la producción. Los estadísticos descriptivos de los conceptos de costos e in-

Table 2. Statistics of cost and income variables in production.
Cuadro 2. Estadísticos de las variables de costos e ingreso de la producción.

Cost concept / Concepto de costo	N	Minimum / Mínimo	Maximum / Máximo	Mean / Media	Standard deviation / Desviación estándar
Input cost / Costo de insumos	39	1 660	25 216	10 783	5 234
Labor cost / Costo mano de obra	39	1 662	15 900	5 222	3 518
Capital cost / Costo del capital	39	8 469	12 584	9 400	646
Total cost / Costo total	39	11791	53700	25 405	8985
Sales revenue / Ingreso por venta	39	11760	120 000	39 410	22557
Profitability / Rentabilidad	39	1.00	2.23	1.55	0.5665

less than ten burns per year had a mean profitability of 1.0 (Table 3), indicating no net gain. This result is consistent with the findings of Basu (2013), who conducted a study on the functioning of the charcoal value chain in Uganda and found that small-scale charcoal producers have a profitability of 10 %, attributing this to their lack of technological improvements and bargaining power. On the other hand, the mean of the group that conducted 20 burns or more was 1.8, resulting in an 80 % return on their investment.

Firewood represents the cost of inputs, while the investment in the kiln and chainsaw represents the capital. This component constitutes approximately 40 % to 50 % of the total production cost. Family members play a predominant role in providing labor for those who conduct ten or fewer burns per year. In contrast, those who conduct more than ten burns, including those with 20 or more, hire temporary laborers. Liyama (2013) emphasizes that small-scale producers rely exclusively on family labor, which incurs a near-zero opportunity cost due to the limited availability of higher-paying job opportunities.

Econometric model results. The findings of the stochastic frontier model are presented in Table 4. The variables show the expected signs, consistent with economic theory. A positive sign indicates that an increase in the utilization of the production factor leads to a corresponding increase in production, and the coefficient magnitude signifies the relative importance of each independent variable in explaining the dependent variable (production). The variables Inputs, Labor, and Capital are statistically significant at 5%.

greso de la producción de carbón se presentan en el Cuadro 2. La rentabilidad de la producción de carbón, expresada como la relación beneficio-costos, fue de 1.6, con un valor mínimo de 0.50 y máximo de 2.4. Estos resultados son similares a los reportados por Carrillo-Parra et al. (2011), quienes en un estudio realizado en el Noreste de México reportaron una rentabilidad entre 1.3 y 1.8, dependiendo de los precios de mercado. Sobre este aspecto, da Silveira et al. (2017) reportaron que la rentabilidad de la producción de carbón vegetal con maderas reforestadas, en Paraguay, realizada en horno de ladrillo fue de 47 %, comparada con la producción en horno tradicional que tuvo rentabilidad del 10 %. En nuestro estudio, los productores con rentabilidad menor que uno fueron los que realizaron 10 quemados o menos. La rentabilidad de la producción está relacionada positivamente ($P \leq 0.05$) con el número de quemados. El estrato que realizó menos de 10 quemados al año tuvo una media de rentabilidad de 1.0 (Cuadro 3), lo que denota ausencia de ganancia neta. Este resultado es consistente con lo reportado por Basu (2013) quien realizó un estudio sobre el funcionamiento de la cadena productiva de carbón vegetal en Uganda, y encontró que la ganancia de los carboneros con menor escala es del 10 % y menciona entre las causas, su falta de mejoras tecnológicas y ausencia de poder de negociación. Por su parte, la media del grupo que realizó 20 quemados o más, fue de 1.8, obteniendo un retorno de 80 % de su capital invertido.

El costo de los insumos está representado por la palizada, mientras que el capital está representado por la inversión en el horno y en la motosierra. Este concepto representa entre 40 y 50 % del costo de producción.

Table 3. Cost, income, and profitability concepts by number of burns.
Cuadro 3. Conceptos de costo, ingreso y rentabilidad por número de quemas.

Number of burn cycles / Número de quemas	Input cost / Costo de insumos	Labor cost / Costo de mano de obra	Capital value / Valor del capital	Total cost / Costo total	Sales revenue / Ingreso por ventas	Benefit-Cost ratio / Relación BC
Less than 10 / Menos de 10	10 340.8	4 015.4	8 616.7	22 972.9	22 753.3	1.0
10 to 20 / De 10 a 20	11 447.3	4 676.4	9 665.0	25 788.7	43 005.8	1.7
More than 20 / Mayor a 20	10 747.4	6 300.0	9 788.3	26 835.8	48 717.8	1.8
Overall total / Total general	10 783.8	5 222.4	9 399.4	25 405.6	39 410.6	1.6

Regarding the model fit (4), the estimated stochastic production frontier exhibited a normal distribution of residuals (Shapiro-Wilks test), no serial correlation of errors (Durbin-Watson test), no heteroscedasticity of variance, and no autocorrelation issues. The values obtained from the adjusted model indicate that charcoal production demonstrates increasing returns to scale; the sum of the coefficients exceeds unity (Veloso-Contreras et al., 2015).

Regarding the model's inefficiencies (Model 5), it is worth noting that the variance parameters of

La mano de obra fundamentalmente familiar, para los que realizan 10 o menos quemas al año. Los de más de 10 y los de 20 quemas o más, contratan jornales, de forma temporal. Liyama (2013) señala que los pequeños productores usan exclusivamente mano de obra familiar, con costo de oportunidad cercano a cero, por falta de oportunidades de empleo mejor remunerado.

Resultados del modelo econométrico. Los resultados del modelo de frontera estocástica se presentan en

Table 4. Results of the stochastic frontier model.
Cuadro 4. Resultados del modelo de frontera estocástica.

Producción / Producción	Coefficient/ Coeficiente	Standard Error / Error Estándar	Z-value / Valor z	[95% Confidence Interval] / [95 % intervalo de confianza]	
Inputs / Insumos	0.275	0.129	2.14	0.195	0.365
Labor / Mano de obra	0.066	0.024	2.73	-0.002	0.063
Capital	0.812	0.199	4.09	0.982	0.982
Constant/ Constante	2.902	0.212	13.66	2.486	3.319
Lambda	1.361	0.255	5.337	0.756	1.898
Sigma2_v	0.139	0.098		0.035	0.555
Sigma2_u	0.701	1.135		0.482	1.022
Sigma2_s	0.840				
Gamma(Y)	0.834				
Wald chi2(3)	26.63				
Prob > chi2	0.000				
Prob > chibar2(1)	3.58				
Prob > chibar2	0.029				

the maximum likelihood (ML) function are estimated based on the total variance model, defined as $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ and the estimated value for the total variance in the model (σ_s^2) is 0.840. Furthermore, the lambda value (%) is computed as 1.361, indicating that the variance of the efficiencies exceeds the variance of the random disturbances by 87 % ($\lambda^2 - 1$). Moreover, the obtained gamma value from the variance relationship $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$ reveals that 83.4 % of the total variance is explained by the inefficiency variance.

Results of individual inefficiencies. Table 5 presents the findings of the model assessing individual inefficiencies based on Equation (5). The variables that showed statistical significance at a 5 % level and had a negative coefficient were Education, Experience, Number of burns, Kiln size, and Own land area. The negative sign of the coefficients indicates an inverse relationship between the value of the explanatory variable and inefficiency. While prior research on factors explaining efficiency is limited, several studies have consistently shown a positive correlation between education, experience, production scale, technology adoption, and technological improvements in the production unit (del Águila and Padilla, 2010; Vargas et al., 2015; and Hernández-Ruiz, 2018). It was found that higher levels of education and

el Cuadro 4. Las variables resultaron con el signo esperado, de acuerdo con la teoría económica. El signo positivo se refiere a que al aumentar el uso del factor productivo aumenta la producción, en tanto que la magnitud del coeficiente da cuenta de la importancia relativa de cada variable independiente para explicar la dependiente (producción). Las variables Insumos, Mano de obra, y Capital son significativas al 5 %.

Respecto al ajuste del modelo (4), la frontera de producción estocástica estimada presentó una distribución normal de los residuos (test de Shapiro-Wilks), no correlación serial de los errores (Durbin-Watson), no heterocedasticidad de la varianza y no presenta problemas de autocorrelación. Los valores obtenidos del modelo ajustado permiten que la producción de carbón muestra rendimientos crecientes de escala; la sumatoria de los coeficientes es mayor que la unidad (Veloso-Contreras et al., 2015).

En lo que se refiere a las ineficiencias del modelo (modelo 5), sabemos que los parámetros de varianza de la función de máxima verosimilitud (MV) son estimados a partir del modelo total de varianza definido como: $\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ y el valor estimado en el modelo para la varianza total (σ_s^2) resultó en 0.840. Mientras que el valor de lambda (%) resultó en 1.361, lo que muestra que la varianza de las eficiencias es mayor

Table 5. Results of the individual inefficiencies model.
Cuadro 5. Resultados del modelo de ineficiencias individuales.

Technical Efficiency / Eficiencia Técnica	Coefficient / Coeficiente	Standard Error / Error estándar	t-value / Valor de t	[95 % confidence interval] / [95 % intervalo de confianza]	
Education / Escolaridad	-0.166	0.067	-2.466	-0.204	-0.092
Age / Edad	0.052	0.033	1.596	-0.005	0.085
Employment / Empleo	0.144	0.090	1.610	-0.039	0.228
Experience / Experiencia	-0.130	0.052	-2.495	-0.197	-0.091
Burn cycles / Quemadas	-0.033	0.012	-2.687	-0.062	0.080
Kiln size / Tamaño horno	-0.013	0.006	-2.034	-0.020	-0.009
Land area / Superficie	-0.335	0.139	-2.401	-0.491	-0.126
Constant / Constante	-0.550	0.391	-1.409	-1.351	0.250
Probability > F / Probabilidad > F	0.003				
R-squared / R-cuadrada	0.746				
Adjusted R-squared / R-cuadrada ajustada	0.719				

more experience contribute to reducing inefficiency. This result has also been reported by Wollni and Brümmer (2012) in a study conducted in Costa Rica.

The above results suggest that reducing inefficiency should be addressed through various approaches, including implementing improved technology, modernizing kilns, and providing technical assistance. It is noteworthy that producers actively seek technical support, although this productive activity often falls outside the scope of government assistance programs due to its marginal nature.

Conclusions

Charcoal producers are relatively young but have extensive experience in charcoal production, and they are not exclusively dedicated to charcoal production. This activity represents a significant source of income and employment and has the potential to grow if production efficiency is improved. The wood used for charcoal production is purchased from individuals, and oak wood is predominantly acquired. The productive activity is carried out traditionally without technological innovations, yet it remains profitable with a benefit-cost ratio (BCR) of 1.6 and a technical efficiency (TE) ranging from 0.50 to 0.88. The number of burns is positively related to both BCR and TE. The variables that explain TE include education, experience, kiln size, and land area owned by the producer. There is ample room to improve efficiency, particularly for small-scale producers. As producers have expressed their willingness to adopt technology to enhance their production processes, training and technical assistance can play a decisive role, also contributing to reducing pollution and preserving the natural resources involved in the activity.

End of English version

References / Referencias

Argueta, S. C. (2006). Descripción y análisis de dos métodos de producción de carbón vegetal en el estado de Tamaulipas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. México.

que la varianza de las perturbaciones aleatorias en 87 % ($\lambda^2 - 1$) y el valor de gamma obtenido de la relación entre la varianza $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$ establece que el 83.4 % de la varianza total es explicada por la varianza de las ineficiencias.

Resultados de las ineficiencias individuales. El Cuadro 5 presenta los resultados del modelo de las ineficiencias individuales de acuerdo con la Ecuación (5). Las variables significativas, a nivel de significancia del 5 %, y con un coeficiente negativo, fueron Escolaridad, Experiencia, Número de quemadas, Tamaño del horno, y Superficie de tierra propia. El signo negativo de los coeficientes indica una relación inversa entre el valor de la variable explicativa y el valor de la ineficiencia. Al respecto, no encontramos investigaciones previas sobre factores explicativos de la eficiencia, sin embargo, diversos estudios señalan que las variables escolaridad, experiencia y la escala de producción están correlacionadas positivamente con adopción de tecnología y con mejoras tecnológicas en la unidad de producción (del Águila y Padilla, 2010; Vargas et al., 2015; y Hernández-Ruiz, 2018). Se encontró que más años de escolaridad y mayor experiencia reducen la ineficiencia, Este resultado también fue reportado por Wollni y Brümmer (2012) en un estudio en Costa Rica.

Los resultados anteriores sugieren que reducir la ineficiencia deberá abordarse por varias formas: mejor tecnología, modernizando los hornos, acompañado de asistencia técnica, actividad que es demandada por los productores, pero debido a que es una actividad productiva marginal, no entra en los programas de asistencia técnica de los programas de gobierno.

Conclusiones

Los productores de carbón son relativamente jóvenes, pero con amplia experiencia en la producción de carbón, y no se dedican exclusivamente a la producción de carbón. Esta actividad representa una fuente muy importante de ingreso y empleo y puede crecer si se mejora la eficiencia de la producción. La manera para elaborar carbón es comprada a particulares, compran la palizada casi exclusivamente de encino. La actividad productiva se realiza de forma tradicio-

Bahdon, J., Broadhead, J., y Whiteman, A. (2002). Revisión de las estimaciones de FAOSTAT relativas al combustible de Madera. *Unasyuva*. FAO. Roma, Italia. 53(211):41-45

Baltar, F., y Gorjup, M. T. (2012). Muestreo mixto online: Una aplicación en poblaciones ocultas. *Intangible capital*. 8(1):123-149.

Basile, L., Tugnoli, A., y Cozzani, V. (2017). Influence of Macrocomponents on the Pyrolysis Heat Demand of Lignocellulosic Biomass. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 56(22):6432–6440. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00559>

Basu, A. (2013). Nationally Appropriate Mitigation Action Study on Sustainable Charcoal in Uganda. Nationally Appropriate Mitigation Action Study on Sustainable Charcoal, Uganda. 88pp.

Camou-Guerrero, A., Ghilardi, T. M. A., Serrano, M., Ortiz-Avila, T., Vega, E., Oyama, K., y Masera, O. (2014). Análisis de la producción de carbón vegetal en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. *Investigación Ambiental*. 6(2):127-138.

Carrillo, Á. N., Hernández, H. A., y Castellanos-Potenciano, B. P. (2021). El comercio del carbón vegetal y su transitar hacia la bioeconomía en México. *C3-BIOECONOMY Revista de Investigación y Transferencia en Bioeconomía Circular y sostenible* No. 2.

Carrillo-Parra, A., Bustamante-García, V., y Garza-Ocañas, F. (2011). Factores económicos por considerar en la producción de carbón vegetal en un sistema tipo fosa. In book: *Economía en el manejo sustentable de los recursos naturales* (pp.113-126) Edition: Primera edición.

CONEVAL. 2020. Informe de Pobreza y Evaluación 2020 Puebla. file:///C:/Users/jjara/Downloads/CONEVALInforme_Puebla_2020.pdf

de la Cruz, M. C., Herrera, G. J., Ortiz, S. I. A., Ríos, S. J. C., Rosales, S. R., y Carrillo-Parra, A. (2020). Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México. *Madera y bosques*, 26(2), e262197. doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2020.262197>

del Águila, O. A. R., y Padilla, M. A. (2010). Factores determinantes de la innovación en empresas de economía social. La importancia de la formación y de la actitud estratégica. *CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*, (67):129-155.

nal, sin innovaciones tecnológicas, y es rentable, con relación beneficio costo (RBC) de 1.6, y una eficiencia técnica (ET) entre 0.50 y 0.88. El número de quemas está relacionado positivamente con la RBC y con la ET. Las variables que explican la ET son la escolaridad, la experiencia, el tamaño del horno y el tamaño de la tierra que posee el productor. Existe un amplio margen para mejorar la eficiencia, principalmente para los productores pequeños. Debido a que los productores manifestaron disponibilidad para introducir tecnología, para hacer más eficiente su proceso de producción, la capacitación y asistencia técnica puede jugar un papel decisivo, lo que permitirá también disminuir la contaminación y el deterioro de los recursos naturales involucrados en la actividad.

Fin de la versión en español

Díaz, R. (2000). Consumo de leña en el sector residencial de México. Evolución histórica y emisiones de CO₂. UNAM. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. 113p.

dos Santos, R. C., Carneiro, A. D. C. O., Trugilho, P. F., Mendes, L. M., y Carvalho, A. M. M. L. (2012). Thermogravimetric analysis of eucalyptus clones as a subsidy for charcoal production. *Cerne*, 18(1), 143-151.

Eniola, P. O., y Odebode, S. O. (2018). Rural dwellers' perception of effect of charcoal production on the environment in Guinea savannah zone of Nigeria. *Journal of scientific research & reports*, 19(1):1-12.

Estevez, R. A., Squeo, F. A., Arancio, G., y Erazo, M. B. (2010). Producción de carbón vegetal a partir de arbustos nativos en la Región de Atacama, Chile. *Gayana Bot.* 67(2):213-222.

FAO. (2017). La transición al carbón vegetal. [Ebook] (p. 3). Retrieved 15 July 2022, from <http://www.fao.org/3/a-i6934s.pdf>.

FAOSTAT. (2020). Producción forestal y comercio. Acceso: 4 de agosto 2022 <https://www.fao.org/faostat/es/#data/FO/visualize>

Fernández, M. de O. A. I. (2012). Impactos de la Producción Clandestina de Carbón vegetal sobre los patrones espaciales de degradación forestal

- en la cuenca de Cuitzeo, Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México, Morelia, Michoacán. 180 pp.
- García-Quezada, J., Musule-Lagunes, R., Carrillo-Ávila, N., y Carrillo-Parra, A. (2021). Tipo de hornos para la producción de carbón vegetal en México. En: Optimización de los procesos de extracción de biomasa sólida para uso energético, 293. Trabajos de investigación 2021. Red Iberomasa. CYTED. España.
- Green, G. M., Schlafly, E., Zucker, C., Speagle, J. S., y Finkbeiner, D. (2019). A 3D dust map based on Gaia, Pan-STARRS 1, and 2MASS. *The Astrophysical Journal*, 887(1):93.
- Hernández-Hernández, M., Palma-López, D. J., Salgado-García, S., Palma Cancino, D. J., Rincón-Ramírez, J. A., Hidalgo-Moreno, C. I., y Cuanalo-De La Cerda, H. (2020). Carbón vegetal como mejorador de un Acrisol cultivado con caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Agro Productividad*, 13(5). <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1607>
- Hernández-Ruiz, J., Espinosa-Trujillo, E., Míreles-Arriaga, A., y Ruiz-Nieto, J. E. (2018). Índice tecnológico de las unidades de producción de tomate en invernadero en Tlahuitoltepec, Oaxaca. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4(2):35-43.
- Heya, M. N., Pournavab, F. R., Carrillo-Parra, A., y Colin-Urieta, S. (2014). Bioenergy potential of shrub from native species of northeastern Mexico. *International journal of agricultural policy and research*, 2(12):475-483. doi:10.15739/IJAPR.020.
- INEGI. (2021). Aspectos geográficos del estado de Puebla. Censo de Población y Vivienda 2020. Consultado en <http://www.inegi.org.mx>. Consultado noviembre de 2022.
- Kees, S. M., Michela, J. F., y Skoko, J. J. (2017). Rendimientos y costos de la fabricación de carbón elaborados por pequeños productores del Oeste Chaqueño. INTA, Ministerio de Agroindustria. Argentina.
- Medina, A. B. M., Ordoñez, D. J. A. B., Munguia, B. A., Ortega, T. L. E., y Galicia, N. A. (2022). Experiencia comunitaria en la producción de carbón vegetal: El caso de San Juan Evangelista Analco, Oaxaca, México. *ECUCBA*, 9(18) :80-84. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi18.243>
- Morales, R. V., Muñoz, M. A. R., y Díaz, J. J. (2018). Producción y comercialización de la leña y el carbón en el municipio de Tequila, Veracruz: Hacia un análisis situacional. *Medio ambiente, sustentabilidad y vulnerabilidad social*. (5):57-71.
- Nabukalu, C., y Gieré, R. (2019). Charcoal as an Energy Resource: Global Trade, Production and Socioeconomic Practices Observed in Uganda. 8(4), 183. <https://doi.org/10.3390/resources8040183>.
- Ngango, J., y Kim, S. G. (2019). Assessment of technical efficiency and its potential determinants among small-scale coffee farmers in Rwanda. *Agriculture*, 9(7):161.
- Okello, B. D., O'Connor, T. G., y Young, T. P. (2001). Growth, biomass estimates, and charcoal production of *Acacia drepanolobium* in Laikipia, Kenya. *Forest Ecology and Management* 142:143-53.
- Oladeji, S. O., Ologunwa, O. P., y Tonkollie, B. T. (2018). Socio-economic Impact of Traditional Technology of Charcoal Production in Kpaa District-Bong County Liberia. *Environ. Manag. Sustain. Dev*, 7(2):86
- Orozco-Ramírez, Q., Cohen-Salgado, D., Arias-Chalico, T., García, C. A., Martínez-Bravo, R., y Masera, O. (2022). Barreras para la producción y el mercado de biocombustibles sólidos forestales en México desde la perspectiva de las empresas. *Madera y bosques*, 28(1).
- PDNA. Post-Disaster Needs Assessment. (2010). Haiti earthquake PDNA: Assessment of damage, losses, general and sectoral needs. Annex to the action plan for national recovery and development of Haiti. Haiti: PDNA, 114 pp. Website http://siteresources.worldbank.org/INTLAC/Resources/PDNA_Haiti-2010_Working_Document_EN.pdf. Accessed 4 August 2022.
- Liyama, M. (2013). Charcoal: A driver of dryland forest degradation in Africa? [<http://blog.worldagroforestry.org/wp-content/uploads/2013/10/CharcoalFactSheet-ICRAF.pdf>].
- SEMARNAT. (2016). Anuario estadístico de la producción forestal maderable 2016. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Serrano, M., Arias-Chalico, T., Ghiraldi, A., y Masera, O. (2014). Spatial and temporal projection of fuelwood and charcoal consumption in Mexico.

- Energy for Sustainable Development 19:39-46.
- Silveira, C. V. da, Giménez, M. A., González, M. V., y Silveira, G. S. (2017). Rentabilidad económica de la producción de carbón vegetal a partir de maderas reforestadas con eucalyptus sp. v. 13, Edição Especial – Abril – 2017.
- Stassen, H. E. (2002). Nuevas tecnologías de producción de carbón vegetal. Unasylva. FAO. Roma, Italia. 53(211):34-35.
- Surup, G. R., Trubetskaya, A., y Tangstad, M. (2020). Charcoal as an alternative reductant in ferroalloy production: A review. Processes, 8(11):1-41. <https://doi.org/10.3390/pr8111432>.
- Vargas, C. J. M., Palacios, R. M. I., Camacho, V. J. H., Aguilar, Á. J., y Ocampo, L. J. G. (2015). Factores de innovación en agricultura protegida en la región de Tulancingo, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 6(4):827-840.
- Veloso-Contreras, F., Cabas-Monje, J., Velasco-Fuenmayor, J., Vallejos-Cartes, R., y Gil-Roig, J. M. (2015). Eficiencia técnica de los pequeños productores bovinos de la región centro sur de Chile. Revista Científica, 25(2):99-106.
- Wollni, M., y Brümmer, B. (2012). Productive efficiency of specialty and conventional coffee farmers in Costa Rica: Accounting for technological heterogeneity and self-selection. Food Policy, 37(1):67-76.