

# Técnicas de producción y calidad del carbón vegetal en los robledales de altura de Costa Rica

Investigadora responsable: M.Sc. Sayra Navas  
Departamento de Química

## Resumen

*La importancia de la actividad carbonera en los robledales de altura de Costa Rica, unida al impacto ambiental negativo de la tecnología tradicional demanda la búsqueda de una alternativa de producción de carbón vegetal ecológicamente sostenible.*

*El presente estudio compara los procesos de producción, cantidad y calidad de carbón producido con la tradicional carbonera de tierra y con el horno metálico transportable (HMT) como alternativa e indica, entre otras cosas que:*

- *la duración del proceso de carbonización con HMT es menor que con carbonera de tierra;*
- *la cantidad de carbón producida, por proceso de carbonización, es menor con HMT que con la carbonera de tierra;*
- *si se considera el tiempo de carbonización y la respectiva cantidad de carbón obtenido (por proceso), el HMT y la carbonera permiten aproximadamente la misma producción anual;*
- *el contenido de humedad de la leña afecta sensiblemente la duración del proceso de carbonización, la cantidad y la calidad de carbón. A mayor contenido de humedad de la leña corresponde mayor duración del proceso, menor calidad y cantidad de carbón producido;*

- *la relación entre costos y beneficios de la producción en ambos casos (HMT y carbonera), demuestra que, bajo las condiciones actuales, la producción de carbón vegetal no es rentable si se incluyen en el análisis financiero los costos de mano de obra, la leña utilizada, etc. lo cual no es tomado en cuenta por los carboneros.*

*Aunque, bajo las condiciones de este estudio el HMT es menos rentable que la carbonera, este horno puede considerarse como alternativa de producción válida por su reducido impacto ambiental, siempre y cuando se logre obtener ganancias positivas de la producción.*

*Finalmente, debido a las condiciones actuales de mercado del carbón vegetal en Costa Rica (dominado por varios intermediarios entre el productor y el consumidor final), es indispensable formar una cooperativa de carboneros que asuma la producción y comercialización para hacer de esta una actividad rentable.*

## Abstract

*The importance of the charcoal production in the high mountain Oakbamboo forests of Costa Rica, as well as the negative ecological impact of the traditional production technique (earth pit), justify the search for alternative charcoal production methods with reduced negative ecological impacts.*

*By comparing the production process and the quality and quantity of charcoal obtained by the traditional technique (earth pit) and with the alternative transportable metal kiln the present study indicates that:*

- *the period of time required for production with the transportable metal kiln is shorter than that corresponding to the traditional earth pit;*
- *less charcoal is produced by the transportable metal kiln process, than it is by the traditional earth pit production system;*
- *considering the time required for each production process and the amount of charcoal produced, the estimated annual charcoal production is nearly the same with both production technologies;*
- *the moisture content of the firewood has a considerable influence on the period of time required for carbonization and on the quantity and quality of the produced charcoal. High moisture content of the firewood produces a lower quality and quantity of charcoal and requires a longer period of time for its production;*
- *the costs-benefit relationship of charcoal production for both technologies indicates that, under current conditions, this activity is not profitable.*

*Although under the conditions of the present study, the transportable metal kiln is less profitable than the traditional production technology, the low ecological impact of the kiln makes it a valid production alternative.*

*Finality, because of current charcoal marketing conditions dominated by many intermediaries between the producer and the final consumer, it is vital that producers organize and cooperate regarding production and marketing in order to make charcoal production a profitable activity.*

## *Descripción del problema que se quería resolver*

La importancia de la actividad carbonera en los robledales de altura de Costa Rica, unida al impacto ambiental negativo de la tecnología tradicional con carboneras de tierra, demanda la búsqueda de una alternativa de producción de carbón vegetal ecológicamente sostenible.

## *Importancia de la producción de carbón vegetal*

En el trópico húmedo, se habla mucho de la necesidad de manejar en forma sostenible los recursos forestales. En los robledales de altura de la cordillera de Talamanca (Costa Rica), la mayoría propiedad del Estado, es de fundamental importancia aplicar un manejo forestal que enfoque diversas necesidades de la sociedad y no limitado únicamente a la producción de madera. Estos bosques deberían convertirse en una fuente de empleo para la población campesina local, de tal manera que sienta la necesidad de conservarlos a largo plazo como importante generador de ingresos.

Debido a su larga tradición en las zonas rurales, la actividad carbonera puede considerarse como un medio para involucrar a los campesinos en actividades integradas al manejo forestal.

El uso del carbón vegetal en Costa Rica es limitado, debido a que no forma parte de una tradición local y tampoco se ha integrado en el diseño de plantas industriales, lo cual se refleja en la baja contribución porcentual del carbón vegetal a la producción total de energía (0,44% en 1990, según Alvarado, 1992). Aunque a nivel nacional esa contribución es modesta, la actividad carbonera es una antigua tradición y el carbón vegetal es un energético con gran potencial de sustitución. Para la población campesina de los robledales de altura de la cordillera de Talamanca, la producción de carbón es una actividad muy importante. A lo largo de la carretera interamericana, en la zona entre el Empalme y Villa Mills, se producen las dos terceras partes del carbón vegetal del país (Salazar, 1986). Según Siles

(1980) el 53,15% de los ingresos obtenidos en la reserva forestal de Río Macho se debe a la producción de carbón.

### *Técnicas tradicionales de producción del carbón vegetal*

Los carboneros de la zona trabajan con el método tradicional de fabricar carbón en un hoyo de tierra cubierto de monte. Sin embargo, este método tiene varias desventajas, tales como: el control del proceso es limitado; el carbón producido es de calidad variable (altos porcentajes de humedad, altos contenidos de finos) y se contamina con tierra, piedra y otras impurezas (Navas, 1992); su uso conduce a una explotación excesiva del bosque y no genera ganancias atractivas (Pedroni, 1991); la utilización de helechos, bambú, arbustos y regeneración natural para cubrir el hoyo, tiene consecuencias muy negativas a largo plazo sobre la cobertura boscosa misma.

Es necesario, por lo tanto, encontrar alternativas de producción ecológicamente sostenibles para el bosque, técnicamente factibles y económicamente rentables para los carboneros. El impacto ambiental negativo de la producción de carbón vegetal por medio del hoyo tradicional de tierra se debe principalmente a la tala de árboles para la obtención de leña y a la destrucción de la regeneración natural del bosque para cubrir el hoyo.

Un aprovechamiento integral de los árboles talados, dentro del marco de un manejo forestal ecológicamente sostenible, solucionaría fácilmente el primer punto mencionado (tala de árboles). Para solucionar el problema relacionado con la destrucción de la regeneración natural del bosque, es necesario buscar alternativas de producción que no impliquen utilizar "monte" para cubrir la leña y tapar el hoyo.

### *El horno metálico transportable (HMT) como alternativa a la carbonera de tierra tradicional*

Debido a la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía en el país, para amortiguar

la pérdida de divisas causadas por la importación de petróleo, el "Plan Nacional de Energía 1986-2005" establece entre sus metas "la producción de carbón vegetal mediante la construcción de hornos para abastecer el mercado interno y realizar exportación" (Costa Rica (Min. Ind.), 1986).

De las diferentes tecnologías de carbonización estudiadas en Costa Rica (Navas, 1992), se considera que los tres tipos de hornos: de colmena, de rabo caliente (ambos de ladrillo) y horno metálico transportable, constituyen una alternativa a la carbonera de la tierra.

Según los resultados de estudios preliminares llevados a cabo en el país (Navas et al., 1992), el horno metálico transportable es la alternativa que presenta los menores costos de producción entre los tres tipos de horno mencionados.

La experiencia adquirida con hornos metálicos transportables en Costa Rica es mínima y todavía faltan estudios confiables que demuestren que estos hornos pueden considerarse un alternativa adecuada a la carbonera de tierra.

El presente estudio pretende analizar la viabilidad del horno metálico transportable tipo Mark V (HMT) frente a la carbonera de tierra tradicional en cuanto a tiempo, costos y rendimientos de la producción del carbón, y en cuanto a calidad del carbón producido.

Los resultados del estudio pretenden servir como base para recomendar a los carboneros la implementación de esta técnica de producción.

## *Objetivos*

### *Objetivos generales*

Desarrollar un paquete tecnológico que permita:

- En cuanto a técnicas de producción: recomendar las mejores técnicas de producción de carbón de acuerdo con el tipo de horno (hoyo tradicional, horno metálico transportable), especie de leña (roble o encino), tamaño o clase diametral de la

leña, contenido de humedad de la leña y calidad del carbón.

- En cuanto al control de calidad: sistematizar una metodología de análisis de carbón; determinar y correlacionar la calidad del carbón producido bajo diferentes condiciones (tipo de hornos; especie, tamaño y contenido de humedad de la leña).
- En cuanto al mercado nacional del carbón: conocer los canales de mercado del carbón e identificar mejores opciones de venta para los carboneros.

## Objetivos específicos

### Técnicas de producción

- Por medio de un estudio comparativo de calidad del carbón, costos y rendimientos de producción, entre el horno metálico transportable y el hoyo tradicional o carbonera de tierra, recomendar el más eficiente.
- Capacitar a los carboneros de la zona en el uso del horno metálico transportable.
- Determinar la forma más adecuada de preparar la leña para la carbonización, en términos de la duración del periodo de secado, sistema de apilado y tamaño de la leña.

### Control de calidad

- Determinar la calidad del carbón producido bajo diferentes condiciones: tipo de horno (hoyo tradicional, horno metálico transportable); especie (roble o encino); contenido de humedad y tamaño de la leña.
- Establecer correlaciones entre la calidad del carbón y la carbonera o el HMT, las dos especies, las tres clases diametrales y el contenido de humedad de la leña.
- Sistematizar una metodología de análisis de carbón que permita extender certificados de calidad que incluyan valores de poder calórico (P.C.), % de humedad (%C.F.), % de materiales volátiles (% V), % de cenizas (% C) y densidad (D).

## Mercado del carbón

- Determinar la ubicación geográfica y expectativas de calidad de los potenciales compradores de carbón.
- Caracterizar el comportamiento de la oferta de acuerdo con la tecnología y capacidad existentes.
- Definir, en conjunto con los carboneros de la zona, un modelo organizativo que les permita obtener mayores beneficios en la producción de carbón.

## Metodología

### Proceso de carbonización

Para el estudio se construyeron una carbonera de tierra y un horno metálico transportable tipo Mark V, ambos con una capacidad de 4 m<sup>3</sup> estéreo de leña (1m<sup>3</sup> estereo=0,65m<sup>3</sup>).

Dos carboneros de la localidad, contratados por el proyecto CATIE/ Silvicultura de Bosques Naturales, realizaron 16 carbonizaciones con cada sistema de producción. Todas las quemadas o carbonizaciones se realizaron simultáneamente en el horno y en la carbonera de tierra.

Dos de las 16 carbonizaciones se hicieron utilizando leña de roble (*Quercus copeyensis*), mientras que las restantes fueron realizadas con leña de encino (*Quercus costaricensis*). La leña verde utilizada fue cortada en trozas de 0,85 m de largo y dispuesta en pilas de 4 m<sup>3</sup> estéreo cada una. Aproximadamente tres meses antes de la carbonización, las pilas fueron cubiertas con plástico. De cada pila se obtuvieron muestras de leña, utilizadas para efectuar las mediciones de su respectivo contenido de humedad en el Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR).

Antes de dar inicio al estudio, los carboneros contratados fueron capacitados en el uso del horno metálico; realizaron varias carbonizaciones que les permitieron familiarizarse con el proceso. Se compararon, por un lado los tiempos y rendimientos de la producción y por otro lado, la calidad del carbón producido.

El análisis de la calidad del carbón se llevó a cabo en el Departamento de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

### *Análisis de la calidad del carbón*

El carbón analizado proviene, para el caso del encino, de ocho de los doce procesos realizados y para el caso del roble, de los dos procesos realizados. En cada proceso (HMT y carbonera) se obtuvieron ocho muestras de carbón (2,5 kg c/u, intensidad de muestreo = 15-20%), las cuales se guardaron en doble bolsa plástica hasta ser llevadas al laboratorio para su análisis (Earl, 1975; ASTM, 1964, 1984, 1989; CETEC, 1982).

Las muestras fueron molidas y guardadas en bolsa plástica. Después de un tiempo de almacenamiento variable entre 6-12 meses, de cada muestra se analizaron 10 submuestras, siguiendo la norma ASTM, método D-1762 (1964).

Los parámetros analizados fueron: humedad del carbón; contenido de materias volátiles; contenido de cenizas; contenido de carbón fijo; poder calórico; densidad a granel; densidad aparente. Estos análisis (menos las mediciones de densidad) se hicieron tanto con base húmeda como con base seca, para poder compararlos con datos análogos de la literatura. El poder calórico se determinó siguiendo el método estándar ASTM D-2015-89 (1989).

### *Datos recopilados del proceso de carbonización*

Para el estudio sobre el proceso de carbonización se recopilaron los siguientes datos por cada ensayo: especie (roble o encino), % de madera rolliza de cada pila de leña, humedad de la leña utilizada; tiempos para cortar monte (sólo carbonera), cargar la leña y tapar el hoyo, encender, proceso de carbonización, controles diarios, enfriamiento, descarga, cantidad de sacos y kg de carbón producidos, cantidad de kg de tizones (madera cruda) producidos.

Cabe mencionar, que no se pudieron realizar mediciones de la temperatura durante las di-

ferentes etapas de la carbonización. Sin embargo, fue posible hacer estimaciones confiables de las temperaturas alcanzadas por los procesos al comparar los resultados obtenidos de las carbonizaciones con indicaciones de la literatura.

Datos recopilados para el análisis químico del carbón:

- a. Análisis químico con base húmeda y con base seca: contenido de carbono fijo (%); contenido de materias volátiles (%); contenido de cenizas (%); contenido de humedad (%); poder calórico
- b. Análisis químico con base húmeda y con base seca: densidad a granel y densidad aparente.

### *Organismos que aportaron financiamiento (nacional e internacional)*

El estudio fue desarrollado por el Ingeniero Forestal Robin aus der Beek, experto asociado de la cooperación suiza de desarrollo (COSUDE) para el proyecto y por la M.Sc. Sayra Navas Ocampo, colaboradora del proyecto y profesora de Química de la madera del Departamento de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR). Los fondos fueron aportados por la COSUDE y el ITCR.

Desde 1984 el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), a través del proyecto silvicultura de bosques naturales, el cual recibe apoyo financiero de COSUDE y de la Administración para el Desarrollo de Ultramar (ODA) del Reino Unido, ha venido realizando investigaciones y diferentes actividades de capacitación y enseñanza sobre ecología y silvicultura de bosques naturales. Estas actividades se han realizado en coordinación con la Dirección General Forestal de Costa Rica. El CATIE es una institución de carácter científico y educacional, cuyo propósito fundamental es la investigación y la enseñanza de posgrado en el campo de las ciencias agropecuarias y de

los recursos naturales renovables aplicados al trópico americano, particularmente en los países de América Central y del Caribe.

La Cooperación Suiza de Desarrollo (COSUDE) es una dirección especializada dentro del Ministerio de Relaciones Exteriores de Suiza, responsable de la mayor parte de la cooperación para el desarrollo y ayuda humanitaria, que brinda el Gobierno de Suiza a nivel internacional. Presta su apoyo, tanto por medio de convenios bilaterales en más de cincuenta países de África, Asia y América Latina, como por la vía multilateral, a través de organismos especializados de las Naciones Unidas, de los bancos y fondos Regionales de Desarrollo.

### *Resultados alcanzados*

Al comparar los procesos de producción, cantidad y calidad de carbón obtenido con la tradicional carbonera de tierra y con el horno metálico transportable (HMT) como alternativa, el presente estudio indica, entre otras cosas que:

- la duración del proceso de carbonización con HMT es menor que con carbonera de tierra;
- la cantidad de carbón producida, por proceso de carbonización, es menor con HMT que con la carbonera de tierra; considerando el tiempo de carbonización y la respectiva cantidad de carbón producido (por proceso), el HMT y la carbonera permiten aproximadamente la misma producción anual;
- el contenido de humedad de la leña afecta sensiblemente la duración del proceso de carbonización, la cantidad y la calidad del carbón. A mayor contenido de humedad de la leña corresponde mayor duración del proceso y menor calidad y cantidad de carbón producido;
- la relación entre costos y beneficios de la producción en ambos casos (HMT y carbonera), demuestra que, bajo las condiciones actuales, la producción de carbón

vegetal no es rentable si se incluyen en el análisis financiero los costos de mano de obra, la leña utilizada, etc. lo cual no es tomado en cuenta por los carboneros.

Aunque, bajo las condiciones de este estudio el HMT es menos rentable que la carbonera, este horno puede considerarse como alternativa de producción válida, por su reducido impacto ambiental, siempre y cuando se logre obtener ganancias positivas de la producción.

Finalmente, debido a las condiciones actuales de mercado del carbón vegetal en Costa Rica (dominado por varios intermediarios entre el productor y el consumidor final), es indispensable que los carboneros se organicen en cuanto a la producción y comercialización, formando una cooperativa de carboneros, para que la actividad sea rentable.

### *Impacto*

Con este proyecto se logró mejorar el conocimiento sobre técnicas de utilización de los productos del bosque que permitan a las comunidades campesinas incrementar los beneficios que perciben de la utilización de éstos, por medio del análisis comparativo de dos sistemas de producción de carbón vegetal: la carbonera de tierra y el horno metálico transportable tipo Mark V, desde los puntos de vista ecológico y económico.

Se demostró en la práctica que es posible, diseñar, desarrollar e implementar sistemas silviculturales ecológicamente sostenibles, económicamente atractivos, técnicamente factibles y socialmente aceptados y que, tales sistemas deben encaminarse en armonía con la naturaleza y basarse en procesos naturales, de manera que garanticen, por un lado la producción sostenible de productos forestales, y por el otro, las funciones intrínsecas y protectoras del bosque. Se logró concientizar a los carboneros de la zona de que la conservación del bosque y de sus procesos dinámicos productivos son los insumos más importantes para la producción forestal. De modo que se concilian dos objetivos a menudo considerados excluyentes: producción y conservación.

Los resultados del rendimiento financiero de la producción ponen en evidencia que tanto en el caso de la carbonera de tierra como en el HMT, los carboneros no están generando ganancias positivas con su producción. Las pérdidas registradas para el HMT (-0,039 US\$/kg) son superiores a las registradas para la carbonera de tierra (-0,017 US\$/kg). La principal razón por la cual los carboneros siguen en esta actividad es que ellos no toman en cuenta los gastos relacionados con el valor de la leña utilizada y con las horas de trabajo invertidas en la producción, puesto que trabajan cuando no hay otras oportunidades de empleo y generalmente utilizan mano de obra familiar (Pedroni, 1991).

Cabe mencionar que el bajo precio ofrecido al carbonero por su producto no se debe tanto a la poca aceptación del carbón vegetal en el mercado (más bien el carbón de roble es considerado como uno de los mejores en el mercado), sino sobre todo a un gran número de intermediarios (transportista, mayorista, supermercado, licorera) entre el productor del carbón (carbonero) y su consumidor final. Considerando que ya solo el transportista (intermediario entre Villa Mills y los centros urbanos de Cartago y San José) alcanza márgenes de ganancias del 100 %, se puede concluir que el verdadero negocio del comercio del carbón vegetal lo están realizando los intermediarios y no tanto los carboneros que, como se mencionó anteriormente, en realidad están produciendo ganancias negativas con su actividad.

Con base en los resultados del rendimiento financiero de este estudio, se recomendó una mejor organización por parte de los carboneros, para lograr mayor influencia en la comercialización del carbón producido y obtener mejores márgenes de ganancia. Una alternativa por tomarse en cuenta es la formación de una cooperativa, que se encargue no sólo de producir el carbón, sino también de empacarlo en bolsas de 2 ó 3 kg y distribuir las directamente a los supermercados o licoreras.

Al finalizar el proyecto se creó el grupo pre-cooperativo Villa Mills, que en la actualidad se

convirtió en la Asociación de Productores de Villa Mills, constituida fundamentalmente por mujeres de la comunidad, que empacan aproximadamente la mitad del carbón producido en la zona, la otra mitad se le sigue vendiendo a intermediarios. El seguimiento de esta actividad aparece en dos publicaciones posteriores:

- Integración de la comunidad rural en el proceso de investigación. (Quirós y Sáenz, 1993).
- Producción y comercialización de carbón en pequeñas empresas forestales: Un estudio de casos de Villa Mills. (Sáenz y Quirós, 1995).

### Referencias bibliográficas

- Alvarado, F. 1988. *Memoria estadística del sector energía*. San José, C.R., Dirección Sectorial de Energía. 29 p.
- American Standard Testing Methods. 1964. ASTM-Método D-1762-64. s.n.t.
- American Standard Testing Methods. 1984. ASTM-Método D-3180-84. s.n.t.
- American Standard Testing Methods. 1989. ASTM-Métodos D-2015-89. s.n.t.
- Aranayo, O. 1979. *Fabricación de carbón vegetal*. Proyecto de Repoblamiento Forestal CORDECO/COTESU. Cochabamba, Bolivia. s.p.
- Banco Mundial. *Energy Sector Management Assistance Program*. 1989. Costa Rica; forest residues utilization study. Washington D.C., EE.UU. 79 p.
- Briane, D.; Doat, J.; Riedacker, A. 1985. *Guide technique de la carbonisation, la fabrication de charbon de bois*. París, Francia, EDISUD. 180 p.
- Camacho, P.; Canet, G.; Hernández, A. 1989. *Determinación y uniformización de los principales coeficientes de cálculos dendroenergéticos*. San José, C.R., Dirección Sectorial de Energía. 16 p.

- Costa Rica. Ministerio de Industria, Energía y Minas (Min. Ind.). 1986. *Plan nacional de energía 1986-2005*. Resumen Ejecutivo. San José, C.R. 197 p.
- Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien. 1988. *Charbon de bois: production a petite échelle et utilisations*. Schborn, Federal Republik of Germany, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. 71 p.
- Doat, J.; Petroff, G. 1975. *La carbonisation des bois tropicaux: essais de laboratoire et perspectives industrielles*. Revue Bois et Forêts des Tropiques (Francia) N°. 159: 55-72.
- Earl, D.E. 1975. *Informe sobre el carbón vegetal*. Roma, Italia, FAO. 94 p.
- Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 1982. *Carvão vegetal destilação, carvoejamento, propriedades, controle de qualidade*. Serie de publicações técnicas, SPT-006. s.p.
- Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP). Proyecto Plurinacional de Cooperación Técnica, Energía y Desarrollo en el Istmo Centroamericano. 1988. *Producción de carbón vegetal en Costa Rica, situación y perspectivas*. San José, C.R. 105 p.
- Navas, S. 1992. *El horno metálico transportable*. Tecnología en Marcha (C.R.) 2 (N°. especial) : 62-79.
- Navas, S; Meza, A.; Jiménez, G. 1992. *Costo de producción de carbón vegetal en tres tipos de hornos*. Tecnología en Marcha (C.R.) 2 (N°. especial) : 56-61.
- Paddon, A.R.; Harker, A.P. 1979. *The production of charcoal in a portable metal kiln*. Tropical Products Institute N°. 56/62. 28 p.
- Pedroni, L. 1991. *Sobre la producción de carbón en los robledales de altura en Costa Rica*. CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico no. 177; Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales N°. 4. 28 p.
- Petroff, G.; Doat, J. 1978. *Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation*. Revue Bois et Forêt des Tropiques (Francia) N°. 177: 51-64.
- Salazar, R. 1986. *Producción y mercado de carbón vegetal en Costa Rica*. San José, C.R., ICAITI. s.p.
- Siles de G., G. 1980. *Estudio socioeconómico y técnico de productores de carbón, recolectores de mora y lana en las reservas de Río Macho y Los Santos*. Dirección General Forestal (C.R.). Informe Técnico N°. 10. 29 p.
- Tavora, J. et al. 1977. *Tecnología avanzada para a produção de carvão vegetal*. Metalurgia ABM (Brasil) N°. 33: 230. s.p.