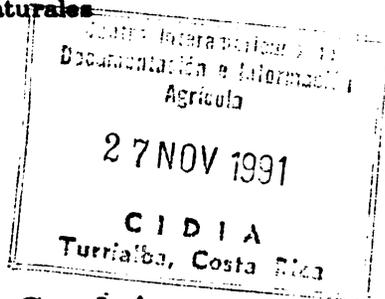


Serie Técnica
INFORME TECNICO No. 178
Colección Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales
Publicación No. 3



Sobre la Producción de Carbón en los Robledales de Altura de Costa Rica

Lucio Pedroni

**Publicación patrocinada por la
Cooperación Suiza al Desarrollo
COSUDE**

CENTRO AGRONOMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA, CATIE
Programa de Producción y Desarrollo Agropecuario Sostenido
Area de Producción Forestal y Agroforestal
Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales
Turrialba, Costa Rica, 1991

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	iv
PRESENTACION	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCION	1
1.1 El problema de los residuos forestales	1
1.2 La producción de carbón en los robledales de altura de Costa Rica	2
2 PROPOSITO Y METODOLOGIA	4
3 RESULTADOS	6
3.1 Consecuencias del método tradicional de producir carbón sobre el bosque	6
3.1.1 ¿Hay un aprovechamiento selectivo de especies?	6
3.1.2 ¿Hay un aprovechamiento selectivo de calidades y tamaños?	7
3.1.3 ¿Cuál es el volumen cortado y la superficie de bosque afectada?	7
3.1.4 ¿Se utilizan árboles vivos o muertos?	8
3.1.5 ¿Cuál es el efecto del corte del "monte"?	9
3.2 Tecnologías alternativas	10
3.3 Rendimientos	11
3.3.1 Rendimientos de la producción	11
3.3.2 Rendimiento financiero	16
4 CONCLUSION	19
AGRADECIMIENTOS	19
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	20
Anexo 1 Resumen de los datos de la encuesta a 30 carboneros en la zona de Villa Mills, Piedra Alta y Casa Azul	23

LISTA DE CUADROS

1	Proporción del volumen de <i>Quercus</i> sp. utilizada en 23 carboneras estudiadas, comparada con la proporción natural del bosque según Blaser (1987) y Orozco (1991)	7
2	Rendimientos en producción del horno metálico transportable	13
3	Rendimientos de la producción de las carboneras de tierra	14
4	Tiempos de trabajo promedio en carboneras de tierra (establecidos con base en encuestas)	16
5	Costos de producción por saco de carbón	17

LISTA DE FIGURAS

1	Carbonera de tierra tradicional y horno metálico transportable tipo "Mark V" (Earl, 1970; Briane <i>et al.</i> , 1985) o "TPI" (Paddon & Harker, 1979).	5
2	Rendimiento (Kg de carbón/m ³) por volumen efectivo de leña cargada.	12
3	Duración del proceso de carbonización y enfriamiento y producción respectiva de carbón	15

PRESENTACION

Desde 1984 el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, a través del Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales, financiado por la Cooperación Suiza al Desarrollo, COSUDE, ha realizado investigación ecológica y silvicultural en bosques naturales y ha llevado a cabo diferentes actividades de capacitación y enseñanza.

Las acciones del Proyecto se dirigen hacia el diseño, desarrollo e implementación de sistemas silviculturales, ecológicamente sostenibles, económicamente atractivos y técnicamente factibles. 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 otro lado, las funciones intrínsecas y protectoras del bosque. La conservación del bosque y de sus procesos dinámicos productivos son los insumos más importantes para la producción forestal. Con este enfoque la silvicultura concilia dos objetivos, a menudo considerados contrarios: producción y conservación. Así, el manejo forestal puede convertirse en la mejor herramienta para la conservación.

En Costa Rica el Proyecto identificó dos zonas prioritarias: los bosques primarios de altura de la cordillera de Talamanca y los bosques secundarios y primarios intervenidos, de las zonas húmedas bajas de la vertiente atlántica. En estos ecosistemas, el manejo forestal del bosque natural representa una opción prometedora de uso de la tierra.

Dentro de este contexto, el estudio presente evalúa aspectos económicos y ambientales de la producción de carbón en los robledales de altura, zona de mayor producción de carbón en Costa Rica. El autor obtiene conclusiones importantes sobre posibles mejoras de la producción y ofrece recomendaciones, como por ejemplo, enmarcar la producción de carbón en un manejo de los robledales basado en un rendimiento sostenido.

Thomas Stadtmüller
Líder, Proyecto Silvicultura
de Bosques Naturales

RESUMEN

En los robledales de la cordillera de Talamanca, a lo largo de la carretera Interamericana, entre El Empalme y Villa Mills, se encuentra la zona de mayor producción de carbón vegetal en Costa Rica.

En dicha zona se evaluó el impacto ambiental y el rendimiento de la producción de carbón con el hoyo de tierra tradicional y con un horno metálico transportable. Para tal fin se estudiaron 23 carboneras de tierra, se realizaron 11 ensayos de carbonización con un horno metálico transportable y se entrevistaron a 30 carboneros de 3 comunidades.

Los resultados del estudio sugieren que el método tradicional de producir carbón con un hoyo de tierra conduce a una explotación excesiva del bosque y no genera ganancias atractivas.

Con adecuadas medidas de ordenación forestal se puede llegar a un aprovechamiento más racional, sostenible y rentable del bosque, en el cual el carbón se produciría exclusivamente con base en los residuos de la explotación.

Con el uso de hornos metálicos transportables para la producción de carbón se reduce el impacto ambiental. Sin embargo, debido al alto costo de construcción, es todavía necesario demostrar, que la adopción de hornos permite generar atractivos márgenes de ganancia.

ABSTRACT

The area of highest charcoal production in Costa Rica is located in the oak forest of the Talamanca mountain range along the Panamerican Highway between the villages of El Empalme and Villa Mills.

In this area, environmental impact and yield of charcoal production was evaluated comparing the traditional method of pits and the use of a transportable metal kiln. For this purpose, 23 pits and 11 production cycles using a transportable metal kiln were studied and 30 charcoal producers of 3 communities were interviewed.

The results of the study suggest that the traditional method of charcoal production leads to an excessive exploitation of the forest and does not produce attractive returns.

It is argued that using appropriate methods of forest regulation, organization and management, a more rational, sustainable and profitable forest utilization can be achieved, which would allow charcoal production exclusively from residues of the forest exploitation.

Using transportable metal kilns for charcoal production reduces the environmental impact. However, due to high construction costs, it will be necessary to demonstrate that the use of kilns guarantees attractive financial returns.

1 INTRODUCCION

1.1 El problema de los residuos forestales

La cantidad de especies consideradas no-comerciales y la distribución poco sistemática en el espacio de los árboles de interés comercial, es un problema conocido en el aprovechamiento de los bosques naturales. Por eso, la extracción convencional selectiva de las mejores especies, calidades y tamaños, destruye muchos árboles que después se abandonan en el bosque junto con otros residuos, tales como las ramas de las copas y las trozas defectuosas o dañadas por las operaciones de tala y arrastre.

En la zona de San Carlos y Limón, que proveen el 74.2% de la materia prima para la industria forestal nacional, los estudios de Flores (1984) revelaron que el desperdicio en el bosque debido a esta selección de especies, tamaños y calidades, es equivalente al 46%⁽¹⁾.

En un estudio reciente, el Banco Mundial (1989) estima que solamente en la zona Norte y Central Atlántica de Costa Rica se podrían producir, sobre una base sostenible, de 206 000 a 495 000 m³ sólidos de residuos forestales. A nivel nacional los residuos forestales se pueden estimar a 2,2 Mio m³ (Costa Rica (DGF), 1986). Potencialmente, estos residuos pueden ser aprovechados para fines energéticos, en forma de leña - cuando no haya limitantes de transporte - o carbón de leña.

Aunque el nivel de aprovechamiento de la leña y del carbón sea muy bajo⁽²⁾, en la última década dichas fuentes de energía han cubierto aproximadamente el 35% del consumo energético nacional (Costa Rica (Min. Ind.), 1986). Los datos globales del balance energético del año 1988 respaldan esta información, indicando que la bioenergía alcanza un 40.5%, del cual un 32.2% corresponde a leña (Costa Rica (DSE, 1989).

La contribución porcentual del carbón vegetal para la producción de energía total en el país (0.5% en 1988) es muy modesta (Alvarado, 1988). El consumo presente es estimado por Salazar (1986) en aproximadamente 6 000 toneladas por año, utilizados principalmente por los restaurantes y los hogares.

Pero, debido a la necesidad de buscar fuentes alternas de energía en el país, para amortiguar la pérdida de divisas causada 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 exportaciones" (Costa Rica (Min. Ind.) 1986).

A conclusiones análogas llega el Banco Mundial (1989) que identifica tres opciones técnicamente factibles y económicamente viables para la utilización de residuos:

-
- 1 La industria forestal a su vez tiene un rendimiento del 46.5%, así que del volumen talado en el bosque, solamente una cuarta parte termina como producto final (Flores, 1984).
 - 2 El potencial biomásico del país, constituido principalmente por leña, además de residuo vegetales, biogas y alcohol, se aprovecha solamente en un 13.64% (Costa Rica (Min. Ind.), 1986).

- (1) exportación de carbón;
- (2) sustitución de los derivados del petróleo en el calentamiento directo (combustión directa) en aplicaciones industriales;
- (3) sustitución, a pequeña, escala de los derivados del petróleo en los calentadores, usando gasificadores producidos localmente.

Para que dichas opciones sean aplicables en forma sostenible a escala nacional, es necesario adoptar técnicas de manejo ambientalmente aceptables que aseguren un abastecimiento continuo de residuo a largo plazo.

En este contexto, el aprovechamiento sistemático de los residuos producidos por la extracción de madera en bosques naturales y en plantaciones, debe considerarse una medida potencialmente viable y debe ser estudiada más a fondo en sus aspectos técnicos, silviculturales y económicos.

1.2 La producción de carbón en los robledales de altura de Costa Rica

A lo largo de la carretera Interamericana, en la zona entre El Empalme y Villa Mills (Cordillera de Talamanca), se fabrican las dos terceras partes del carbón vegetal del país; se estima una producción de aproximadamente 4000 toneladas de carbón por año (Salazar, 1986). Dicha área se encuentra dentro de las reservas forestales de Río Macho y Los Santos, en las cuales, desde 1974 y 1975 respectivamente, no se permiten aprovechamientos forestales comerciales, por ser áreas protegidas (Hartshorn *et al.* 1982). La producción de carbón en esta zona no está basada en el aprovechamiento de residuos, sino que se aprovecha básicamente la mortalidad natural del bosque primario, aunque, también se talan árboles en bosques, en charrales y en potreros.

La actividad carbonera es de importancia primordial para la economía de la población local; según Siles (1980), el 52.15% de los ingresos obtenidos en la Reserva de Río Macho y el 21.64% en la de Los Santos se debe a la producción de carbón. El 41% de la población de la zona entre El Empalme y la Trinidad de Dota se dedica exclusivamente a la producción de carbón (Delvó, 1983). Aunque la población local trabaja también en otras actividades más rentables (como el cultivo de la mora) estos datos demuestran que, hasta que no existan otras alternativas económicas para los carboneros, no es socialmente factible prohibir con fines conservacionistas la producción de carbón en las reservas.

Por otro lado, si la producción de carbón continua sin control, como hasta ahora, las consecuencias a largo plazo sobre la cobertura boscosa de las reservas serán ciertamente negativas. En efecto, el método tradicional de fabricar carbón en un hoyo de tierra cubierto de "monte", o sea utilizando helechos, bambú, arbustos y regeneración natural, no implica solamente la tala de árboles maduros y sobremaduros, sino también la destrucción de la regeneración natural.

Lo anterior provoca una lenta pero inevitable degradación del bosque, en un área donde el 88.4% de los suelos (Reserva de Río Macho) son de aptitud forestal (CATIE, 1989). Además, se puede observar que con el tiempo, las áreas utilizadas para la producción de carbón se convierten en áreas de uso agropecuario para el cultivo de mora, hortalizas y pasto (Delvó, 1983).

Dada esta situación, es necesario encontrar opciones técnicamente factibles, económicamente viables y ecológicamente sostenibles, que contribuyan a disminuir el proceso de degradación ambiental que se inicia con la producción del carbón. Tales opciones tienen que ser identificadas con base en un estudio preliminar de la situación de socio-económica de partida (Briane, 1986).

Como muchos aspectos técnicos, silviculturales y socio-económicos no se pueden extrapolar directamente de la literatura, el siguiente paso debe ser, probar las opciones experimentalmente, en condiciones controladas, antes de ser divulgadas a los sectores interesados.

2 PROPOSITO Y METODOLOGIA

El presente estudio ofrece un diagnóstico preliminar de la situación, y pretende responder a preguntas de tipo silvicultural, tecnológico y económico como las siguientes:

- (1) ¿Cuáles son las consecuencias sobre el bosque, de la producción de carbón, utilizando el método tradicional del hoyo de tierra?
- (2) ¿Existen tecnologías simples de fabricación de carbón que permitan disminuir el impacto dañino en el bosque?
- (3) ¿Cuál es el rendimiento de las carboneras de tierra tradicionales?

Para el estudio se consideraron 23 carboneras tradicionales del tipo representado en la Figura 1, que es el sistema usual en las comunidades de Villa Mills (Reserva Forestal de Río Macho), Piedra Alta y Casa Azul (Cordillera de Talamanca, Costa Rica).

Los levantamientos se realizaron en la época lluviosa (del 4.8.88 al 27.10.88), sin considerar la época seca, durante la cual los rendimientos son superiores según 90% de los carboneros entrevistados⁽³⁾.

Del 10.10.1988 al 6.2.1989 (período que incluye dos meses de época seca) se realizaron 11 quemas, en dos sitios diferentes, utilizando un horno metálico transportable circular. El horno fue construido por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Figura 1) y es muy similar al horno tipo "Mark V", (Earl, 1970; Briane *et al*, 1985) y "TPI", (Paddon & Harker, 1979), ambos de amplia difusión a nivel mundial.

Para cada quema se determinaron las especies utilizadas y se midió el volumen real⁽⁴⁾ de la leña cargada, la duración del proceso de carbonización y enfriamiento, y el número y masa de los sacos de carbón producidos.

Además se obtuvieron datos relativos a tiempos de trabajo, costos de producción, aspectos técnicos y silviculturales por medio de una encuesta realizada a 30 carboneros de las tres comunidades antes mencionadas.

3 Según la encuesta de Delvó (1983) a 22 carboneros en la zona entre El Empalme y La Trinidad de Dota, 36.4% de los carboneros prefieren la época seca, mientras que para 50% no hay preferencia.

4 $V_{\text{real}} (m^3) = \sum V_i$; $V_i = [\pi/(3/4)]L(D_{i2} + D_i D_2 + D_2^2)$; L=Largo de la tuca;
 D_1 =Diámetro menor; D_2 =Diámetro mayor.

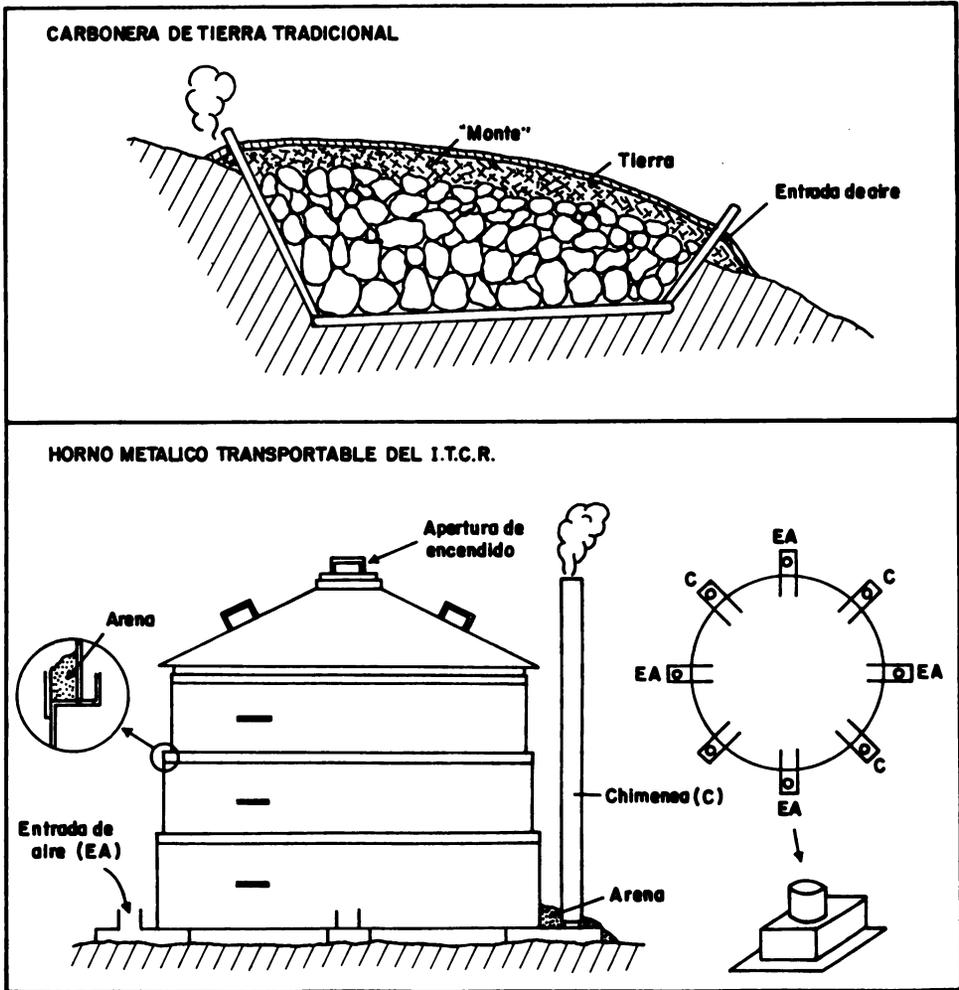


Figura 1. Carbonera de tierra tradicional y horno metálico transportable tipo "Mark V" (Earl, 1970; Briane et al., 1985) o "TPI" (Paddon & Harker, 1979).

3 RESULTADOS

3.1 Consecuencias del método tradicional de producir carbón sobre el bosque

3.1.1 ¿Hay un aprovechamiento selectivo de especies?

Según Schubel (1980), la materia prima preferida por los carboneros es la del *Quercus sp.*; especialmente la del roble (*Q. copeyensis* y *Q. aaata*), que es más fácil de rajar que la del encino (*Q. costaricensis*, *Q. irazuensis*, *Q. seemannii*, *Q. eugeniaefolia*). Delvó (1983), menciona otras 11 especies utilizadas para hacer carbón, además del roble y del encino:

Arrayán	<i>Weinmannia pinnata</i>
Azulillo	<i>Ilex palida</i>
Balsa	<i>Heliocarpus sp.</i>
Cedrillo	<i>Trichilla acuthánthera</i>
Ira	<i>Ocotea ira</i>
Magnolia	<i>Magnolia poasana</i>
Quiebra muela, Muela o	
Chilemuela	<i>Drymis granadensis</i>
Quizarrá	<i>Nectandria sp.</i>
Salvia	<i>Salvia sp.</i>
Titora	<i>Cleyera theaeoides</i>
Yas	<i>Persea schiedeana</i>

Si se confronta la proporción del volumen del género *Quercus* en el bosque primario de los sitios medidos por Blaser (1987) y Orozco (1991), con la proporción de roble y encino utilizada en las quemas analizadas en este estudio (Cuadro 1), se observa que los carboneros no utilizan una cantidad de *Quercus* significativamente superior a la proporción natural que existe (prueba de t, $p < 0.05$). Los datos indican que la preferencia de los carboneros para las especies del género *Quercus* no conlleva necesariamente a un aprovechamiento selectivo.

Pareciera que otros criterios, como la facilidad de acceso a la madera, juegan un papel importante en la elección de la especie a carbonizar, ya que, cuando no hay roble disponible en las cercanías de la carbonera, se utilizan también, indiscriminadamente, otras especies. Entre ellas: madroño (*Vaccinium consanguineum*), resina (*Styrax argenteus*) y duraznillo (*Rhamnus oreodendron*), que (Delvó, 1983) no menciona o el jaíl (*Alnus sp.*) y el papayillo (*Didymopanax pittieri*), que son especies de baja densidad y que producen un carbón liviano.

Cuadro 1. Proporción del volumen de *Quercus* sp. utilizada en 23 carboneras estudiadas, comparada con la proporción natural del bosque según Blaser (1987) y Orozco (1991).

Autor	Sitio de medición	Volumen relativo del género <i>Quercus</i>
Blaser	Villa Mills plac. (2700 msnm)	84.9%
Blaser	Villa Mills dystr. (2700 msnm)	90.9%
Orozco	Asunción-Encierro (2850 msnm)	92.1%
Orozco	Villa Mills plac. (2700 msnm)	85.3%
Orozco	Villa Mills dystr. (2700 msnm)	89.9%
Orozco	Villa Mills aquept (2700 msnm)	75.1%
Orozco	Macho Mora (2550 msnm)	90.3%
Orozco	División (2600 msnm)	86.2%
Orozco	Macho Gaff (2100 msnm)	91.3%
Carboneras de Villa Mills, Piedra Alta, Cerro Abarca y Casa Azul (2650-2800 msnm)		96.4 %

3.1.2 ¿Hay un aprovechamiento selectivo de calidades y tamaños?

En términos económicos, es grave el desperdicio al que conduce, la falta de selectividad en las calidades de los árboles utilizados para hacer carbón. Como ya había destacado Schubel (1980), los carboneros utilizan frecuentemente árboles de excelente calidad (porque son más fáciles de rajar) y los cuales podrían tener usos comercialmente mucho más rentables, como postes, durmientes y madera, si fuera permitida legalmente esta opción para aprovecharlos y el equipo de extracción necesario fuera disponible. Solamente en pequeña escala, ya sea para uso local o en algunas ocasiones con fines lucrativos, se valora más la madera utilizandola para la producción de postes y durmientes.

De acuerdo con los entrevistados, algunos carboneros dejan árboles jóvenes en pie "para el futuro" y porque "no rinden para carbón". Según Delvó (1983), "los árboles empleados son de diámetros superiores a 20 cm, sin importar sus otras características". Sin embargo, en algunos sitios se observó que la producción de carbón termina con la tala rasa, para usar luego la tierra en actividades agropecuarias, observación compartida también por Delvó (1983).

3.1.3 ¿Cuál es el volumen cortado y la superficie de bosque afectada?

Schubel (1980) estima que en un período de 30 años, desde la apertura de la carretera Interamericana hasta 1972, se cortaron aproximadamente 374 000 árboles grandes de *Quercus* para hacer carbón. Según su estimación, en 1972 desde la zona de El Empalme hasta División se producían semanalmente 6 000 sacos de carbón de 50 Kg.

Calculando con el rendimiento promedio de 155.9 ± 21.7 Kg de carbón por m^3 ($p < 0.05$) encontrado en las 23 carboneras estudiadas⁽⁵⁾, se puede estimar que en esta época se transformaban en carbón, anualmente entre 87 800 y 116 200 m^3 de madera, lo que corresponde a un volumen de, aproximadamente, 120 - 300 hectáreas de bosque⁽⁶⁾.

Después de la creación de las reservas de Río Macho y de Los Santos, la producción de carbón se redujo drásticamente (Hartshorn *et al.*, 1982), por lo que muchos pobladores tuvieron que emigrar de la zona. Entre 1972 y 1976, la población local disminuyó en dos terceras partes (Schubel, 1980), y en 1980 vivían apenas 890 personas en ambas reservas (Siles, 1980). Por lo tanto, es difícil hacer siquiera una estimación aproximada, a partir de los datos que se encuentran en la literatura, de las superficies afectadas y del volumen transformado en carbón desde la apertura de la carretera Interamericana.

Hace una década, Siles (1980) estimó que la producción de carbón en las reservas forestales de Río Macho y Los Santos era de 101 527 libras semanales, que corresponden aproximadamente a 2 300 toneladas por año. Esta cantidad se puede producir a partir de 12 900 - 17 100 m^3 de leña, que equivale al volumen de 17 - 43 hectáreas de bosque. De acuerdo con una publicación más reciente de Salazar (1986) en la zona entre El Empalme y Villa Mills se producen unas 4 000 toneladas de carbón por año. Dicha cantidad corresponde a 22 500 - 29 800 m^3 , o sea, al volumen total de madera de 30 - 75 hectáreas de bosque.

Si se confía en los datos de producción de ambos autores, se debe concluir que en la última década, la presión sobre el bosque debido a la producción de carbón, ha aumentado nuevamente y casi se ha duplicado.

3.1.4 ¿Se utilizan árboles vivos o muertos?

Solamente el 44.6% del volumen y el 37.5% de los árboles utilizados en las carboneras estudiadas son árboles muertos (en pie o caídos). Cuando la reserva de madera muerta se agota, el carbonero prefiere utilizar los árboles vivos que desplazarse a áreas lejanas, de acceso más difícil, para excavar un nuevo hoyo de carbón.

Según la información proporcionada por los propios carboneros, un hoyo de carbón se utiliza en promedio de 22 a 35 veces ($p < 0.05$, ver Anexo 1).

5 Con base en los datos de la encuesta, el rendimiento promedio se puede estimar en 152.24 ± 19.93 Kg/ m^3 (ver Anexo 1) y con base en los datos de la encuesta de Delvó (1983), se puede estimar entre 147 y 159 Kg/ m^3 , asumiendo que la masa promedio de los sacos en esta época era de 32.2 Kg (Siles, 1980) y que 1 m^3 de madera corresponde a 1.2 - 1.3 m^3 de leña. El promedio de 155.9 Kg/ m^3 se puede entonces considerar un dato confiable.

6 La estimación se hizo con base en datos de volumen por hectárea de los árboles vivos y muertos de diámetro > 50 cm, según Blaser (1987), y de los árboles vivos de diámetro > 10 cm según Orozco (1991).

El volumen total de madera carbonizada en un mismo hoyo⁽⁷⁾ se puede estimar entre 70 y 100 m³, dato que conforme a Blaser (1987), corresponde aproximadamente al volumen de madera muerta de una hectárea de bosque primario. Esto sugiere una vez más, que no solo se carbonizan los árboles muertos, ya que es más cómodo excavar varios hoyos, que transportar al hombro (Delvó, 1983) la madera muerta repartida en una hectárea a un solo hoyo central.

Cabe destacar que en los bosques estudiados por Blaser (1987) en Villa Mills, que según Orozco (1991), tienen un volumen por hectárea superior al promedio de la zona, se midieron entre 103 y 116 m³ de madera muerta ($\phi > 50$ cm) por hectárea. Estos volúmenes corresponden a 31 y 35 árboles por hectárea, de los cuales solamente tres tienen la albura podrida, mientras que los demás están más frescos. Estos datos indican que la madera muerta tiene realmente un alto potencial para la producción de carbón y, eventualmente, de postes, durmientes y leña. Calculando en base al promedio arriba mencionado, de 155.9 \pm 21.74 Kg de carbón por m³, este volumen podría producir entre 13.8 y 20.6 toneladas de carbón. Dicha cantidad equivale a 475 - 710 sacos de carbón o a un valor bruto de aproximadamente US\$ 760 - 1 140 por hectarea.

Un estudio en el área de Villa Mills, sobre la regeneración natural de especies potencialmente comerciales, que utilizan como sustrato los árboles muertos, reveló que dichos árboles no son imprescindibles para el establecimiento de dicha regeneración natural (Räber, 1988).

Desde el punto de vista financiero, el aprovechamiento de estos volúmenes de árboles muertos presenta la limitante de no ser repetible anualmente. En efecto, el volumen de árboles muertos existente se debe a una acumulación de la mortalidad natural anual, producida en un período de varias décadas.

3.1.5 ¿Cuál es el efecto del corte del "monte"?

La necesidad de cubrir las carboneras de tierra con una capa de vegetación llamada "monte" a base de helechos, bambú y regeneración (entre otros), causa evidentes efectos dañinos. En todos los sitios observados, se cortó el sotobosque en un radio mucho mayor, que la proyección de la copa del árbol cortado para producir carbón. Como las carboneras se utilizan varias veces en forma consecutiva, con el tiempo, aumenta la distancia del "monte" al hoyo de carbón.

Según información de los mismos carboneros, se debe buscar el "monte" a una distancia promedio de 165 a 315 m ($p < 0.05$) del hoyo de carbón (ver Anexo 1). Eso indica que la regeneración natural queda

7 El volumen sólido cargado en promedio a las 23 carboneras estudiadas es de 3.93 \pm 0.89 m³. Calculando con un factor de 1.2 para transformar el volumen sólido en volumen estereo de leña se obtiene la estimación del volumen promedio cargado a las carboneras según información de los 30 carboneros entrevistado (4.71 \pm 0.81 m³), y aproximadamente el volumen promedio (5.01 m³) estimado por (Delvó, 1983). Dicho promedio es entonces un dato confiable para las estimaciones arriba mencionadas.

parcialmente destruída en un área relativamente grande alrededor del hoyo de carbón⁽⁸⁾.

En el área de estudio, después de la producción de carbón, cuando no se cortan todos los árboles para sembrar hortalizas, los sitios se utilizan para pastoreo de vacas o se abandonan. En el caso del pastoreo, los animales comen las plántulas que se regeneran de los pocos árboles semilleros que algunos carboneros dejan en pie, afectando así el desarrollo de la regeneración natural. Solamente después del abandono, se inicia un lento proceso de sucesión secundaria.

3.2 Tecnologías alternativas

De la sección anterior se puede deducir que la fabricación de carbón debe mejorarse por lo menos en los siguientes aspectos:

- (1) subutilización del potencial comercial de la materia prima, debido a que se carbonizan todos los tamaños y calidades de troza;
- (2) aprovechamiento excesivo del volumen en pie (hasta tala rasa), que hace insostenible este uso de la tierra en suelos principalmente de aptitud forestal;
- (3) destrucción del sotobosque y de la regeneración natural, debido a la necesidad de cubrir la leña del hoyo con "monte".

Los primeros dos problemas se pueden solucionar con medidas adecuadas de ordenación forestal y con la apertura de ciertas áreas de las reservas forestales a un aprovechamiento forestal sostenible, debidamente controlado por las autoridades competentes.

El tercer problema es intrínseco a la carbonera tradicional y puede ser solucionado únicamente con la sustitución del hoyo en tierra por otras tecnologías tales como la de los hornos de carbón.

Debido a los escasos recursos económicos con que cuentan los carboneros se pueden excluir *a priori* los hornos industriales o semi-industriales (ver por ejemplo Briane *et al.*, 1985; Simmons, 1963), aún considerando el buen rendimiento que puedan proporcionar. Para que el carbonero considere atractivo el uso de hornos, estos, además de que deben constituir una pequeña inversión, deben permitir una simplificación del trabajo y garantizar un rendimiento por lo menos equivalente al del hoyo de tierra.

La literatura describe gran cantidad de tipos de hornos y retortas para diferentes condiciones y exigencias. Conforme al Banco Mundial (1989), se pueden distinguir cuatro principales tecnologías de carbonización :

8 El "monte" debe de tener características específicas. No se utiliza bambú seco y regeneración avanzada, porque se pueden quemar. Se prefieren los helechos, cañuela verde y por lo general las partes verdes de la regeneración.

- (1) carboneras de hoyo de tierra y de montículo (Delvó, 1983; FAO, 1983; Briane *et al.*, 1985);
- (2) hornos estacionarios de ladrillos u otros materiales (ej.: horno colmena "media naranja", FAO, 1983 y Rodriguez & Loweski, 1986; horno "Missouri", Pills, 1960 y FAO, 1983; horno colmena brasileña "Beehive", Meyers & Jennings, 1979 y Earl, 1975; horno del "Tropical Development Research Institute, TDRI", Banco Mundial, 1989);
- (3) hornos metálicos transportables (ej.: horno circular "Mark V", Briane *et al.*, 1985; Earl, 1970 y 1975; horno circular "Tropical Products Institute, TPI", Paddon & Harker, 1979 y Whitehead, 1980; horno de base rectangular, Briane *et al.*, 1984 y 1985, y Risi, 1942);
- (4) retortas, donde la fuente de calor es externa al depósito donde se carboniza la leña (ej.: horno tipo "cornue jamaïcaine", Briane *et al.*, 1985; horno "cornue" con reciclaje de gas, Briane *et al.*, 1985)

De acuerdo con el diagnóstico del Banco Mundial (1989), la tecnología de hornos más recomendable para las condiciones de Costa Rica, son los pequeños hornos estacionarios de tipo colmena (en particular el horno colmena del ICAITI, 1984) y TDRI, y los hornos metálicos transportables TPI.

Las condiciones topográficas de fuertes pendientes en los robledales de altura, dificultan y aumentan los costos de transporte de la leña. Por esta razón, los hornos de pequeña capacidad, construidos con componentes livianos y transportables con bueyes y al hombro, pueden ser más adecuados que los hornos estacionarios.

Además del horno de tipo TPI, los hornos de base rectangular, que se pueden cargar con pedazos de leña más grandes (Risi, 1942; Briane *et al.*, 1984 y 1985), parecen ser las alternativas tecnológicas con las cuales sería interesante experimentar.

Las ventajas de dichos hornos son: permiten ahorrar el trabajo de cortar "monte", tienen un ciclo de carbonización más corto, producen un carbón más limpio y son fáciles de utilizar. Las principales desventajas son: el costo de construcción relativamente alto y una vida útil corta (ICAP, 1988; Briane, 1985).

3.3 Rendimientos

3.3.1 Rendimientos de la producción

El rendimiento de la producción, definido aquí como el número de sacos o el peso del carbón, producido a partir de 1 m³ de leña se presenta en la Figura 2. Aparentemente, y debido a causas difícilmente explicables, los hoyos de carbón tienen un rendimiento mayor cuando se utilizan pequeños volúmenes de leña.

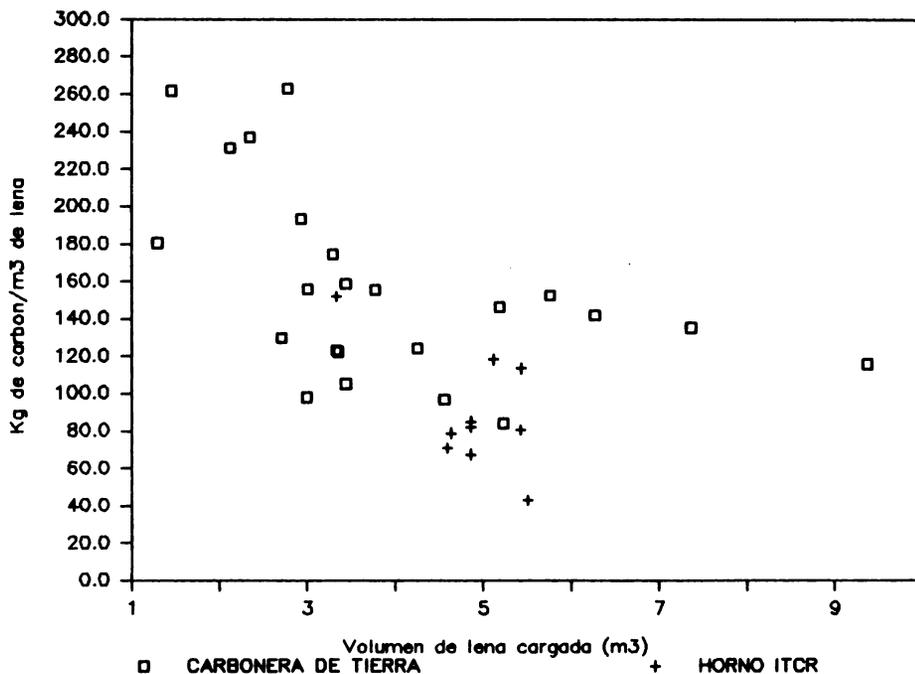


Figura 2. Rendimiento (Kg de carbón/m³) por volumen efectivo de leña cargada.

El rendimiento promedio de 155.9 Kg de carbón por m³ de leña, producido por las carboneras de tierra medidas, es significativamente superior al promedio de 88.9 Kg/m³ obtenido utilizando el horno metálico transportable del ITCR (Prueba de t, p < 0.05).

Esa diferencia no se puede atribuir exclusivamente al tipo diferente de horno; factores tales como:

- *el carbonero* (experiencia y rigurosidad en el trabajo),
- *la materia prima utilizada* (especie, tamaño de los pedazos de leña, humedad de la leña)
- *el sitio y la época del año* (humedad del suelo y precipitaciones)

afectan en forma importante los rendimientos de la producción. En el presente caso el rendimiento fue afectado especialmente, por la falta de experiencia del carbonero en el uso del horno; como se puede ver en el Cuadro 2, los carboneros mejoraron progresivamente los rendimientos conforme aumentan la experiencia.

Cuadro 2. Rendimientos en producción del horno metálico transportable.

NUMERO CARBONERO QUEMA Y SITIO	FECHA	VOLUMEN CARGADO (m ³)							TOTAL	DURACION PROCESO (dias)	PRODUCCION (Kg)	RENDIMIENTO EN PRODUCCION (sacos/m ³) (Kg carb/m ³)						
		ROB	ENC	JAUJ	ARR	MAD	PAP	RES					CHI	DUR	TIT			
1	A	10/10/88							3	17	326.0	3.5	67.0					
2	A	09/11/88	4.19	1.32					5.508204	4	14.5	236.0	2.6	42.8				
3	A	17/11/88	3.69		0.42	0.26	0.16	0.06	4.597992	5	16	325.0	3.5	70.7				
4	A	24/11/88	4.23	0.05	0.02			0.03	4.637234	6	21	364.0	4.5	78.5				
5	A	01/12/88	3.01		1.33	0.01		0.03	4.833279									
6	B	12/12/88								4	18	412.0	3.7	84.7				
7	B	20/12/88								5	19	397.0	3.9	81.7				
8	B	30/12/88	3.34						3.338043	5	21	507.5	6.3	152.0				
9	B	09/01/89	5.44						5.436694	3	26	616.0	4.8	113.3				
10	B	23/01/89	5.43						5.427472	6	16	436.0	2.9	80.3				
11	B	06/02/89	5.12						5.117600	26	606.0	5.1	118.2					
PROMEDIO																		
DESV. ESTAND.			4.83	3.78	0.68	0.59	0.14	0.16	0.04	0.03	0.33	0.02	4.862064	4.56	19.5	422.45	4.08	88.94
ERR. ESTANDARR			0.87	0.49	0.63	0.55	0.12		0.02				0.668620	1.07	3.84	116.59	1.04	29.37
IC 95%			0.44	0.25	0.45	0.32	0.09		0.01				0.236393	0.36	1.21	36.87	0.33	9.29
COEFF. VRR.			1.39	0.79	5.70	1.37	1.12		0.15				0.559089	0.82	2.74	83.40	0.74	21.01
MAXIMO			18.00	13.10	92.60	93.00	91.30		37.80				13.750000	23.39	19.7	27.60	25.48	33.02
MINIMO			5.44	4.23	1.32	1.33	0.26	0.16	0.06	0.03	0.33	0.02	5.508204	6.00	26.0	616.00	6.29	152.04
			3.34	3.01	0.05	0.02	0.01	0.16	0.03	0.03	0.33	0.02	3.338043	3.00	14.5	236.00	2.63	42.85

Nota: El rendimiento de la quema número 10 es bajo, debido a que el horno fue apagado con dos días de retraso, quemándose así parte del carbón producido. El cálculo del rendimiento de las quemas 1, 6, y 7 se hizo con el volumen de leña carbonizada en promedio.

ROB = Roble
ENC = Encino
JAUJ = Jaul
ARR = Arrayan
MAD = Madroño
PAP = Papavillo
RES = Resina
CHI = Chilemuela
DUR = Duraznillo
TIT = Yitora

Las primeras cinco quemas fueron realizadas por un carbonero (A), en un sitio expuesto al viento, en época lluviosa y utilizando nueve especies de densidad inferior al roble.

Las últimas seis quemas fueron realizadas por un carbonero y en un sitio diferente, al final de la época lluviosa y al inicio de la época seca. Se utilizó solamente roble, aunque parcialmente en avanzado grado de descomposición, lo que posiblemente afectó el rendimiento de la producción.

Dichos factores explican el bajo rendimiento de laproducción del horno y el alto coeficiente de variación del promedio (33 %).

El hecho de que la especie, el tamaño y la humedad de la leña utilizada como combustible, el sitio y el carbonero, influyeron de manera importante sobre el rendimiento de la producción se refleja también en el alto coeficiente de variación (32 %) del rendimiento de los hoyos en tierra (ver Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimientos de la producción de las carboneras de tierra.

No QUEMA	CARBONERO	VOLUMEN CARGADO			DURACION PROCESO (días)	PRODUCCION (sacos) (Kg)	RENDIMIENTO EN PRODUCCION	
		ROBLE (m3)	ENCINO (m3)	ARRAYAN (m3)			TOTAL (m3)	(sacos/m3)
1	A		3.2919		12	14 574.0	4.3	174.4
2	B	4.2548			12	18 527.4	4.2	124.0
3	C	6.2710			17	29 890.0	4.6	141.9
4	D		3.0798	0.6933	11	20 586.0	5.3	155.3
5	B	2.7074			12	12 351.6	4.4	129.9
6	E	1.2984			11	8 234.4	6.2	180.5
7	F	4.5600			11	16 441.0	3.5	96.7
8	G	1.8782		3.3512	9	15 439.0	2.9	83.9
9	F	1.4556			7	13 380.9	8.9	261.7
10	G	3.3279			12	14 410.2	4.2	123.3
11	F	3.3526			11	14 410.2	4.2	122.4
12	C	5.1903			10	24 759.0	4.6	146.2
13	H	5.7616			15	30 879.0	5.2	152.6
14	D	3.4399			12	21 546.0	6.1	158.7
15	D	2.9333			10	17 567.0	5.8	193.3
16	G	2.9959			9	10 293.0	3.3	97.8
17	H	7.3590			18	34 996.2	4.6	135.4
18	F	3.4406			12	13 362.0	3.8	105.2
19	B	3.0086			14	16 468.8	5.3	155.8
20	F	2.1230			15	17 490.8	7.9	231.2
21	F	2.3497			9	19 556.7	8.1	236.9
22	F	2.7839			8	25 732.5	9.0	263.1
23	G	9.3766			14	37 1084.1	3.9	115.6
PROMEDIO		3.80	3.19	2.02	3.93	11.78 18.95 564.34	5.23	155.90
DESV. ESTAND.		1.97	0.11	1.33	1.86	2.69 7.45 221.22	1.70	50.27
ERR. ESTANDAR		0.43	0.07	0.94	0.39	0.56 1.55 46.13	0.36	10.48
IC 95%		0.90			0.81	1.16 3.22 95.67	0.74	21.74
COEFF. VAR.		51.87	3.33	65.72	47.50	22.79 39.35 39.20	32.53	32.25
MAXIMO		9.38	3.29	3.35	9.38	18.00 37.00 1084.10	8.98	263.12
MINIMO		1.30	3.08	0.69	1.30	7.00 8.00 234.40	2.87	83.95

De acuerdo con la literatura (Briane *et al.*, 1985; ICAP, 1988; entre otros), de lo anterior se deduce que, para poder comparar los rendimientos de la producción de diferentes tipos de hornos, se debe elaborar un diseño experimental que permita controlar los factores: *carbonero, materia prima, y época del año y sitio*; estos últimos afectan principalmente el rendimiento del hoyo de tierra.

En la Figura 3 se representa, por medio de un modelo lineal, el número de sacos de carbón que una carbonera de tierra puede producir después de un determinado período de tiempo. Aunque los rendimientos de la producción del horno fueron inferiores a lo esperado, el gráfico destaca claramente que para producir una misma cantidad de sacos de carbón con una carbonera de tierra, se necesita un período de carbonización y enfriamiento dos veces mayor que con el uso de un horno (ver también Cuadros 2 y 3 y el Anexo 1). Es probable que con más experiencia en el uso de hornos, se pueda disminuir la duración del proceso a valores cercanos a las 16-24 horas necesarias para la carbonización y a las 8-12 horas para el enfriamiento mencionadas en la literatura (Earl, 1985; Paddon & Harker, 1979).

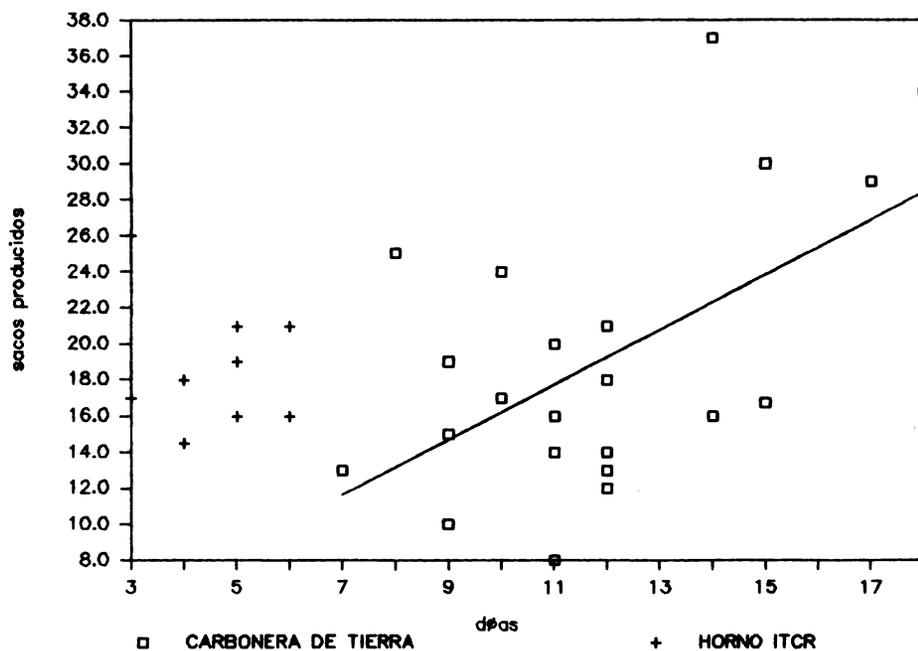


Figura 3. Duración del proceso de carbonización y enfriamiento y producción respectiva de carbón.

3.3.2 Rendimiento financiero

Calculando con 292 días hábiles por año, una producción promedio de 19 sacos de carbón cada 5 días hábiles (ver Cuadro 4) corresponde a un promedio de producción mensual de 92 sacos de carbón, dato que coincide también con el promedio estimado por los mismos carboneros (ver Anexo 1). Sin embargo, considerando que por varias razones una parte del carbón producido se pierde (por ejemplo ruptura de sacos), para el cálculo de los costos, se utilizó el promedio redondeado de 90 sacos por mes (que es igual a 3.7 sacos por jornal de 8 horas).

Cuadro 4. Tiempos de trabajo promedio en carboneras de tierra (establecidos con base en encuestas).

Trabajo	horas/hombre	días/hombre	
- Excavar hoyo nuevo**	0.37 ± 0.15	0.05	*
- Cortar, rajar transportar la leña	16.13 ± 3.33	2.02	2.6
- Apilar la leña			1.5
- Cortar "monte", tapar	5.10 ± 1.35	0.64	
- Cuidar el domingo	3.49 ± 1.12	0.44	
- Destapar y empacar	7.91 ± 1.65	0.99	1.5
- Transportar el carbón	3.94 ± 1.26	0.49	1.2
- Tiempo total de trabajo	36.94	4.62	6.8
- Duración del proceso		10.3±1.2	9.8
- Tiempo total		14.9	16.6
Número de sacos producidos	19.0±3.8		19.1

* Datos de la encuesta de Delvó (1983)
(Los intervalos indicados corresponden a un margen de confianza del 95%)

** Se reporta el tiempo de excavación de un hoyo dividido por el número de veces que se reutiliza el mismo hoyo.

Sumando al costo de la motosierra y de las herramientas, el valor de la madera en pie (estimado a ¢ 0.5 por pulgada tica) y el valor del jornal (¢ 451, comunicación personal del Ministerio de Trabajo) el costo de producción por saco de carbón es de ¢ 191.25 (ver Cuadro 5). Dicho costo es claramente superior al precio de venta (¢ 135.8 ± 5.6, $p < 0.05$). El costo del saco vacío no se contabiliza porque los sacos son devueltos al carbonero por el comprador.

Cuadro 5. Costos de producción por saco de carbón^(*)

	¢	\$	%
Madera en pie	47.96	0.571	25.1
Mano de obra (total):	(121.99)	(1.452)	(63.8)
- excavar hoyo	1.22	0.015	0.6
- cortar, rajar y apilar leña	53.27	0.634	27.9
- cortar monte y tapar	16.84	0.200	8.8
- cuidar	11.53	0.137	6.0
- destapar y empacar	26.12	0.311	13.7
- transportar el carbón	13.01	0.155	6.8
Motosierra (total):	(20.56)	(0.245)	(10.8)
- depreciación	8.50	0.101	4.4
- interés sobre la inversión	6.15	0.073	3.2
- costos variables	5.91	0.071	3.1
Depreciación de herramientas	0.74	0.009	0.4
Costo de producción total	191.25	2.277	100.0

* La estimación del costo de producción por saco se hizo suponiendo una producción mensual promedio de 90 sacos/hombre y 6 días de 8 horas de trabajo semanal, conforme a los datos de la encuesta. Los costos horarios de motosierra se calcularon con el método propuesto por Cordero (1969), con base en los datos de una motosierra STHIL 0-70, cuyo valor corresponde al valor promedio de las motosierras de los carboneros entrevistados.

Surge la pregunta: ¿Porqué entonces los carboneros producen carbón?

El costo de la madera en pie no existe realmente para el carbonero; en el caso de la producción de carbón en una finca privada, más bien aumenta el valor comercial de la misma, porque el corte de los árboles se considera una mejora de la finca. En el caso de la producción de carbón en terrenos del Estado, de hecho no hay costos y no se cobran impuestos por la madera.

Asimismo, en el caso real, el costo de la mano de obra es un costo de oportunidad que no existe, puesto que se trabaja en la producción de carbón cuando no hay otras oportunidades de trabajo y generalmente utilizando mano de obra familiar.

Esta estimación de costos indica que, también desde el punto de vista financiero, la producción de carbón con el método tradicional debe ser mejorada. Sin embargo, no se puede afirmar *a priori* que la introducción de hornos permitirá reducir significativamente los costos de producción. Una evaluación financiera preliminar con base en los datos recolectados en este estudio dejaría dudas sobre la viabilidad económica de adoptar una tecnología de hornos. Considerando un costo neto para la construcción del horno entre US\$ 1 500 y 2 000 (información personal de talleres metalmecánicos costarricenses) y una vida útil de tres años (Earl, 1975), no parece posible cubrir el costo del horno solamente con el ahorro de mano de obra proveniente de la eliminación del trabajo de cortar "monte" y tapar.

Las otras ventajas del horno, como el ciclo de carbonización más corto y la mejor calidad del carbón, no pueden ser aún cuantificadas confiablemente en términos financieros.

Lo anterior parece indicar que para iniciar un negocio rentable, es imprescindible encontrar un canal de mercado que, permita a los productores obtener un mayor precio de venta del saco de carbón.

4 CONCLUSION

A nivel nacional se puede observar que los aprovechamientos forestales se realizan con un desperdicio de enormes cantidades de residuo forestales, potencialmente utilizables para fines energéticos. Por otro lado, la zona de mayor producción de carbón en el país se concentra en las reservas forestales de los robledales de altura. En esta zona, no se permiten aprovechamientos forestales comerciales y sin embargo se produce carbón, dañando el bosque primario y utilizando árboles que podrían tener un uso comercial más rentable que el carbón, como durmientes, postes, madera para construcción y quizá para fabricación de muebles. A lo anterior se suma, que la producción con el método tradicional del hoyo de tierra es un trabajo laborioso y poco rentable, que se mantiene en la zona solamente por falta de otras oportunidades de trabajo.

Los resultados del estudio dejan pensar, que la tradición actual de producir carbón no es deseable ni desde el punto de vista silvicultural, ni económico. Sin embargo, cambiar la tradición de una cultura rural, es un proceso lento y sumamente difícil, que no se puede lograr únicamente con innovaciones tecnológicas.

La generación de nuevas posibilidades de empleo, mediante la racionalización de la actividad agropecuaria actual, del desarrollo de la actividad forestal en forma racional y del ecoturismo son medidas necesarias, que podrían evitar la degradación paulatina de los bosques de altura del país.

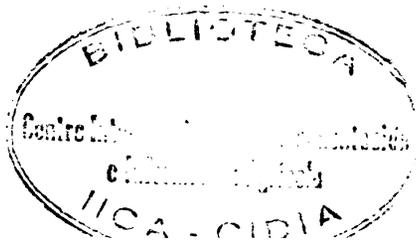
AGRADECIMIENTO

Se agradece al Ingeniero Alejandro Meza del Instituto Tecnológico de Costa Rica para el préstamo del horno metálico transportable y la asesoría técnica, a la Msc. Sayra Navas para la revisión del manuscrito y a los carboneros de las comunidades de Villa Mills, Piedra Alta y Casa Azul, cuya colaboración permitió llevar a cabo el presente estudio. También se dan las más expresivas gracias al Diplomado Alvaro Chaves por el apoyo en el trabajo de computación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALVARADO, F. 1988. Memoria estadística del Sector Energía. San José, C.R., DSE. 29 p. s.p.
- BANCO MUNDIAL. ENERGY SECTOR MANAGEMENT ASSISTANCE PROGRAM. 1989. Costa Rica, forest residues utilization study. Technical report. DSE. Washington D.C., EE.UU. 79 p.
- BLASER, J. 1987. Standörtliche und waldkundliche Analyse eines Eichen-Wolkenwaldes (*Quercus spp.*) der Montanstufe in Costa Rica. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft 26, Göttingen, BRD, 235 p.
- BRIANE, D. 1985. Mise en oeuvre de techniques de carbonisation simples y améliorées. Paris, Francia, Association Bois de Feu. 8 p.
- _____.; DOAT, J.; RIEDACKER, A. 1985. Guide technique de la carbonisation, la fabricación de carbón de bois. Paris, Francia, EDISUD. 180 p.
- _____.; HABERMAN, A. 1984. Essais comparatifs de six systèmes de carbonisation artisanale. Paris, Francia, Association Bois de Feu. 188 p.
- CENTRO AGRONOMOICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. 1989. Plan de manejo de la Reserva de Río Macho. Turrialba, C.R., s.p. Sin publicar
- CORDERO Q., W. 1989. Aprovechamiento forestal - versión revisada. ITCR. Serie de apoyo académico no. 8, 101 p.
- COSTA RICA. DIRECCION GENERAL FORESTAL (DGF). 1986. La destrucción del bosque en Costa Rica: una emergencia nacional. San José, C.R. 23 p.
- COSTA RICA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y MINAS (Min. Ind.). 1986. Plan nacional de energía 1986 - 2005, resumen ejecutivo. San José, C.R. 197 p.
- COSTA RICA. DIRECCION SECTORIAL DE ENERGIA (DSE). 1989. Balance energético nacional. San José, C.R. 28 p.
- DELVO R., D. 1983. Proceso y consideraciones económicas de la producción tradicional de carbón vegetal en Costa Rica (Damas-Parrita y El Empalme-La Trinidad de Dota). Informe de práctica de Especialidad. Cartago, C.R., ITCR, Departamento de Ingeniería Forestal. 97 p.
- EARL D., E. 1970. The Mark V portable steel kiln. Forestry Department, Technical Note (Uganda) no. 1964/70. 4 p.
- _____. 1975. Informe sobre el carbón vegetal. Roma, Italia, FAO. 94 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 1983. Métodos simples para fabricar carbón vegetal. FAO Montes no 41. 154 p.

- FLORES J., G. 1984. Diagnóstico del sector industrial forestal y alternativas de solución. San José, C.R. 135 p.
- HARTSHORN, G.; HARTSHORN, L.; ATMELLA, A.; GOMEZ L.,D.; MATA, A.; MATA, L.; MORALES, R.; OCAMPO, R.; POOL, D.; QUESADA, C.; SOLERA, C.; SOLORZANO R.; STILES, G.; TOSI JUNIOR, J.; UMAÑA, A.; VILLALOBOS, C.; WELLS, R. 1982. Costa Rica - Perfil ambiental: estudio de campo. San José, C.R. Centro Científico Tropical. 149 p.
- INSTITUTO CENTROAMERICANO DE INVESTIGACION Y TECNOLOGIA INDUSTRIAL (ICAITI). PROYECTO LEÑA Y FUENTES ALTERNAS DE ENERGIA. 1984. Manual para construcción y operación de un horno para carbón vegetal. Guatemala, Gua. 47 p.
- INSTITUTO CENTROAMERICANO DE ADMINISTRACION PUBLICA (ICAP). PROYECTO PLURINACIONAL DE COOPERACION TECNICA ENERGIA Y DESARROLLO EN EL ISTMO CENTROAMERICANO. 1988. Producción de carbón vegetal en Costa Rica, situación y perspectivas. San José, C.R. 105 p.
- MEYERS, H.M.; JENNING R., F. 1979. Charcoal ironmaking- a technical and economic review of Brazilian experience. UNIDO. UNIDO/IOD.228.
- OROZCO, L. 1991. Estudio ecológico y de estructura horizontal de seis comunidades boscosas de la cordillera de Talamanca, Costa Rica. CATIE. Colección silvicultura y manejo de bosques naturales no. 2. Serie técnica. Informe técnico no. 176. 33 p.
- PADDON, A.R.; HARKER, A.P. 1979. The production of charcoal in a portable metal kiln. Report, Tropical Products Institute. 29 p.
- PILLS, J. 1960. The wood charcoal industry in the State Missouri. University of Missouri, Engineering Experiment Station. Engineering Series Bulletin no. 48. p. 1-31
- RÄBER, C. 1991. Regeneración natural sobre árboles muertos en un bosque nublado de Costa Rica. CATIE. Colección silvicultura y manejo de bosques naturales no. 4. Serie técnica. Informe técnico no. 177. 27 p.
En prensa
- RISI M., J. 1942. L' industrie de la carbonization du bois dans la province Québec. Canada, Ministère des terres et forêts du Québec. s.p.
- RODRIGUEZ, V.; LOWESKI, L. 1986. Construcción y operación de un horno de ladrillo para producción de carbón vegetal. Instituto Superior de Agricultura, (R.D.). Programa de Desarrollo de Madera como Combustible, ISA-Boletín de divulgación no. 2. 21 p.
- SALAZAR, R. 1986. Producción y mercado de carbón vegetal en Costa Rica. San José, C.R., ICAITI. s.p.
- SCHUBEL R., J. 1980. The human impact on a montane oak forest in Costa Rica. Ph.D. Thesis. Los Angeles, Calif., EE.UU. University of California. 144 p.



- SILES DE G., G. 1980. Estudio socio-económico 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 no. 10. 29 p.
- SIMMONS F., C. 1963. La carbonización de la madera con hornos transportables e instalaciones fijas. *Unasyva*, (Italia) 17(4/71): 199-211.
- WHITEHEAD W., D.J. 1980. The construction of a transportable charcoal kiln. *Rural Technology Guide*, Tropical Products Institute (G.B.) no. 13. s.p.

**Anexo 1 Resumen de los datos de la encuesta a 30 carboneros
en la zona de Villa Mills, Piedra Alta y Casa Azul**

TIEMPOS DE TRABAJO									
(c1)	(c2)	(c3)	(c4)	(c5)	(c6)	(c7)	(c8)	(c9)	(c10)
No ESCAVAR UN HOYO DE NUEVO	TIEMPO V./QUEMA	RAJAR Y LA LEÑA EN UN HOYO	CORTAR MONTE TAPAR UN HOYO	CONTROL Y DOMENICAL DE LOS HOYOS	JUNTAR EL CAR- BON DE UN HOYO	TIEMPO DE CONTROL DE LOS SA- DOMENICAL POR HOYO	TRANSPORTE DE LOS SA- COS DE UN HOYO	TIEMPO DE TRABAJO POR SACO	PROMEDIO ([c3+c4+c5+c7+ c8+c9]/c17)
	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]	[horas]
1	8.00	0.27	14.00	3.00	3.00	8.00	0.86	3.00	1.46
2	8.00	0.53	14.00	4.00	1.50	10.00	2.25	2.00	1.64
3	3.00	0.06	9.00	4.00	2.63	7.50	3.94	4.75	1.46
4	2.50	0.05	8.00	2.50	1.00	6.00	0.79	8.75	1.74
5	2.00	0.11	8.00	6.50	3.00	3.00	3.00	2.92	2.05
6	2.00	0.16	8.00	3.00	3.50	3.00	3.50	1.00	1.49
7	7.10	0.27	24.00	6.00	1.50	18.00	1.50	3.00	5.28
8	8.00	0.27	16.00	4.00	0.50	5.00	0.29	2.00	2.76
9	1.00	0.08	2.50	2.00	3.00	2.50	3.00	2.00	0.97
10	2.00	0.07	6.00	4.00	4.00	5.50	6.00	1.00	2.26
11	16.00	0.91	24.00	2.00	2.00	8.00	3.00	1.00	3.24
12	2.00	0.10	4.00	8.00	4.00	4.00	4.00	3.00	2.31
13	8.00	0.10	24.00	7.00	3.00	5.00	3.00	4.00	2.16
14	4.00	0.16	10.00	3.00	3.00	4.00	6.00	3.00	1.59
15	5.00	0.19	16.00	3.00	1.50	6.00	0.86	0.50	2.12
16	10.00	0.57	20.00	12.00	2.25	13.00	2.89	3.00	2.06
17	6.00	0.40	16.00	4.00	2.25	9.00	2.25	1.50	2.21
18	16.50	1.50	21.00	3.00	2.00	3.75	2.29	2.00	3.19
19	4.00	0.13	12.00	4.00	1.00	8.00	1.79	2.00	1.40
20	24.00	0.49	43.50	4.50	0.30	16.00	0.60	8.00	1.83
21	16.00	1.28	16.00	16.00	2.00	9.00	2.86	8.00	2.13
22	16.00	1.60	24.00	8.00	6.00	14.00	15.00	8.00	1.57
23	10.00	0.40	32.00	16.00	3.00	16.00	6.00	16.00	1.73
24	6.00	0.34	16.00	2.50	4.00	8.00	4.00	8.00	2.59
25	6.00	0.08	16.00	3.00	3.00	8.00	3.00	8.00	1.52
26	3.00	0.12	16.00	4.00	8.00	16.00	9.14	5.00	2.01
27	6.00	0.23	32.00	4.00	4.00	8.00	8.00	2.00	2.71
28	4.00	0.23	8.00	4.00	1.50	8.00	3.00	0.33	1.18
29	8.00	0.46	12.00	2.00	1.50	1.00	1.71	2.50	1.57
30	2.00	0.04	12.00	4.00	0.25	4.00	0.25	2.00	2.23
PROM	7.20	0.37	16.13	5.10	2.61	7.91	3.49	3.94	2.08
DESV	5.45	0.41	8.92	3.60	1.61	4.42	3.01	3.38	0.80
ERR	1.00	0.08	1.63	0.66	0.29	0.81	0.55	0.62	0.15
IC95	2.04	0.15	3.33	1.35	0.60	1.65	1.12	1.26	0.30
CV	75.71	110.36	55.30	70.67	61.96	55.91	86.14	85.83	38.52
MAX	24.00	1.60	43.50	16.00	8.00	18.00	15.00	16.00	5.28
MIN	1.00	0.04	2.50	2.00	0.25	1.00	0.25	0.33	0.97

CARACTERISTICAS

(c1) No	(c11) DURACION DEL PRO- CESO [días]	(c12) NUMERO HOYOS EN FUN- CION	(c13) NUMERO DE VECES QUE SE USA UN HOYO	(c14) DISTANCIA DEL HOYO AL MONTE [m]	(c15) AREA AFECTADA POR EL CORTE DE MONTE [ha]	(c16) EN VERANO LOS HOYOS RINDEN MAS [1=SI]
1	11.00	5	30.00	600.00	113.10	1
2	11.50	5	15.00	150.00	7.07	1
3	11.50	7.5	52.00	100.00	3.14	1
4	6.50	5	52.00	100.00	3.14	1
5	8.00	5	17.50	175.00	9.62	1
6	8.00	6	12.50	100.00	3.14	1
7	8.00	3	26.00	500.00	78.54	1
8	5.00	3.5	30.00	150.00	7.07	1
9	8.00	5.5	12.50	500.00	78.54	1
10	11.50	5	30.00	400.00	50.27	1
11	11.50	3.5	17.50	300.00	28.27	1
12	8.00	2.5	20.00	600.00	113.10	1
13	8.00	4	78.00	100.00	3.14	1
14	15.00	3.5	25.00	500.00	78.54	1
15	5.00	4	26.00	20.00	0.13	1
16	10.00	2	17.50	400.00	50.27	1
17	8.00	4.5	15.00	100.00	3.14	1
18	9.00	3	11.00	600.00	113.10	1
19	13.50	2	30.00	100.00	3.14	1
20	15.00	7.5	48.75	200.00	12.57	1
21	11.00	2.5	12.50	200.00	12.57	
22	18.50	3	10.00	25.00	0.20	1
23	15.00	2	25.00	15.00	0.07	
24	8.00	3.5	17.50	62.50	1.23	1
25	8.00	3.5	78.00	200.00	12.57	1
26	9.00	4	26.00	25.00	0.20	
27	15.00	5	26.00	500.00	78.54	1
28	15.00	4	17.33	100.00	3.14	1
29	9.00	4.5	17.50	75.00	1.77	1
30	8.00	4	50.00	350.00	38.48	1
PROM	10.28	4.10	28.20	241.58	30.26	90%
DESV	3.28	1.39	17.81	194.82	38.15	
ERR	0.60	0.25	3.25	35.57	6.96	
IC95	1.23	0.52	6.65	72.74	14.24	
CV	31.93	33.83	63.15	80.64	126.06	
MAX	18.50	7.50	78.00	600.00	113.10	
MIN	5.00	2.00	10.00	15.00	0.07	

PRODUCCION Y RENDIMIENTO						MOTOSIERRA			
(c1)(c17)	(c18)	(c19)	(c20)	(c21)	(22)	(c23)	(c24)	(c25)	(c26)
No	NUMERO DE SACOS DE PRODUCCION MENSUAL ALMENTE	NUMERO DE HOM-BRES POR HOYO	NUMERO DE SACOS PRO-DUCIDOS POR UN HOYO	VOLUMEN DE LEÑA CARGADO AL HOYO	RENDIMIENTO DE LOS HOYOS	PRECIO ACTUAL DE LA MOTO-SIERRA	GASTO DE COMBUST-IBLE POR SACO	GASTO ACEITE POR SACO	DEPRECIO SACO DE CARBON
			[m3]	[sac./m3]	[Kg*/m3]	[c]	[1]	[1]	[c]
1	90	1	20.00	7.5	3.20	92.80			
2	0	1	20.00	5	4.80	139.20	20000	0.19	0.05 130.00
3	200	1	20.00	3.75	6.40	185.60		0.05	0.02 125.00
4	80	1	15.00	4	4.50	130.50	41000	0.06	0.02 130.00
5	70	1	11.50	2.5	5.52	160.08	10000	0.05	0.01 130.00
6	90	1	12.50	1.5	10.00	290.00	26000	0.04	0.04 130.00
7	50	3	10.00	3	4.00	116.00		0.05	0.05 130
8	0	1	10.00	2.5	4.80	139.20	100000	0.05	0.01 130.00
9	90	1	12.50	2	7.50	217.50	30000	0.08	0.04 130.00
10	90	1	10.00	1.5	8.00	232.00	18000	0.09	0.05 130.00
11	45	2	12.00	3.5	4.11	119.31	35000	0.09	0.05 140.00
12	40	2	10.00	6	2.00	58.00			125.00
13	150	2	20.00	4.5	5.33	154.67	40000	0.05	0.02 135.00
14	100	1	16.50	5.5	3.60	104.40	40500	0.06	0.02 140.00
15	60	2	12.50	2	7.50	217.50		0.15	0.04 130.00
16	30	2	25.00	7	4.29	124.29		0.08	0.02
17	0	2	15.00	5	3.60	104.40			
18	124	3	10.50	3	4.20	121.80	62500	0.18	0.05 180
19	20	1	20.00	3	8.00	232.00	10000	0.06	0.02 130.00
20	300	2.5	40.00	9	5.33	154.67	73500	0.03	0.01 130.00
21	40	2	25.00	10	3.00	87.00	40000	0.08	0.04 140.00
22	200	2	45.00	8	6.75	195.75		0.04	0.04
23	100	2	50.00	7	8.57	248.57		0.04	0.02
24	60	1	15.00	4	4.50	130.50			130.00
25	180	2	25.00	6	5.00	145.00	42000	0.04	0.04 135.00
26	160	2	25.00	10	3.00	87.00	41000	0.01	0.01 135.00
27	160	2	20.00	4	6.00	174.00	50000	0.07	0.01 140.00
28	90	1	20.00	4.5	5.33	154.67			
29	80	1	12.50	3.5	4.29	124.29	40000	0.05	0.02 130.00
30	90	1	10.00	2.75	4.36	126.55	46000	0.10	0.05 175.00
PROM	92.97	1.58	19.02	4.72	5.25	152.24	40289	0.07	0.03 135.83
DESV	67.01	0.63	10.06	2.39	1.84	53.37	20994	0.04	0.01 13.28
ERR	12.23	0.12	1.84	0.44	0.34	9.74	4816	0.01	0.00 2.71
IC95	25.02	0.24	3.76	0.89	0.69	19.93	10119	0.02	0.01 5.61
CV	72.08	40.01	52.89	50.58	35.06	35.06	52	60.96	46.09 9.78
MAX	300.00	3.00	50.00	10.00	10.00	290.00	100000	0.19	0.05 180.00
MIN	0.00	1.00	10.00	1.50	2.00	58.00	10000	0.01	0.01 125.00

NOTAS: (c21) y (c22), el rendimiento se calcula suponiendo que 1 m³ de madera corresponde a 1.2 m³ estereos de leña. El peso promedio de los sacos, establecido con base en la medición de 277 sacos de carbón de roble y 41 sacos de carbón.

Encino, es de 29 ± 0.22 Kg ($p < 0.05$)

(c24) y (c25), el gasto de combustible y aceite para cadena de motosierra fue estimado por los carboneros para un número dado de sacos. En estas columnas se reporta el valor correspondiente para la producción de 1 saco de carbón.

**Publicación del Proyecto Silvicultura de Bosques Naturales (COSUDE),
editado por INFORAT/CATIE.**

Coordinadora de INFORAT:	Claudia Monge
Editor:	Emilio Hidalgo de Caviedes
Revisión Bibliográfica:	Carlos E. Granados M.
Dibujos:	Lucio Pedroni Rocío Jiménez
Diseño Artístico de la Portada:	Lucio Pedroni
Diseño Gráfico de la Portada:	Roy García
Levantado de Texto:	Lucio Pedroni Alvaro Chaves
Montaje Artes Finales:	Rocío Jiménez

Impreso en los talleres gráficos de Varitec, S.A.

Edición de 650 ejemplares

Se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 1991