

utilización de productos biomásicos

- con énfasis en madera

- en la producción de energía

Róger Solano* Víctor Rojas**

RESUMEN

Se presentan las ecuaciones utilizadas para la determinación del poder calórico de productos biomásicos con énfasis en madera (leña). También se incluye información sobre características de algunas especies vegetales de interés potencial en cuanto a su uso energético.

INTRODUCCION

Uno de los materiales biomásicos más abundantes y que presenta mayores posibilidades para usar como energía en forma masiva es la madera. Tradicionalmente se ha usado como combustible y mundialmente se estima que un tercio de la población depende de ella para realizar las actividades de cocción y calentamiento. El 90% del total de madera consumida en países en desarrollo es usado como combustible y la mitad de éste para cocinar.

En Costa Rica, los productos biomásicos han representado la mayor parte del total de la energía consumida: solo con leña se ha producido el 40% del total de la energía consumida en el país en el período 1981–1982 (Fuente: Ministerio de Energía y Minas).

La creciente crisis petrolera ha incentivado la búsqueda y empleo de otras fuentes de energía, lo que ha incrementado el interés por la leña. Sin embargo, aún persiste un desconocimiento técnico de las características energéticas de la madera. De ahí nuestro interés en presentar la información técnica sobre la biomasa, la determinación de su poder calórico y la aplicación práctica en varias especies de madera.

* M.Sc. Profesor en el Departamento de Ingeniería Agrícola del ITCR.

** Profesor en el Departamento de Ingeniería en Maderas, ITCR.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

La biomasa contiene siempre una cantidad de agua—producto de su proceso biológico en tal cantidad que normalmente requiere un tratamiento previo de extracción de este líquido si se quisiera usarla con fines energéticos.

Contenido de humedad

La cantidad de agua en estos productos se denomina **contenido de humedad**. Normalmente, la determinación del contenido de humedad se da por métodos gravimétricos de laboratorio, que consisten en pesar la muestra verde (el resultado se conoce como peso verde PV), luego se introduce en un horno de laboratorio, preferiblemente de convección forzada a una temperatura de 105°C por 24 horas o hasta que el peso no varíe con respecto al tiempo, lo que representa el peso seco al horno (PS).

El contenido de humedad puede expresarse en dos formas, base seca o base verde, y estas son usadas indistintamente por lo que es necesario aclarar qué referencia se está usando. Las expresiones aritméticas para cada una son:

$$\% \text{ Contenido de humedad base verde (CHv)} = \frac{\text{Peso verde (PV)} - \text{Peso seco (PS)} \times 100}{\text{Peso verde (PV)}}$$

$$\% \text{ Contenido de humedad base seca (CHs)} = \frac{\text{Peso verde (PV)} - \text{Peso seco (PS)} \times 100}{\text{Peso seco (PS)}}$$

Las siguientes ecuaciones pueden establecer la relación entre ambos contenidos de humedad.

$$CH_s = \frac{CH_v}{100 - CH_v}$$

Ecuación No. 1

$$CH_v = \frac{CH_s}{100 + CH_s}$$

Ecuación No. 2

Existen también instrumentos eléctricos portátiles que son usados para determinar el contenido de humedad en una gran variedad de productos y su diseño es diferente con cada producto aunque el principio de funcionamiento es igual a todos. Este método es un buen indicador de campo cuando se necesitan mediciones rápidas pero su precisión no es grande.

El contenido de humedad es un dato importante para varios efectos, tales como transporte, preservación de productos, uso final, etc. El CH también incide en la energía liberada por unidad de peso de combustible cuando la biomasa se usa para fines energéticos y existen valores límites de CH donde ni siquiera hay combustión del material.

Valor calórico

El valor calórico de un material se define como la cantidad de calor que ceden los productos de la combustión durante el proceso de enfriamiento hasta su temperatura inicial.

Al hablar de energía y de utilización de productos biomásicos, es necesario conocer los valores calóricos de los combustibles que se van a usar, para cuantificar la biomasa necesaria para alimentar los equipos consumidores de energía.

Existen varios valores calóricos, a saber valor calórico superior, valor calórico inferior y valor calórico neto. Las siguientes son las definiciones que se seguirán en este informe.

Valor calórico superior (PCS) se define como el calor liberado cuando el combustible es completamente combustionado a dióxido de carbono y agua condensada a 25°C.

Valor calórico inferior (PCI) se define como el calor liberado cuando el combustible está completamente combustionado a dióxido de carbono y agua en estado gaseoso (temperaturas superiores a 100°C).

Valor calórico neto (PCN) se define como la energía liberada y realmente entregada al material receptor.

El PCS se obtiene por medio de una bomba calorimétrica y PCI y el PCN se derivan conociendo otros datos. Este proceso se ilustrará más adelante.

Las definiciones anteriores son válidas para cualquier combustible, sea este fósil o biomásico. La diferencia en el análisis de estos valores estriba en el hecho de que los combustibles fósiles o derivados del petróleo no contienen agua, mientras que los combustibles biomásicos poseen gran cantidad de humedad.

El cuadro No. 1 muestra la relación existente entre el contenido de humedad base verde y el PCI y se adjunta para ilustrar el comportamiento de un combustible como madera con un PCS de 20 000 KJ/kg.

CUADRO No. 1. Efecto del secado en el poder calórico inferior.

Peso seco de la madera Kg	Agua en la madera Kg	Contenido de humedad base verde o/o	Calor requerido para evaporar el agua en la madera KJ	Poder calórico inferior KJ/Kg
1	7,24	86,19	18 612	0
1	4,00	80	10 280	8 332
1	2,33	70	5 988	12 624
1	1,50	60	3 855	14 757
1	1,00	50	2 570	16 042
1	0,67	40	1 722	16 890
1	0,43	30	1 105	17 507
1	0,25	20	642	17 970
1	0,11	10	283	18 329
1	0,00	0	0	18 612

LA MADERA COMO FUENTE DE ENERGIA

La composición química de la madera seca al horno en forma ponderada se estima en 50% carbón, 41% oxígeno y 6% de hidrógeno, 1% nitrógeno. La energía intrínseca en la madera se ve reducida a la hora de la combustión por varios factores:

- Contenido de humedad
- Hidrógeno, que forma agua al combinarse con el oxígeno de combustión, y
- Gases de combustión y exceso de aire.

Todos los combustibles biomásicos y especialmente la madera contienen humedad según se había mencionado anteriormente. La ecuación que indica la energía perdida en un combustible a un contenido de humedad definido es:

$$EPH = (CH_v \times (538,9 + (100 - T_1) + 0,253 T_2) \times 4,18$$

Ecuación No. 3

donde:

EPH = es la energía perdida por humedad, en kilojulios por kilogramo

CH_v = contenido de humedad en base verde

T₁ = temperatura ambiente (°C)

T₂ = temperatura de salida de los gases (°C)

4,18 = factor de conversión

La ecuación No. 3 para efectos de obtener el poder calórico inferior se puede escribir:

$$EPH = (CH_v \times 538,9) \times 4,18$$

Ecuación No. 4

Las pérdidas causadas por hidrógeno se producen al combinarse el hidrógeno contenido en el combustible con el oxígeno del aire de combustión, el que se condensa al bajar la temperatura de los gases de combustión de 100°C.

Las reacciones químicas que gobiernan la combustión son:



La ecuación No. 6 muestra cómo se forma el agua de combustión. En el caso de madera, un kilo de madera seca al horno es decir a cero contenido de humedad produce 0,54 kilos de agua al combustiónarse. La ecuación No. 7 indica las pérdidas por hidrógeno.

$$EPH_2 = (0,54 (1 - CH_v) \times 538,9 + (100 - T_1) + 0,253 \times T_2) \times 4,18$$

Ecuación No. 7

donde:

EPH₂ = energía perdida por hidrógeno en kilojulios/kilogramo

Para efectos de cálculo de poder calórico inferior la ecuación No. 5 se puede resumir en:

$$EPH_2 = (291,0 (1 - CH_v)) \times 4,18$$

Ecuación No. 8

Las pérdidas causadas por gases de combustión se deben a que estos normalmente están a alta temperatura cuando salen del horno secado o cualquier otro tipo de maquinaria que utiliza combustión para su proceso. Las pérdidas causadas por exceso de aire se deben al aire que debe introducirse y que excede a la cantidad que teóricamente se necesita para la combustión.

La ecuación que indica estas pérdidas es:

$$EPA = [(T_2 - T_1) (1 - CH_v) / (0,132 \times \% EA \times A)] + N_2 \times 0,134 + CO_2 \times 0,121] \times 4,18$$

Ecuación No. 9

donde:

EPA = energía perdida por exceso de aire y gases de combustión en KJ/kg.

EA = exceso de aire.

A = cantidad de aire en kilogramos (para madera úsese 6,03 kg).

N₂ = cantidad de nitrógeno (para madera úsese 4,64).

CO₂ = cantidad de dióxido de carbono (para madera úsese 1,83)

Las constantes numéricas significan el calor específico en Kcal/kg.

Existen otras pérdidas menores, debidas a pérdidas por radiación, carbón no quemado, humedad absoluta del aire de combustión y otras. Estas pérdidas son bastante difíciles de cuantificar ya que dependen de cada situación específica. En el caso de hornos que queman madera se estima en un 5% del calor disponible, el cual posteriormente se definirá.

El elemento que se combustiona en el caso de madera y otros productos biomásicos es la esencia lignocelulosa, por tal razón, en la madera como producto seco al horno, el calor disponible se especifica como:

$$ED = (1 - CH_v) PCS \times 4,18$$

Ecuación No. 10

donde:

ED = energía disponible en kilojulios/kilogramo

El PCS es un dato de laboratorio y se encuentra en algunos textos. El poder calórico inferior de un combustible se define por:

$$PCI = (10) - (4) - (8)$$

Ecuación No. 11

donde los números entre paréntesis se refieren al número de ecuación.

El poder calórico neto se calcula con la ecuación:

$$PCN = (10) - (3) - (7) - (9)$$

Ecuación No. 12

DESCRIPCION DE ALGUNAS ESPECIES DE MADERA

Para que el lector pueda contar con mayor información que le permita usar la madera como combustible, a continuación se describen algunas especies de interés por su uso potencial como fuente energética. Se incluyen especies exóticas o poco abundantes en el territorio nacional, como una forma de ofrecer otras opciones para el diseño y establecimiento de plantaciones para explotación con fines energéticos.

Nombre científico: *Acacia farnesiana* (L) Willd

Nombre común: **aromo**

Arbusto que se extiende desde el Sur de los Estados Unidos hasta Argentina, en zonas bajas y medianas con climas húmedos y secos. Sus flores han sido usadas en perfumería, sobre todo en Francia donde se cultiva para este fin.

Valor calórico superior: 19 218 kj/kg

Nombre científico: *Albizia falcata* (L) Backer

Sin. *Albizia moluccana* Mig.

Nombre común: **gavilancillo**

Es un árbol mediano nativo de las Islas Molucas y Java. En Costa Rica se ha adaptado bien en zonas bajas y medianas con climas húmedos. El crecimiento es rápido, como puede observarse en plantaciones experimentales establecidas en Buenos Aires, Provincia de Puntarenas, pese a que son suelos empobrecidos.

Valor calórico superior: 19 525 kj/kg

Nombre científico: *Alnus nepalensis* o Don

Nombre común: **Nepalese alder**

Es un árbol mediano nativo de Birmania y de los Montes de Himalaya pero plantado extensivamente en zonas altas tropicales. En Costa Rica ha sido plantado por el CATIE en Turrialba.

Valor calórico superior: 20 749 kj/kg

Otra especie similar en Costa Rica es *Alnus acuminata* H.B.K., cuyo nombre común es **jaúl**. Es un árbol mediano de las montañas entre 1400 y 3 000 msnm, en el bosque pluvial montano y montano bajo. Ha sido ampliamente utilizado como una de las mejores leñas combustibles. Es excelente en pulpa para papel de acuerdo con el factor Runkel. Es especie abundante que se caracteriza por ser de rápido crecimiento y por fijar el nitrógeno del aire.

Nombre científico: *Andira inermis* (Swartz) H.B.K.

Nombre común: **carne asada**

Arbol mediano distribuido de México a Bra-

sil y Africa, en zonas bajas con climas secos húmedos y muy húmedos. Bajo estas condiciones aún queda algo de esta especie en Costa Rica.

Valor calórico superior: 19 904 kj/kg

Nombre científico: *Araucaria* sp

Nombre común: **araucaria**

Arboles grandes plantados en parques y jardines de la meseta central de Costa Rica. Como se ve no es abundante.

Valor calórico superior: 20 093 kj/kg.

Nombre científico: *Artocarpus integrifolia* L.f.

Nombre común: **jackfruit**

Arbol nativo del Este de las Indias, pero cultivado en la Provincia de Limón y en algún jardín de San José, Costa Rica, de aquí la amplitud de su rango.

Valor calórico superior: 21 565 kj/kg.

Nombre científico: *Aspidosperma megalocarpum* Muell Arg.

Nombre común: **amargo**

Arbol grande acreditado por la excelencia de su madera. Crece en zonas bajas del bosque húmedo tropical. Relativamente queda poco de esta especie.

Valor calórico superior: 19 716 kj/kg

Nombre científico: *Bombax malabaricum* D.C.

Nombre común: **bombacho**

Arbol grande nativo desde el Sur de Asia hasta Australia en zonas bajas con climas secos y húmedos, plantado en Costa Rica por el CATIE en Turrialba. La madera puede ser usada en formaleas. El algodón de sus frutos se emplea en la confección de almohadas.

Valor calórico superior: 19 722 kj/kg.

Nombre científico: *Bombax* sp

Nombre común: **bombax**

Arbol mediano, de fuste recto, nativo del Suroeste de Costa Rica hasta Panamá, en zonas bajas con climas muy húmedos. Visto en Golfo Dulce, pero no abundante.

Valor calórico superior: 19 506 kj/kg

Nombre científico: *Carapa guianensis* Aubl

Nombre común: **cedro macho, caobilla**

Arbol grande, nativo desde Belice y Las Antillas hasta el Valle del Amazonas, Brasil y Guayanas, en zonas bajas del bosque húmedo y muy húmedo tropical.

De Costa Rica se han exportado grandes cantidades de esta madera, pero aún es una especie de las que más quedan en el país.

Valor calórico superior: 19 569 kj/kg.

Nombre científico: *Cassia fistula* L.

Nombre común: **caña fístula**

Arbol mediano, originario del Sur de Asia. Se encuentra ampliamente distribuido en zonas bajas y secas de países tropicales. Es un ornamental muy atractivo tanto que se le llama también "cassia lluvia de Oro". Por la belleza de sus flores podrá propagarse con fines ornamentales en algunos lugares de la Provincia de Guanacaste.

Valor calórico superior: 18 363 kj/kg.

Nombre científico: *Cassia siamea* Lam

Nombre común: **cassia**

Arbol mediano nativo del Sur de Asia en zonas bajas y bajo-medianas del bosque húmedo tropical. En Costa Rica ha sido plantado en avenidas de San José donde se nota un buen crecimiento. Algunos árboles se ven atacados por un moho negro, pero aparte de esto es de rápido crecimiento y bueno para la leña.

Valor calórico superior: 19 381 kj/kg.

Nombre científico: *Casuarina cunninghamiana* Mig

Nombre común: **casuarina**

Arbol mediano de rápido crecimiento en zo-

nas medianas con climas húmedos. Esta especie es originaria de Australia, pero se ha propagado ampliamente como rompevientos y ha sido usada como leña.

Valor calórico superior: 19 981 kj/kg.

Nombre científico: *Casuarina equisetifolia* L.

Nombre común: **casuarina**

Arbol grande nativo de Asia Tropical y Australia, ha sido plantado en avenidas y también como rompevientos. Sólo se ha usado como leña. Esta especie y la anterior se han propagado y aunque no sirven como madera, tienen interés por su potencial energético.

Valor calórico superior: 19 580 kj/kg.

Nombre científico: *Cocos nucifera* L.

Nombre común: **coco**

Es la palma de coco nativa de los trópicos de Asia pero distribuida en el mundo por la importancia comestible de su fruto.

La madera de la palma puede ser utilizada, presenta buenas características y además es muy importante como combustible.

Valor calórico superior: 21 052 kj/kg.

Nombre científico: *Cryptomeria japonica* D. Don

Nombre común: **japonese pir**

Esta especie de Japón ha sido ampliamente distribuida en muchas partes del mundo. Aquí en Costa Rica ha sido plantada en las partes altas hacia arriba de Pacayas y en algunos otros lugares similares en clima. La madera es liviana, pero de las más nobles en trabajos de ebanistería y como leña es excelente. Se considera que deben intensificarse las plantaciones con esta especie, por su potencial económico, tanto por la calidad de madera como por su valor como fuente de energía.

Valor calórico superior: 22 672 kj/kg.

Nombre científico: *Dillenia indica* L.

Nombre común: **dilenia**

Arbol mediano de Asia Tropical, pero planta-

do en zonas bajas con climas húmedos y secos. Hay muy poco de esta especie.

Valor calórico superior:

21 730 kj/kg (*duramen*)

21 692 kj/kg (*albura*)

Nombre científico: *Eucalyptus camaldulensis*

Dehin

Nombre común: **eucalipto**

Esta especie introducida, se caracteriza por su buen crecimiento. Prácticamente no presenta problemas.

Es importante anotar que el *Eucalyptus* reúne muchas especies. En general todas presentan un valor calórico muy bueno, además los silvicultores se interesan en su cultivo por sus características de crecimiento.

Valor calórico superior: 19 737 kj/kg

Nombre científico: *Eucalyptus deglupta* Blume

Nombre común: **eucalipto**

Especie introducida de rápido crecimiento. Existe en plantaciones y se intensifica su cultivo.

Valor calórico superior: 21 107 kj/kg

Nombre científico: *Eucalyptus globulos* Labill

Nombre común: **eucalipto**

Esta especie es de la parte este de Tasmania pero ampliamente distribuido por el mundo. En la India es cultivado para carbón.

Valor calórico superior: 20 719 kj/kg.

Nombre científico: *Ficus retusa* L.

Nombre común: **higuerón**

Arbol de las zonas bajas del sureste tropical asiático conocido como Laurel de la India, en Costa Rica visto en el parque de Limón. El género *Ficus* está muy bien representado, pero en otras especies.

Valor calórico superior: 19 314 kj/kg.

Nombre científico: *Gliricidia sepium* (Jacq) Steud

Nombre común: **madero negro**

Arbol mediano, distribuido desde México y Las Antillas hasta el norte de Suramérica, en elevaciones bajas y medianas con climas de seco a muy húmedos. Madera de alta duración. Es una especie abundante y fácil de propagar.

Valor calórico superior: 20 566 kj/kg.

Nombre científico: *Gmelina arborea* Roxb
Nombre común: **melina**

Arbol mediano originario de India Central y el Sureste de Asia en zonas bajas con climas húmedos. En Costa Rica, bajo estas condiciones crece muy rápidamente y de buena forma. La madera es buena por sus propiedades y excelente en pulpa para papel. Promete para un futuro inmediato.

Valor calórico superior:

19 608 kj/kg

20 302 kj/kg

22 260 kj/kg

Nombre científico: *Grevilla robusta* A Cunn
Nombre común: **gravilea**

Arbol mediano introducido en la Meseta Central de Costa Rica donde su crecimiento ha sido satisfactorio. Puede pensarse en reforestar con esta especie, ya que no ofrece problemas y su madera es durable, apta para muebles y construcción y muy buena como leña. Aún queda en el Valle Central.

Valor calórico superior: 20 367 kj/kg.

Nombre científico: *Hymenolobium* sp
Nombre común: **cola de pavo**

Arbol grande de zonas bajas, habita en el bosque muy húmedo tropical. La madera es de excelente calidad y muy buena como leña y carbón. Aún queda en los bosques.

Valor calórico superior: 20 197 kj/kg.

Nombre científico: *Laetia procera* Eichl
Nombre común: **manga larga**

Arbol grande del bosque muy húmedo tropi-

cal. Es importante por su regeneración secundaria cerca del Río San Juan, Costa Rica. Esta especie ha sido investigada en el ITCR por sus propiedades y características y se ha determinado que existe en regulares cantidades.

Valor calórico superior: 20 323 kj/kg.

Nombre científico: *Lagerstroemia speciosa* Pers
Nombre común: **reina de las flores**

Arbol mediano originario del sur de Asia y de las Islas del Océano Indico, pero introducido como ornamental en zonas bajas con climas húmedos. Es poco lo que hay de esta especie, quedando ejemplares sólo en parques.

Valor calórico superior: 19 306 kj/kg.

Nombre científico: *Mangifera indica* L
Nombre común: **mangó**

Arbol mediano de Asia Tropical, pero introducido en zonas bajas y medianas. Su madera no ha sido usada pero es excelente para ciertos trabajos, dado el entrelace de sus fibras que la hace resistente al agrietamiento y quebrantos por flexión..

Valor calórico superior: 18 692 kj/kg.

Nombre científico: *Melia azederach* L
Nombre común: **paraíso**

Arbol mediano del hemisferio oriental, plantado como ornamental en zonas bajas y medianas. En Costa Rica no se ha usado la madera, pero es fina y durable. En realidad no es una especie abundante a no ser como ornamental.

Valor calórico superior: 21 092 kj/kg.

Nombre científico: *Ormosia* sp
Nombre común: **ormosia**

Este género contiene varias especies pequeñas y medianas en el bosque húmedo tropical, algunas con buenas maderas pero la mayoría de buen valor calórico. En los bosques hay muchas especies del género.

Valor calórico superior: 20 155 kj/kg.

Nombre científico: *Parinari excelsa* Sab
Nombre común: **parinaria**

Arbol grande de la América Tropical. Encontrado en las montañas del norte de Costa Rica en 1981 por científicos nacionales.

La madera es fuerte y durable, pero difícil de aserrar, por lo que no se usa. Por su escasa utilización queda aún en los bosques, a no ser que se le quemé en hechura de potreros.

Valor calórico superior: 20 068 kj/kg.

Nombre científico: *Pinus caribaea* Morelet
Nombre común: **pino**

Arbol que se ha introducido en plantaciones pero con problemas que restringen su buen desarrollo. En general los pinos son muy buenos en la combustión, *Pinus rígida* Mill es la especie que se reporta con mayor calor calórico 28 477 kj/kg.(17)

Valor calórico superior: 20 298 kj/kg.

Nombre científico: *Pouteria* sp
Nombre común: **níspero**

En este género hay varias especies de árboles grandes, pocas veces utilizados como madera. Son muy similares y generalmente se conocen como sapotes, sapotillos o nísperos. Se encuentran en zonas bajas del bosque húmedo y muy húmedo tropical. De estas maderas quedan muchas en los bosques.

Valor calórico superior:

19 674 kj/kg (albura)

20 804 kj/kg (duramen)

Nombre científico: *Porouma aspera* Trécul
Nombre común: **lija**

Arbol mediano que se extiende desde Nicaragua hasta América del Sur, en zonas bajas con climas húmedos. Muy conocido en el campo por el uso de sus hojas secas en la limpieza de utensilios de cocina y su leña como combustible. Aparte de este uso no se le conocen más, por lo que algo queda.

Valor calórico superior: 19 611 kj/kg.

Nombre científico: *Protium* sp
Nombre común: **copales**

Este género reúne varias especies, algunas con árboles grandes que dan maderas con diversa utilidad, pero todas excelentes por su leña en combustión. Esta característica es tan marcada que algunas son conocidas con el nombre común de **canfín**.

Valor calórico superior:

20 361 kj/kg (albura)

21 838 kj/kg (duramen)

Nombre científico: *Podocarpus milankianus*
Rendle
Nombre común: **ciprecillo**

Se incluye esta especie porque el género *Podocarpus* esta presente en las montañas altas de Costa Rica. Es la única conífera nativa. Han dado excelente madera y carbón, pero es poco lo que hay de esta especie, a lo más en reservas forestales.

Valor calórico superior: 22 723 kj/kg.

Nombre científico: *Populus* sp
Nombre común: **álamo**

Se incluye este género por su importancia. En Costa Rica se ha plantado la especie *Populus alba* L principalmente en el Valle Central.

Valor calórico superior: 20 096 kj/kg.

Nombre científico: *Psidium guajaba* L
Nombre común: **guayaba**

Arbol pequeño cuyo fruto es materia prima para jaleas y mermeladas. En este uso se ha industrializado ampliamente. Su crecimiento es espontáneo en suelos degradados. La leña ha sido de utilidad como combustible en zonas rurales. Esta especie es abundante en terrenos abandonados.

Valor calórico superior: 18 556 kj/kg.

Nombre científico: *Pterocarpus officianlis* Jack
Nombre común: **sangrillo**

Arbol mediano o grande, se extiende desde

México y Las Antillas hasta el norte de Sur América, en zonas bajas anegadas periódicamente por agua dulce. La madera ha sido usada en construcción interior y paletas. Aún quedan en los bosques.

Valor calórico superior: 19 500 kj/kg.

Nombre científico: *Quercus* sp

Nombre común: **robles**

Se incluye el género *Quercus* que reúne varias especies de importancia como madera y en la producción de carbón vegetal, aunque los *Quercus* en Costa Rica ya son pocos.

Valor calórico superior:

19 901 kj/kg (*duramen*)

19 590 kj/kg (*albura*)

Nombre científico: *Rhizophora mangle* L

Nombre común: **mangle colorado**

Arbol grande de raíces fúlcreas, se desarrolla en bahías y esteros donde llega la marea de agua salada. La especie es pantropical y pionera en la comunidad del manglar.

Esta especie ha sido ampliamente explotada por sus taninos en la corteza, como madera en construcción rural y como carbón de buena calidad. Hoy se restringe su uso.

Valor calórico superior: 18 962 kj/kg.

Nombre científico: *Sacoglottis* sp

Nombre común: **chiricano**

Arbol grande que habita en zonas bajas del bosque húmedo tropical. Es importante por su madera de buena calidad. Aún queda en algunas cantidades.

Valor calórico superior: 20 993 kj/kg.

Nombre científico: *Sapium* sp

Nombre común: **yos**

Arbol mediano que habita las zonas bajas y medianas en climas de secos a pluviales. Es un género pantropical. La madera es blanca y liviana, pero ha sido utilizada en la fabricación de cajas.

Es poca la existencia.

Valor calórico superior: 19 570 kj/kg.

Nombre científico: *Simarouba amara* Aubl

Nombre común: **aceituno**

Arbol mediano que se extiende desde Belice hasta Sur América en zonas bajas con climas de muy húmedos a pluviales. La madera es blanca y excelente para producir fósforos de acuerdo con una investigación reciente. Es de muy buena trabajabilidad y mantiene el color blanco y la estabilidad dimensional por lo que se exportó a Estados Unidos como sustitutivo del pino blanco para la fabricación de moldes. Queda muy poco de esta especie aunque es del bosque secundario.

Valor calórico superior: 20 344 kj/kg.

Nombre científico: *Sterculia urens* Roxb

Nombre común: **sterculia**

Arbol mediano o grande, nativo de la India que se presenta en zonas bajas, con climas húmedos y secos. Esta especie ha sido introducida y plantada en San Isidro del General, Costa Rica, pero en poca cantidad. Podría intensificarse su propagación.

Valor calórico superior: 21 460 kj/kg.

Nombre científico: *Sterculia apetala* (Jack) Karst

Nombre común: **panamá**

Es un árbol grande nativo de Las Antillas, Sur de México y Norte de Sur América. Habita en zonas bajas con climas secos y húmedos. En Costa Rica, la madera sólo se ha usado como formaletas. Pueden verse ejemplares de esta especie en el Parque Vargas, Provincia de Limón, Costa Rica. De esta especie sí hay mayor cantidad.

Valor calórico: similar al *Sterculia urens* Roxb

Nombre científico: *Swietenia macrophylla*

G. King

Nombre común: **caoba**

Arbol grande nativo desde México a Sur América en zonas bajas con climas de seco a húmedos.

En Costa Rica se encuentra en la Provincia de Guanacaste, pero ha sido plantado en otros lugares con poco éxito. Madera excelente, hoy agotada.

Valor calórico superior: 19 779 kj/kg.

Nombre científico: *Symphonia globulifera* L

Nombre común: **cerillo**

Arbol grande con raíces fúlcreas. Se extiende desde México, hasta Las Antillas y Sur América; también se desarrolla en Africa Occidental, en zonas bajas y medianas con clima de muy húmedos a pluviales. La madera es excelente para trabajo de construcción. Árboles grandes de esta especie pueden verse en la Provincia de Limón por los Canales del Tortuguero donde son visibles las raíces fúlcreas. Hay algunas reservas.

Valor calórico superior: 19 799 kj/kg.

Nombre científico: *Symplocos* sp

Nombre común: **corral**

Unico género en la familia *Symplocaceae* con arbustos y árboles medianos de importancia local como leña en elevaciones de 1 500 a 3 000 msnm, en bosques pluviales. Queda poca cantidad por su utilización como leña.

Valor calórico superior para las especies

S. fasciculata Roxb 19 984 kj/kg

S. Sheaeformis Boch Han 20 436 kj/kg.

Nombre científico: *Tabebuia serratifolia* (Vahl)

Nichols

Nombre común: **guayacán**

Se incluye esta especie y su valor por lo característico de su género que representa a especies como *Tabebuia palmeri* Rose que se encuentra en la Provincia de Guanacaste, Costa Rica y llega hasta México en zonas bajas con climas secos o húmedos pero con verano largo.

Valor calórico superior: 20 135 kj/kg.

Nombre científico: *Tabebuia guayacan* (Seeman)

Hensley

Nombre común: **guayacán**

Arbol grande que viene de México hasta el norte de Sur América, se encuentra en zonas bajas con climas húmedos y muy húmedos.

Nombre científico: *Tabebuia chrysantha* (Jacq)

Nichol

Nombre común: **corteza**

Esta especie es de madera excesivamente pesada y resistente, al igual que las anteriores especies del género *Tabebuia*.

De esta madera queda poco, se ha usado en construcción pesada, como carrocerías de camiones, muelles portuarios y quillas para barcos.

Nombre científico: *Tamarindus indica* L

Nombre común: **tamarindo**

Arbol mediano o grande, originario de Asia Tropical, pero distribuido en los trópicos en zonas bajas con climas de seco a húmedo. Este es el tamarindo cuya pulpa pastosa envuelta en semillas, está a la venta en los mercados para hacer frescos. La madera es buena como combustible.

Valor calórico superior:

20 003 kj/kg

20 112 kj/kg

Nombre científico: *Talisia squamosa* Tidl

Se incluye esta especie por su valor y relación con las siguientes especies de *Talisia* que se encuentran en Costa Rica.

Valor calórico superior: 23 723 kj/kg

Nombre científico: *Talisia oliviformis* Radlk

Nombre común: **dantisca**

Arbol cuyo tamaño va de pequeño a mediano. Se extiende de México a Venezuela. En Costa Rica se encuentra en el noroeste, a unos 600 msnm. Hay poco de esta especie.

Nombre científico: *Talisia nervosa* Radlk

Nombre común: **huesillo**

Arbol pequeño que se encuentra en el suroeste de Costa Rica, en zonas bajas con climas muy húmedos. Su madera es fuerte, pero no ha sido utilizada. Hay poco de esta especie.

Nombre científico: *Tectona grandis* L.f.
Nombre común: **teca**

Arbol grande originario del Sur de Asia, India y Malaya. Es de zonas bajas y climas húmedos pero con veranos largos. Fue introducido y plantado en Costa Rica hace 40 años, produce una de las maderas más valiosas por su durabilidad natural y resistencia al ataque marino.

Valor calórico superior:

20 398 kj/kg

22 892 kj/kg

20 545 kj/kg

El valor calórico más alto corresponde al duramen y los dos más bajos a secciones de albura.

Nombre científico: *Tetragastris panamensis* O. Kuntze
Nombre común: **canfín**

Arbol mediano, nativo de Centro América, se extiende hasta Perú y Brasil, en zonas bajas con climas húmedos y muy húmedos. El nombre vulgar obedece a que la leña arde fácilmente en condición verde.

Valor calórico superior: 19 339 kj/kg

Nombre científico: *Toona ciliata* M. Roem
Nombre común: **cedro australiano**

Arbol grande, nativo del sur de Asia y Australia. Se distribuye en zonas bajas a medianas, con condiciones climáticas de húmedas a muy húmedas. Esta especie ha sido plantada en Costa Rica, donde se observa un rápido crecimiento. Pese a que la madera aún es joven, presenta buenas características como aquellas para cedrela. La leña obtenida en raleos de plantaciones, ha tenido muy buena aceptación como combustible. Los resultados indican valores muy parecidos para albura y duramen. Esta especie sólo existe en plantaciones experimentales y uno que otro árbol aislado.

Valor calórico superior:

21 186 kj/kg

21 216 kj/kg

Nombre científico: *Vatairea guianensis* Aubl
Nombre común: **amargo amargo**

Arbol grande que se extiende del sur de Costa Rica a Sur América, en zonas bajas del bosque húmedo y muy húmedo tropical. La madera fuerte es utilizable en la construcción de viviendas, pero hay que tener cuidado con la albura que es susceptible al ataque de insectos.

Valor calórico superior: 19 318 kj/kg

Nombre científico: *Vatairea lundellii* (Standl) Killip
Nombre común: **cocobolo de San Carlos**

Esta especie es similar a la anterior y se distribuye del norte y noroeste de Costa Rica hasta México. Se encuentra en zonas similares y hasta más secas o con veranos fuertes. Prácticamente es mucho lo que existe de esta especie sobre todo al norte de San Carlos.

Valor calórico superior: 19 318 kj/kg

LITERATURA CONSULTADA

1. Faires, Virgil M. **Termodinámica**. 4 ed. México: UTHERA, 1965.
2. Forest Products Laboratory. **Estimating effective heating value of wood or bark fuels at various moisture contents**. USDA Technical Report FPL 13, 1977.
3. Harker, A.P.; Sandels, A. y Burley, J. **Calorific values for wood and bark, and a bibliography for fuelwood. Report of the Tropical Products Institute**. Londres, 1982. 20 p.
4. Marks, Leonel. **Standard handbook for mechanical engineers**. 7 ed. New York: Mc Graw. Hill, 1967.