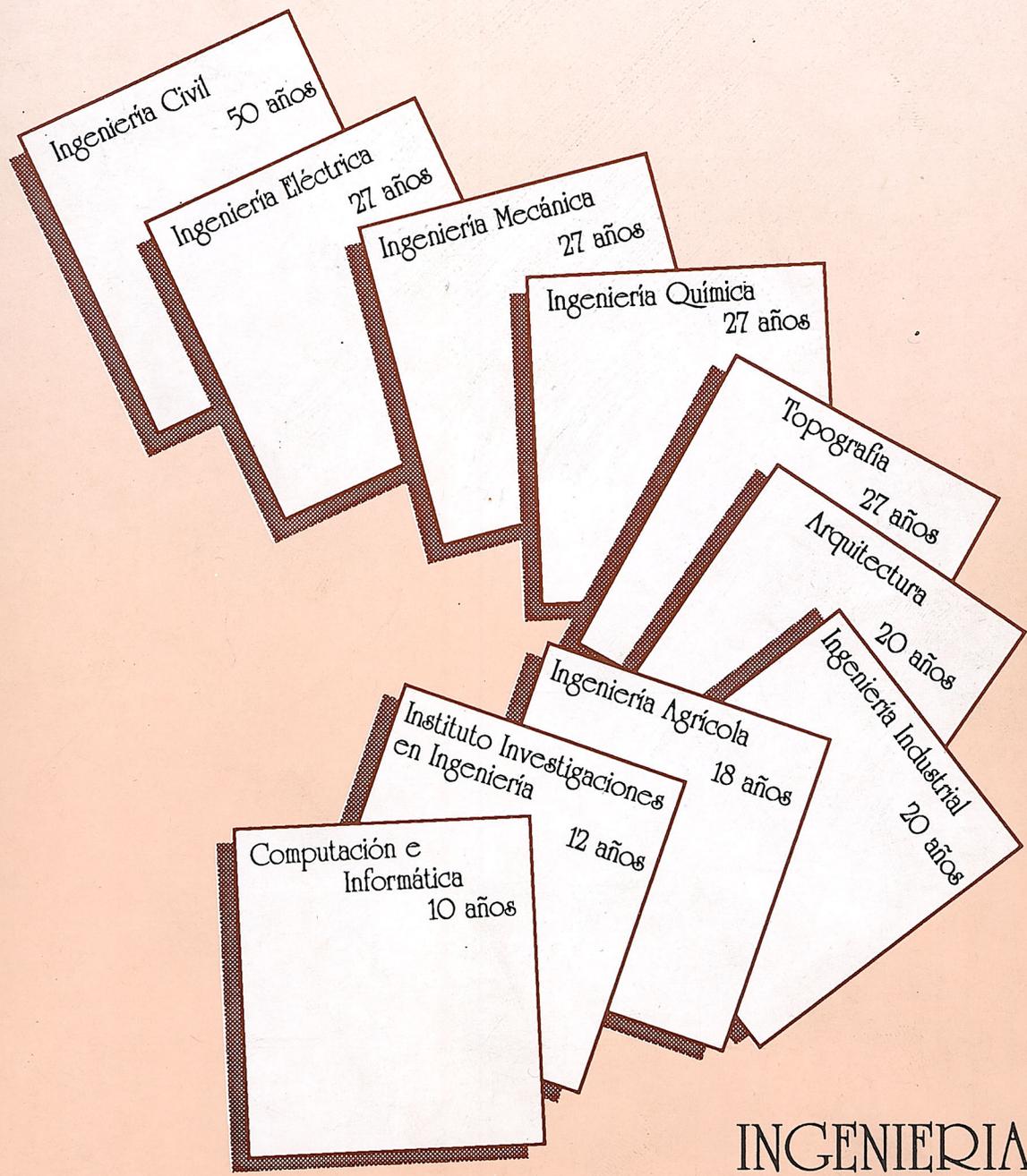


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
JULIO/DICIEMBRE 1991 VOLUMEN 1 Nº2



INGENIERIA
1991

ANALISIS EXPERIMENTAL DEL SECADO DE LA MADERA

Ing. Jaime Sotela Montero *

Resumen

Con base en pruebas de laboratorio, se realiza una comparación entre ensayos cuantitativos de "Contracción y Densidad" y ensayos cualitativos de "Secado al Aire", llevados a cabo en ocho especies forestales del bosque natural de Costa Rica.

Summary

A experimental comparison is made among "Shrinkage and Density" quantitative test and "Air Drying" qualitative test, developed in eight natural forest species of Costa Rica.

GENERALIDADES

La madera es un producto de la naturaleza que ha sido utilizado por el hombre desde tiempos lejanos. Esta característica natural del material implica como en la mayoría de los seres vivos, una serie de propiedades disímiles entre las especies del bosque y aún dentro de las mismas especies dependiendo de la zona de vida en que se desarrollan.

La "Variabilidad" de las propiedades generales de la madera se explica en esos términos y solo puede ser evaluada experimentalmente utilizando para ello criterios estadísticos de análisis.

Los países tropicales son los más afectados por esta situación, presentándose casos como el de Costa Rica, en el que la variedad de la flora arborecente alcanza las dos mil especies aproximadamente, contrastando con países del norte del Continente Americano como Canadá y Estados Unidos donde ese número no supera los doscientos.

El problema de la variabilidad puede ser controlado con el uso de los bosques de plantación, en donde el proceso de siembra y tala se encuentra racionalizado, dependiendo del esquema de producción aplicado.

Anisotropía de la Madera

La madera es un material anisotrópico, presentando características diferentes de comportamiento (especialmente estructural) dependiendo de la "dirección" en que se midan.

Para efectos de estudio y evaluación, se han observado tres ejes que definen tres direcciones de las cuales dependen las propiedades: eje longitudinal, eje tangencial, eje radial. El eje longitudinal se establece en la misma dirección de creci-

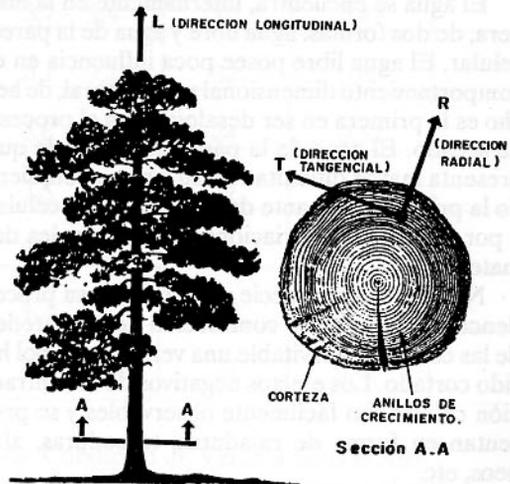


Figura No. 1. Anillos de crecimiento.

* Director, Laboratorio de Productos Forestales Instituto de Investigaciones en ingeniería, Universidad de Costa Rica.

miento del árbol, mientras que los ejes tangencial y radial se definen en las direcciones acotadas, con respecto a los anillos de crecimiento (*Figura No. 1.*)

Los anillos de crecimiento se presentan como formas circulares que se desarrollan conforme el árbol madura (*Figura No.1.*) Existe un anillo de crecimiento por cada año de vida del árbol para aquellos que crecen en climas donde las cuatro estaciones del año están perfectamente marcadas. En los países tropicales aparecen usualmente en las épocas de transición de períodos lluviosos a secos, lo que puede suceder más de una vez al año.

Densidad de la Madera

La densidad de las fibras que integran la madera es mayor que la densidad del agua (aproximadamente un 50%), sin embargo en su forma constitutiva, incluyendo los espacios vacíos, la densidad de la mayoría de las maderas es menor que la del agua.

Como parámetros genéricos para estimar la densidad, se utilizan: la densidad verde (peso y volumen verde), la densidad seca (peso y volumen secos al horno) y el peso específico básico "PEB" (peso seco al horno y volumen verde), siendo este último el de mayor aceptación mundial.

El Agua en la Madera

Uno de los efectos más importantes y necesario de evaluar, es la influencia del agua en la estructura y comportamiento de la madera.

El agua se encuentra, internamente en la madera, de dos formas: agua libre y agua de la pared celular. El agua libre posee poca influencia en el comportamiento dimensional y estructural, de hecho es la primera en ser desalojada en el proceso de secado. El agua de la pared celular es la que presenta mayor dificultad en su evacuación, siendo la principal causante de la contracción celular y por ende de las variaciones dimensionales del material.

No importa la especie maderable o su procedencia, el proceso de contracción de las paredes de las células es inevitable una vez que el árbol ha sido cortado. Los efectos negativos de la contracción celular son fácilmente observables y se presentan en forma de rajaduras, torceduras, alabeos, etc.

Contracción de la Madera

Según se mencionó, el proceso de contracción se inicia cuando el agua de la pared celular comienza a ser desalojada de la estructura interna.

Esta salida del agua tiene lugar precisamente por el equilibrio que debe producirse entre las condiciones externas del medio ambiente (temperatura y humedad) y las condiciones internas del material.

El "Contenido de Humedad" en la madera se define como la relación porcentual entre el peso del contenido de agua y el peso del material seco (libre de agua). El contenido de humedad al cual se supone no existe agua libre y las células se encuentran saturadas de agua, se le conoce como "Punto de Saturación de Fibras (PSF)". El "Contenido de Humedad de Equilibrio" se define como aquel que alcanza la madera al equilibrarse con la humedad ambiente externa al finalizar un proceso de secado al aire.

El contenido de humedad inicial de cualquier especie forestal es usualmente mayor al 80%, llegando incluso a alcanzar cifras superiores al 150%. El PSF oscila mayormente entre un 25% y un 30% y puede ser determinado a través de procesos experimentales de laboratorio. El contenido de humedad de equilibrio depende de las condiciones externas o medio ambiente, siendo lo normal para la zona del Valle Central de Costa Rica, 18% aproximadamente.

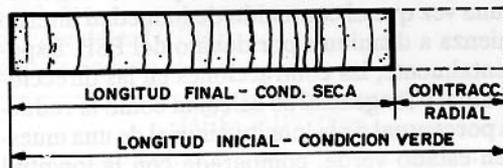
La madera se considera en estado verde cuando su contenido de humedad es superior al PSF, en estado seco cuando ese contenido es igual o menor al de equilibrio, y en estado seco al horno cuando el contenido de humedad es 0%. En experimentación de laboratorio, el estado seco al horno se obtiene introduciendo los especímenes de análisis en un horno a 103° C por el período de tiempo necesario hasta tanto el peso de la muestra se estabilice. Se supone que bajo estas condiciones, toda el agua interna del material se evapora.

El proceso de contracción se inicia una vez que el material alcanza el PSF. Las contracciones por efecto de la salida del "agua libre" son mínimas y poco significativas en términos generales.

Por otra parte, la contracción en la dirección longitudinal es despreciable, no así en las direcciones tangencial y radial, siendo la contracción en la dirección tangencial mayor que en la dirección radial (el doble aproximadamente). La diferencia de la contracción producida en las direcciones tangencial y radial es precisamente la que



Muestra en la dirección radial



Muestra en la dirección tangencial

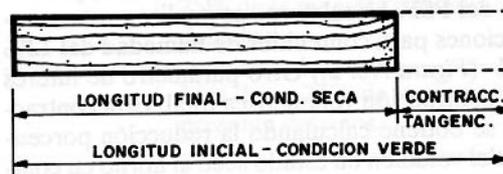


Figura No. 2. Contracción de la madera.

CUADRO No. 1.
Laboratorio de Productos Forestales (UCR)
Resultados de Ensayos de Contracción
Ocho Especies Forestales de Costa Rica

NOMBRE COMUN NOM. CIENTIFICO	CV (%)	CR (%)		CT (%)		PSF (%)	PEB g/cm ³
		v-sa	v-sh	v-sa	v-sh		
Cedro Macho <i>Carapa sp.</i>	14,6	2,8	5,6	6,0	8,7	34	0,55
Ciprés <i>Cupressus lusitanicus</i>	8,0	1,9	3,4	3,7	5,4	36	0,43
Pilón <i>Hieronyma alchorneoides</i>	13,6	3,4	5,7	6,1	9,2	32	0,60
Caobilla <i>Guarea trichilioides</i>	11,2	1,6	3,4	3,6	7,0	24	0,52
Cativo <i>Prioria copaifera</i>	9,1	1,2	2,4	3,8	6,0	27	0,41
Surá <i>Terminalia lucida</i>	9,0	2,0	3,8	3,3	6,8	24	0,68
Laurel <i>Cordia alliodora</i>	8,6	1,5	3,4	4,2	6,8	20	0,46
Nazareno <i>Peltogyne mexicana</i>	9,1	1,5	3,9	2,9	6,7	21	0,83

Nomenclatura:

CV: Contracción Volumétrica de Condición

Verde a Condición Seco al Horno

CR: Contracción en la Dirección Radial

CT: Contracción en la Dirección Tangencial

v-sa: Condición de Verde a Seco al Aire

v-sh: Condición de Verde a Seco al Horno

PSF: Punto de Saturación de Fibras

PEB: Peso Específico Básico

provoca las deformaciones en el proceso de secado, una vez que el contenido de humedad interno comienza a disminuir por debajo del PSF. Experimentalmente, las contracciones en las direcciones radial y tangencial se calculan como la reducción porcentual de la longitud inicial de una muestra en estado verde, comparada con la longitud final de la misma muestra, una vez que alcanza un contenido de humedad predeterminado, por debajo del PSF. Usualmente se analizan estas contracciones para contenidos de humedad del 12% y 0% (Figura No. 2.) Otro parámetro de interés es la contracción volumétrica total. Esta contracción se obtiene calculando la reducción porcentual del volumen en estado seco al horno en comparación con el estado verde.

El (Cuadro No.1.) resume los resultados experimentales de estudios de laboratorio llevados a cabo en algunas especies forestales de Costa Rica. La condición en este caso definida como "seca al aire", se obtiene mediante un proceso controlado de acondicionamiento de las muestras de análisis (secado a una temperatura de 17 C y humedad relativa 60%), lográndose con ello obtener una humedad final de 12% aproximadamente.

Secado

El efecto negativo que provocan las contracciones en la madera puede ser controlado si se posee un conocimiento certero del problema, y se aplica una técnica apropiada derivada de ese conocimiento.

Todas las especies poseen diferencias en cuanto a la magnitud de la contracción de la pared celular. Los parámetros a implementar en una técnica de secado varían dependiendo de estas diferencias. El objetivo final será, evidentemente, minimizar el efecto negativo de la contracción celular en el menor tiempo posible.

Bajo condiciones ambientales idénticas, la velocidad de secado de una madera difiere considerablemente de una especie a otra. El Cuadro No.2 muestra la clasificación utilizada en el Laboratorio de Productos Forestales para evaluar las

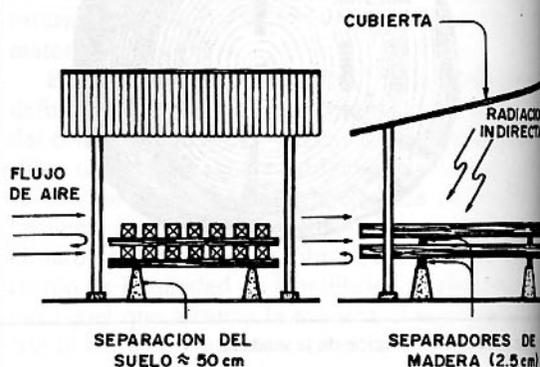


Figura No. 3. Secado

maderas de acuerdo a esta característica. Debe denotarse que los datos proporcionados corresponden a una experimentación controlada, llevada a cabo en las condiciones ambientales normales donde el laboratorio se ubica (las condiciones de temperatura y humedad varían día a día), en la que se utilizan muestras de ensayo con una sección transversal de 5x5 cm, una longitud de 80cm y una técnica de secado al aire de acuerdo al esquema de la Figura No. 3.

Si las condiciones dimensionales de los especímenes varían, así como la técnica implementada, la velocidad de secado no podrá ser comparable utilizando la clasificación del Cuadro No.2.

Al finalizar el período de prueba, es decir cuando las muestras alcanzan un peso constante en el tiempo (implica el equilibrio entre el contenido

CUADRO No. 2
Laboratorio de Productos Forestales (UCR)
Clasificación Experimental de la Velocidad de Secado al Aire
Piezas de 5x5x80 cm

VELOCIDAD	TIEMPO
Rápida	menos de 120 días
Moderada	de 120 a 200 días
Lenta	más de 200 días

CUADRO No. 3
Laboratorio de Productos Forestales (UCR)
Tipificación Final del Ensayo de Secado al Aire

TIPO DE SECADO	DESCRIPCION
Fácil	No hay defectos de secado
Moderadamente Difícil	25% de la muestra presenta defectos.
Difícil	Más de un 25% de la muestra presenta defectos.

de humedad interno en la madera y las condiciones ambientales externas), se realiza una valoración cualitativa de los defectos observados tales como rajaduras, torceduras o alabeos, reportándose el resultado final del proceso en la forma descrita en el Cuadro No. 3.

De acuerdo a la metodología de clasificación de los cuadros anteriores, el Cuadro No. 4. resume los resultados del ensayo de Secado al Aire, llevado a cabo sobre algunas especies de Costa Rica de uso comercial.

Si se comparan los resultados cualitativos del Cuadro No. 4 (Ensayo de Secado al Aire) con los resultados cuantitativos del Cuadro No. 1. (Ensayo de Contracción) se observarían casos concretos como:

a) La especie del Ciprés muestra que a pesar de ser una madera de densidad y contracciones bajas (compárese con la madera de laurel), posee una inestabilidad dimensional importante observada en el ensayo de secado al aire.

CUADRO No. 4
Laboratorio de Productos Forestales (UCR)
Ensayo de Secado al Aire
Ocho Especies Forestales de Costa Rica

NOMBRE COMUN	NOM.CIENTIFICO	VELOCIDAD	TIPO
Cedro Macho	<i>Carapa sp.</i>	Moderada	Difícil
Ciprés	<i>Cupressus lusitanicus</i>	Moderada	Difícil
Pilón	<i>Hieronymia alchorneoides</i>	Moderada	Difícil
Caobilla	<i>Guarea trichilioides</i>	Moderada	Fácil
Cativo	<i>Prioria copaifera</i>	Rápida	Mod. Difícil
Surá	<i>Terminalia lucida</i>	Moderada	Fácil
Laurel	<i>Cordia alliodora</i>	Rápida	Fácil
Nazareno	<i>Peltogyne mexicana</i>	Lenta	Mod. Difícil

b) La madera de Nazareno posee un PSF bajo, prácticamente igual al de la madera de Laurel, contracciones moderadas, densidad alta pero con una estabilidad dimensional superior a la madera de ciprés, aún cuando la velocidad de secado es lenta.

c) Las maderas de Laurel, Caobilla y Surá poseen un PSF bajo (menor de 25%) si se compara con el de las restantes maderas del grupo del Cuadro No. 1. El resultado del Ensayo de Secado al Aire demuestra un comportamiento satisfactorio al someterse al proceso mencionado, aún cuando los niveles de contracción varían de una especie a otra.

d) Las maderas de Pilón y Cedro Macho poseen condiciones físicas muy similares (PSF y contracciones elevadas). En el Ensayo de Secado al Aire su comportamiento es inferior al de las maderas mencionadas en el punto "c".

En resumen, de acuerdo a las observaciones realizadas en el Laboratorio de Productos Forestales para este tipo de ensayos con estas y otras especies de Costa Rica, las siguientes acotaciones generales pueden ser aplicadas a la mayoría de las especies forestales:

a) Las maderas con un PSF alto (30%) son las más susceptibles al proceso de secado, máxime si la contracción volumétrica es elevada (superior al 10%). Esto sucede debido a que el "Contenido de Humedad de Equilibrio" se encuentra más alejado del PSF. Las maderas con un PSF elevado inician el proceso de contracción de la pared celular antes que aquellas que poseen un PSF bajo. Conforme el PSF disminuye, los efectos negativos del proceso de secado disminuyen.

b) La velocidad de secado se relaciona directamente con la densidad de la madera, de tal forma que a mayor densidad, mayor es el tiempo requerido para evacuar el agua contenida en el interior del material (ie, Nazareno).

Técnica de Secado

La técnica de secado depende de las características físicas de la especie forestal a emplear. Como se demostró, las especies forestales pueden diferir en cuanto al tiempo necesario para evacuar

el agua (velocidad) y los defectos presentados producto de esa evacuación.

La caracterización física en términos de la determinación de la contracción, la densidad y otros parámetros, son indispensables para controlar técnicamente un proceso de secado acelerado (secadores artificiales).

No importa la complejidad o simplicidad de la técnica aplicada, los principios básicos para implementar un buen sistema se mantienen: buena circulación de aire, control de la temperatura, eficiencia en la forma de apilamiento.

Una técnica sencilla, eficiente, artesanal, puede observarse en el esquema de la *Figura No. 3*. Una técnica, también artesanal, pero con una mala concepción de los factores anteriores, se observa en la *Figura No. 4*. En este sentido, el esquema tradicional de la "técnica" empleada en Costa Rica para el secado de la madera *Figura No. 4*, es el de mayor ineficiencia en términos generales.

CONCLUSIONES

El conocimiento certero, científico y técnico de las condiciones y efectos del secado en la madera, son indispensables para la escogencia e implementación de la técnica a utilizar.

Los efectos negativos producto de la salida del agua en la madera son muchos y variados, por

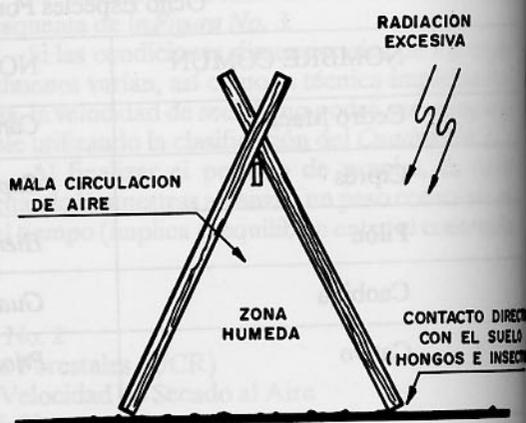


FIGURA No. 4. Técnicas de secado.

ende el uso eficiente de los datos de laboratorio van en beneficio del usuario y productor de los derivados del bosque.

Los ensayos efectuados en el Laboratorio de Productos Forestales demuestran la relación existente entre propiedades físicas, medidas cuantitativamente (contracción, densidad), y los resultados cualitativos observados en experiencias de secado al aire. La diferencia se enmarca en la mayor facilidad y exactitud que representa el análisis físico de muestras pequeñas de laboratorio en vez de experimentaciones largas y cuidadosas como la del Ensayo de Secado al Aire.

Los beneficios del "Secado" son muchos y variados, pero en general se enmarcan dentro del mejoramiento de las características de resistencia, durabilidad y estabilidad dimensional.

La madera seca es indispensable para la implantación de industrias importantes como la mueblería y la construcción. Los procedimientos de secado han sido estudiados a escala mundial y existe un conocimiento extenso del problema. Sin embargo, de acuerdo a las características del entorno (medio ambiente), las especies forestales deben ser estudiadas en el marco del habitat de desarrollo, pues este conocimiento no puede ser "importado".

El uso de especies forestales del bosque natural, especialmente en los casos como el de Costa Rica, no puede ser recomendado desde ningún punto de vista. Técnicamente, la variabilidad en el

desarrollo y comportamiento físico-mecánico hacen imposible el conocimiento "certero" de todas y cada una de esas características y redundan en un esfuerzo científico costoso e ineficiente. Moralmente, las condiciones actuales del país demuestran sin lugar a dudas el efecto real de la explotación irracional.

El uso eficiente de los bosques significa establecer el equilibrio entre este uso y la conservación. No es posible considerar al bosque como el suplidor perenne de materia prima ni tampoco como el elemento de conservación puro. El equilibrio general solo puede ser obtenido mediante el uso racional del recurso escaso. La utilización del "Bosque de Plantación" aparece en estas épocas, como la solución apropiada en la búsqueda de ese equilibrio.

BIBLIOGRAFIA

1. González, M. y González G. "Propiedades Físicas, Mecánicas, usos y otras Características de algunas maderas Comercialmente Importantes de Costa Rica". Laboratorio de Productos Forestales. Universidad de Costa Rica. 1973.
2. Hoyle, R. "Wood Technology in the Design of Structures". Mountain Press Publishing Company. 3rd Edition. USA. 1973.
3. Meyer, R and Kellog, R. "Structural uses of Wood in Adverse Environments". Society of Wood Science and Technology. Van Nostrand Reinhold Company. England. 1982.