

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA

Facultad de Ciencias Forestales

Instituto de Investigación Forestal y de Fauna

ARTICULO CIENTIFICO

*“Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de
“cumala” (Virola sp.) en las empresas asociadas a AIMAL, para formular
propuestas de mejoramiento”*

Investigador Responsable:
Jorge M. Espíritu Pezantes M.Sc.

Iquitos - Perú

2008

TITULO

“Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de “cumala” (*Virola sp.*) en las empresas asociadas a AIMAL, para formular propuestas de mejoramiento”

Jorge M. Espíritu P., Ronald M. Panduro T., Heiter Valderrama F., Segundo Córdova H., Carlos L. Vásquez F., Bernardo M. Meder L., José A. Escobar D., Wilfredo Mori I.

Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Iquitos-Perú.

RESUMEN

El estudio está orientado a evaluar el comportamiento de la madera aserrada de cumala (*Virola sp.*) de diferentes espesores (4/4”, 6/4” y 8/4”) en el secado artificial en cámaras de secado con diferentes tipos de ventilación (lateral, frontal y superior), en las empresas forestales que conforman la Asociación de Industriales Madereros y Afines de Loreto (AIMAL). La evaluación permitió revisar los programas de secado originales y reformularlos a fin de optimizar el proceso de secado. La aplicación de los programas mejorados permitió en la mayoría de los casos reducir el tiempo de secado, ahorrando mano de obra e insumos; asimismo se incrementaron los rendimientos en la producción de madera seca de primera calidad (de exportación), lo que a su vez incrementa la rentabilidad de la empresa.

ABSTRACT

This work deals with the behavior evaluation of 4/4”-, 6/4”- and 8/4”-thick sawn wood of “banack” (*Virola sp.*) when dried in kiln dryers with different types of ventilators (side, frontal and top), in the forest companies members of the Loreto Lumber Industrials and Similar Association (AIMAL). The evaluations allowed revision of the original drying programs and then reformulate them in order to optimize the drying process. After application of the improved programs was possible to cut the drying time and increase the yield of first quality (export grade) sawn wood in most of the drying processes, which in turn increase productivity and profits in the companies.

INTRODUCCION

En la actualidad la industria del aserrío regional comercializa la madera aserrada en el mercado nacional y de exportación (Mateluna, 2006); siendo éste último cada vez más exigente en la calidad del producto. Esto implica que el comportamiento de la madera secada en base a programas de secado artificial deben estar acordes con las características de las cámaras de secado, especie y espesor de la madera, con el fin de disminuir el tiempo de secado, minimizar el porcentaje de defectos y obtener un

bajo contenido de humedad final (Álvarez y Fernández, 1984). De esta manera se estaría logrando un incremento en el volumen de exportación de madera seca de buena calidad.

Estos comportamientos de secado necesitan ser permanentemente evaluados a fin de plantear propuestas de mejoramiento de la calidad del secado en las empresas. Esta evaluación se lleva a cabo mediante programas de secado de acuerdo a las especies y espesores de la madera, con el que se puede identificar las diferentes etapas del proceso de secado y poder determinar los tiempos adecuados para cada etapa, teniendo en cuenta la calidad del producto final que se desea obtener, para una mejor rentabilidad de la empresa y una mayor satisfacción del cliente (Arango, 19889).

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del aserradero de tres empresas forestales asociadas a AIMAL, ubicadas en la provincia de Maynas, región Loreto. Se evaluaron el comportamiento al secado y el rendimiento en madera aserrada de primera calidad (de exportación) de cumala de 4/4", 6/4" y 8/4" de espesor secados con los programas de secado originales utilizando cámaras de secado con tres tipos de ventilación: lateral, frontal y superior. Se identificaron los factores que influyen en el comportamiento y en el rendimiento y a partir de ello se reformularon los programas acortando los tiempos en cada etapa del secado y variando la temperatura en los inicios del proceso. Luego de aplicarlos se evaluaron el comportamiento y el rendimiento en madera a fin de compararlos con los obtenidos con los programas originales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Programa mejorado de secado con ventilación lateral para la madera aserrada de cumala de 4/4" de espesor

En el cuadro 01 se muestra el programa de secado mejorado con ventilación lateral para cumala de 4/4" de espesor que utiliza la empresa Tropical Lumber S.A.C, el mismo que reduce el tiempo de secado de 108 horas programa de la empresa a 96 horas programa propuesto (de 4,5 días a 4 días). Para lograr esto el programa se inicia tomando como parámetro el contenido de humedad (CH) de las muestras de control hasta obtener la humedad deseada en cada etapa, observándose que conforme incrementa la temperatura, aumenta la diferencia psicrométrica y disminuye la humedad relativa (HR) dentro de la cámara de secado, lo cual incrementa la energía cinética de las moléculas de agua al interior de la madera y facilita paulatinamente la eliminación de la humedad de la madera sin forzar en ningún momento su constitución anatómica evitando contracciones violentas que acarearían defectos de secado.

Cuadro 01.- Programa mejorado de secado con ventilación lateral para la madera aserrada de cumala de 4/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	6	35	35	65	Calentamiento		
5	18	55	53	60	90	18	3.75
6	18	60	55	55	77	12.5	4.3
7	12	64	56	35	66	10	4.5
8	12	65	55	26	60	8.5	4.1
9	12	70	55	15	47	6.4	2.3
10	12	75	55	8	38	5	1.6
	6	45	35		Enfriamiento		
	96						

Fuente: El equipo investigador del proyecto.

Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera aserrada de cumala de 4/4” de espesor con el programa mejorado.

En el cuadro 02 se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación lateral de la madera de cumala de 4/4” de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 96,11% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 3,88%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 3,44% hasta 99,46%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,44%. Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,08% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (12 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 02.- Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera aserrada de cumala de 4/4” de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	RT		IR		D		pt	%
			pt	%	pt	%	pt	%		
1	13 142	96.17	523	3.83	467	3.41	56	0.41	13 665	100
2	13 397	96.35	507	3.65	453	3.26	54	0.39	13 904	100
3	13 501	95.82	588	4.17	513	3.64	75	0.53	14 089	100
Promedio	13 347	96.11	539	3.88	478	3.44	62	0.44	13 886	100

pt = Pies tablares

RT = Recuperación total

IR = Incremento de recuperación

D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 4/4" de espesor

En el cuadro 03, se presenta el programa de secado con ventilación frontal mejorado que reduce el tiempo de secado de 261 horas a 216 horas (de 10,8 días a 9 días), el mismo que se encuentra dividido en nueve etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido, es decir que conforme se va incrementando la temperatura, también aumenta la diferencia psicrométrica y esta hace que la humedad descienda en forma lenta hasta obtener el contenido de humedad final requerido de 8% en un tiempo de 216 horas (9 días), aplicando una temperatura final de 65°C.

Cuadro 03.- Programa mejorado de secado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 4/4" de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	6	35	35	119	Calentamiento		
2	24	50	50	119	100	25	4.8
3	24	50	49	105	95	21.2	5.0
4	36	50	48	89	89	18.2	4.9
5	32	52	50	86	89	18.2	4.7
6	24	52	49	58	84	16.0	3.6
7	24	55	48	47	68	10.7	4.4
8	18	60	48	28	52	7.6	3.7
9	12	65	49	14	43	6.1	2.3
10	8	65	42	8	29	4.2	1.4
	8	45	35		Enfriamiento		
	216						

Fuente: El equipo investigador del proyecto.

Comportamiento al secado artificial con ventilación frontal de la madera aserrada de cumala de 4/4" de espesor con el programa mejorado.

En el cuadro 04, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación frontal de la madera de cumala de 4/4" de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 95,18% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 4,82%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 3,49% hasta 98,67%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 1,33%. Al comparar estos resultados con los del programa original (cuadro 09) se observa que con

	156	
--	-----	--

Fuente: Equipo investigador del proyecto.

Comportamiento al secado artificial con ventilación superior de la madera de aserrada de cumala de 4/4" de espesor con el programa mejorado.

En el cuadro 06, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación superior de la madera de cumala de 4/4" de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 97,66% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 2,34%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 1,76% hasta 99,42%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,58%. Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,30% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (10 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 06.- Comportamiento al secado artificial con ventilación superior de la madera aserrada de cumala de 4/4" de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
			RT		IR		D			
	pt	%	T	%	t	%	pt	%	pt	%
1	22 323	97.90	478	2.10	367	1.61	111	0.49	22 801	100
2	21 987	97.44	578	2.56	424	1.88	154	0.68	22 565	100
3	22 343	97.65	538	2.35	407	1.78	131	0.57	22 881	100
Promedio	22 218	97.66	531	2.34	399	1.76	132	0.58	22 749	100

pt = Pies tablares

IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total

D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación lateral para la madera aserrada de cumala de 6/4" de espesor

En el cuadro 07, se presenta el programa de secado con ventilación lateral mejorado que reduce el tiempo de secado de 168 horas a 160 horas, el mismo que se encuentra dividido en nueve etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

El programa mejorado, inició el proceso de secado con una temperatura mayor al del programa original (52°C) y a su vez se incrementó la humedad relativa de inicio a 89% para estabilizar la carga pre-secada al aire libre, incrementando progresivamente la temperatura hasta alcanzar finalmente los 74°C y 28% de humedad relativa en la última etapa del proceso de secado propiamente dicho, alcanzando una humedad final de 5.8%.

Cuadro 07.- Programa mejorado de secado con ventilación lateral para “cumala” de 6/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	8	35	35	55	Calentamiento		
3	12	52	50	39.3	89	18	2.18
4	24	54	49	36.8	76	12.5	2.94
5	18	58	50	34	65	10	3.40
6	20	62	50	25.3	52	7.5	3.37
7	20	65	50	18.72	47	7	2.67
8	18	68	50	15.4	40	5.5	2.8
9	18	70	50	8.4	35	5	1.68
10	12	74	48	5.8	28	3	1.93
	10	45	35		Enfriamiento		
	160						

Fuente: El equipo investigador

Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera de aserrada de cumala de 6/4” de espesor con el programa mejorado.

En el cuadro 09, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación lateral de la madera de cumala de 6/4” de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 95,71% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 4,31%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 3,69% hasta 99,4%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,63%. Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,22% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (8 horas) redundaba en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 09.- Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor, con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	RT		IR		D		pt	%
			Pt	%	pt	%	pt	%		
1	16276	96.10	661	3.90	544	3.21	117	0.69	16937	100
2	16292	95.88	711	4.18	620	3.65	91	0.54	17003	100
3	15658	95.14	800	4.86	693	4.21	107	0.65	16458	100
Promedio	16 075	95.71	724	4.31	619	3.69	105	0.63	16799	100

pt = Pies tablares
 RT = Recuperación total

IR = Incremento de recuperación
 D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor

En el cuadro 10, se presenta el programa de secado con ventilación frontal mejorado que reduce el tiempo de secado de 334 horas a 330 horas, el mismo que se encuentra dividido en doce etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

Este programa se caracteriza por iniciarse con depresiones del bulbo húmedo muy bajas (01°C), y se incrementa muy lentamente hasta la quinta etapa, dado lo anti técnico del diseño de la cámara, iniciándose el secado con 50°C y terminando el proceso en 66°C. Los cambios de temperatura se realizaron en forma progresiva tomando como referencia el control del contenido de humedad de las muestras al final del tiempo establecido para cada etapa de secado.

Cuadro 10.- Programa de secado mejorado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	12	35	35		Calentamiento		
2	72	50	49	122.7	95	22	5.6
3	72	50	48	103.11	89	18	5.73
4	48	52	49	92.50	83	15.5	5.97
5	32	54	50	73.83	80	13.5	5.47
6	16	56	50	62.33	72	11.5	5.42
7	18	58	50	41.89	65	10	4.90
8	16	60	50	24.5	58	8.5	2.88
9	8	62	50	15.44	52	7.5	2.06
10	12	64	48	10.72	42	6	1.79
11	12	66	46	6.22	32	5	1.24
12	12	40			Enfriamiento		
	330						

Fuente: El equipo investigador

Comportamiento al secado artificial con ventilación frontal de la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor con el programa mejorado

En el cuadro 11 se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación frontal de la madera de cumala de 6/4” de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 95,62% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de

4,55%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 3,89% hasta 99,51%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,66%.

Cuadro 11.- Comportamiento al secado artificial con ventilación frontal de “cumala” de 6/4” de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
			RT		IR		D			
	pt	%	Pt	%	pt	%	pt	%	pt	%
1	26 198	95.95	1255	4.57	1045	3.81	210	0.76	27453	100
2	25 889	95.37	1257	4.63	1095	4.03	162	0.59	27146	100
3	26 715	95.54	1247	4.46	1067	3.82	180	0.64	27962	100
Promedio	26 267	95.62	1253	4.55	1069	3.89	184	0.66	27520	100

pt = Pies tablares

IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total

D = Desperdicio

Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,60% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (4 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Programa mejorado de secado con ventilación superior para la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor

El cuadro 12 presenta el programa de secado mejorado para “cumala” de 6/4” de espesor, el mismo que se encuentra dividido en doce etapas, considerando como cada etapa los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido. El programa mejorado reduce el tiempo de secado de 264 horas a 257 horas, obteniendo un contenido de humedad final requerido de 7.4%

Cuadro 12.- Programa de secado mejorado con ventilación superior para la madera aserrada de cumala de 6/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	9	35	35		Calentamiento		
2	48	52	50	98	89	18	5.4
3	60	55	50	80	76	12	6.7
4	24	58	50	66	65	10	6.6
5	16	62	50	47	52	7	6.7
6	16	66	52	32	47	7	4.6
7	12	68	52	23	44	6	3.8
8	12	70	52	15	40	5	3.0
9	15	70	50	12	35	5	2.4
10	18	72	50	10	31	4	2.5
11	18	72	48	7	28	3.5	2.0
12	9				Enfriamiento		

	257	
--	-----	--

Fuente: El equipo investigador

Comportamiento al secado artificial con ventilación superior de la madera aserrada de cumala de 6/4" de espesor

En el cuadro 13, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación superior de la madera de cumala de 6/4" de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 97,23% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 2,77%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 2,25% hasta 99,48%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,51%. Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,46% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (7 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 13.- Comportamiento al secado artificial con ventilación superior de "cumala" de 6/4" de espesor, con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
			RT		IR		D			
	pt	%	Pt	%	pt	%	pt	%	pt	%
1	23 889	97.63	580	2.37	463	1.89	117	0.48	24 469	100
2	24 075	97.13	711	2.87	586	2.36	125	0.50	24 786	100
3	23 655	96.94	747	3.06	611	2.50	136	0.56	24 402	100
Promedio	23 873	97.23	679	2.77	553	2.25	126	0.51	24 552	100

pt = Pies tablares

IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total

D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación lateral para madera la madera aserrada de cumala de 8/4" de espesor

En el cuadro 14, se muestra el programa de secado mejorado para cumala de 8/4" de espesor utilizando una cámara de secado con ventilación lateral, el mismo que se inicia con una temperatura de 50°C y una humedad relativa del aire de 83%, siendo éstas mayores que la temperatura y humedad relativa del programa original. Este programa consta de 11 etapas que van desde el calentamiento hasta el enfriamiento, este hecho hace que la humedad de la madera descienda en forma lenta hasta obtener el contenido de humedad final requerido de 6,2 % en un tiempo de 224 horas, en la última etapa de secado con una temperatura de 72°C y la humedad relativa de 35%, lográndose reducir un tiempo de 16 horas con respecto al programa original.

Cuadro 14.- Programa de secado mejorado con ventilación lateral para la madera aserrada de cumala de 8/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	12	35	35	70.0	Calentamiento	15.5	
4	24	50	47	60.1			
5	28	52	48	49.6	79	14	
6	36	57	51	44.0	72	11.5	
7	36	60	52	34.2	65	10	
8	24	64	54	24.1	60	8.5	
9	18	68	54	16.6	50	7	
10	18	70	54	10.7	44	6	
11	16	72	52	6.2	35	5	
	12				Enfriamiento		
	224						

Fuente: El equipo investigador

Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera aserrada de cumala de 8/4” de espesor

En el cuadro 15, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación lateral de la madera de cumala de 8/4” de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en promedio de 94,29% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 5,71%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 5,15% hasta 99,44%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,56%.

Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,60% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (16 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 15.- Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de la madera de cumala de 8/4” de espesor, con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
			RT		IR		D			
	pt	%	Pt	%	pt	%	ptT	%	pt	%
1	16 962	94.87	917	5.13	845	4.73	72	0.40	17 879	100
2	17 531	94.12	1096	5.88	979	5.26	117	0.63	18 627	100
3	17 259	93.87	1127	6.13	1004	5.46	123	0.67	18 386	100
Promedio	17 251	94.29	1047	5.71	943	5.15	104	0.57	18 297	100

pt = Pies tablares

IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total

D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 8/4” de espesor

En el cuadro 16, se presenta el programa mejorado de secado para “cumala” de 8/4” de espesor para cámaras de ventilación frontal, el mismo que se encuentra dividido en catorce etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

La variación y cambios de la temperatura en este programa se realizaron incrementando la temperatura en forma progresiva desde una etapa inicial de 48 °C y aumentando progresivamente hasta llegar a 65 °C en la última etapa, tomando como referencia el control de humedad de las muestras al final del tiempo establecido para cada etapa del programa de secado, con lo cual se tiene una duración de secado de 432 horas (18 días)., reduciéndose un tiempo de 6 horas con respecto al programa original, alcanzando un contenido de humedad de 6.22%.

Cuadro 16.- Programa de secado mejorado con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 8/4” de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	16	35	35		Calentamiento		
2	120	48	47	120.11	95	22	5.46
3	60	48	46	109.83	89	18	6.10
4	32	50	46	95.22	79	14	6.8
5	32	52	48	82.94	79	14	5.85
6	32	54	49	65.72	76	12.5	5.26
7	16	54	48	51.89	72	11.5	4.51
8	36	56	48	34.72	63	10	3.47
9	16	58	48	24.78	58	8.5	2.91
10	12	60	48	16.39	52	7.5	2.18
11	16	62	48	11.94	45	7	1.70
12	16	64	48	8.67	42	6	1.44
13	12	65	45	6.22	32	5	1.24
14	16	35	20		Enfriamiento		
	432						

Fuente: El equipo investigador.

Comportamiento al secado artificial con ventilación frontal de la madera aserrada de cumala de 8/4” de espesor

En el cuadro 17, se puede apreciar el comportamiento al secado con ventilación frontal de la madera de cumala de 8/4” de espesor con el programa mejorado. Se obtuvo un rendimiento inicial en

promedio de 95,35% en madera seca de primera y un rendimiento promedio en madera seca de recuperación de 4,65%, que luego del proceso de recuperación incrementó el porcentaje de madera de primera en 3,88% hasta 99,23%, como consecuencia se produjo un porcentaje mínimo de desperdicio de 0,77%. Al comparar estos resultados con los del programa original, se observa que con el programa mejorado se obtuvo un incremento de 0,37% en madera de primera, lo que aunado al menor tiempo de secado (6 horas) redunda en un ahorro en mano de obra e insumos para la empresa, incrementando de esa manera su rentabilidad.

Cuadro 17.- Comportamiento al secado artificial con ventilación frontal para la madera aserrada de cumala de 8/4" de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Recuperación						TOTAL	
			R.T		I.R		D			
	pt	%	Pt	%	pt	%	pt	%	Pt	%
1	30 012	95.12	1537	4.87	1317	4.17	220	0.70	31 549	100
2	30 290	95.62	1388	4.38	1149	3.63	239	0.75	31 678	100
3	29 516	95.31	1453	4.69	1189	3.84	264	0.85	30 969	100
Promedio	29 939	95.35	1459	4.65	1218	3.88	241	0.77	31 399	100

pt = piestablares

IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total

D = Desperdicio

Programa mejorado de secado con ventilación superior para la madera aserrada de cumala de 8/4" de espesor

En el cuadro 18 se muestra el programa de secado mejorado para "cumala" de 8/4", el mismo que consta de doce etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

Cuadro 18.- Programa mejorado de secado con ventilación superior para la madera aserrada de cumala de 8/4" de espesor.

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	12	32	32		100		
2	48	50	48	98.5	89	18	5.47
3	48	52	50	82.44	89	18	4.58
4	60	55	51	70.40	80	13.5	5.21
5	36	58	52	54.00	73	11.5	4.70
6	36	60	52	34.60	65	10	3.46
7	32	62	52	24.20	58	8.5	2.85
8	24	66	52	16.80	47	7	2.4
9	32	68	52	13.80	44	6	2.3
10	16	70	52	9.80	40	5.5	1.78
11	16	70	50	7.0	35	5	1.4
12	12				Enfriamiento		
	372						

con ventilación frontal, por lo que es necesario ajustarlo de modo que el porcentaje de madera de primera se sitúe por encima del 99% y el porcentaje de desperdicio se reduzca a menos de 1%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALVAREZ, H. y J.I. FERNÁNDEZ-GOLFIN. 1984. Fundamentos Teóricos del secado de la madera. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 193 p.
2. ARANGO, A, 1998. Secado de la Madera. Centro Nacional de la Madera. Colombia. 117 p.
3. AROSTEGUI, A. 1975. Métodos y especificaciones empleadas en los estudios tecnológicos. Lima, Perú 104 p.
4. BROWN, N.C. y J.S. BETHEL. 1983. La Industria Maderera. Versión castellana de Alonso Blackaller. Quinta reimpresión. Edit. LIMUSA, México. 397 p.
5. FERNANDEZ, J. 1998. Manual de Secado de Maderas. Centro de Investigación Forestal. España. 167 p.
6. FLORES A, C.A. 1995. Secado artificial para cumala (*Virola* sp.) y catahua (*Hura crepitans*. L) en un mismo compartimiento en IMPULSA Iquitos-Perú. Trabajo Profesional Ing. Forestal. Iquitos-Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 43 p.
7. INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA. 1988. Secado y Preservado de la madera. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 105 p.
8. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. 1989. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas. Proyecto Sub regional de la promoción industrial de la madera para la construcción. Colombia.
9. MATELUNA, J. 2006. Bosques Amazónicos. Edición Virtual. II Semestre 2006 • N° 2. Septiembre del 2006 • Iquitos, Perú.
10. MENDES, L. 1996. A Secagem da Madeira. Instituto Nacional de Pesquisas Amazónicas (INPA). Brasil.
11. MORI I, W. 2000. Comportamiento al secado en hornos de compartimiento de la especie cumala (*Virola* sp.) de una pulgada y media de espesor. Islandia- Perú. Práctica pre-profesional. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos-Perú. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 18 p.
12. PISCOYA, V. 1981. Comparación de dos programas de secado para maderas de cumala (*Virola* sp.) de una pulgada de espesor utilizando horno secador. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 77 p.
13. TROPICAL FOREST. 2005. Servicios de información, precios y estadísticas comerciales del sector maderas. Boletín N° 26. (01 de Mayo al 30 de Mayo del 2005). Lima – Perú. 10 p

14. TUSET, R. y F. DURAN. (sf.). Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay. 688 p.
15. VIZCARRA, S. 1998. Guía para el secado de la madera en hornos. Documento Técnico 69/1998. Bolivia. 45 p.