ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE USO DE MADERAS NATIVAS CHILENAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE INSTRUMENTOS MUSICALES

Karsulovic C. José T[1] ., Gaete M. Victor H.[1] y León G. Adolfo[1]

[1] Departamento Ingeniería de la Madera, Universidad de Chile. Casilla 9206, Santiago, Chile

Ciencias Forestales Vol. 14 Nº1-2. 1999-2000

INTRODUCCIÓN

La construcción de instrumentos musicales ha sido una actividad que, en nuestro país, constituye un campo de desarrollo relativamente pequeño, y que se desenvuelve en un marco de antiguas tradiciones y transmisión de conocimientos por vías informales. Sin embargo, ésta puede representar una alternativa de uso noble, rentable y viable para el fomento del cultivo de algunas especies nativas, hoy subestimadas en sus aplicaciones comerciales.

Los luthieres desde antiguo han desarrollado técnicas para determinar el comportamiento de las piezas de distintos instrumentos musicales, entre las cuales destacan los análisis auditivos de las placas de violines conocidas como "tap tones", que consisten en la inspección auditiva de una placa de madera mediante la aplicación de un golpe en ciertos puntos (Benade, 1976; Beranek, 1961; Baines, 1961).

Otra aproximación que ha probado ser bastante eficiente es montar la pieza en bridas de goma, y excitarla en un punto escogido con un electroimán. La vibración resultante es detectada mediante un transductor electro-acústico ubicado a corta distancia de la placa. Las curvas de nivel graficadas revelan el comportamiento de la placa frente a la excitación correspondiente, en especial cuando se correlacionan con picos y valles correspondientes a otras placas (Hutchins, 1962).

Numerosos estudios han demostrado que las propiedades vibratorias de cualquier parte de un instrumento musical, dependen tanto del tamaño, espesor y arqueo de la pieza, como de la elasticidad, densidad y amortiguamiento interno de la madera con que están hechos. Estos últimos parámetros se encuentran relacionados con la Frecuencia Natural de Resonancia (Van der Slooten, H. y M. Rabelo de Souza. 1987; Benade, 1976; Massmann H. y R. Ferrer. 1993).

Este estudio está dirigido a efectuar una caracterización acústica de algunas maderas nativas chilenas, mediante el establecimiento de las Frecuencias Naturales de Resonancia (f_n), Coeficiente Temporal de Amortiguamiento (t), Coeficiente de Decaimiento Logarítmico (DL), Factor de Calidad del resonador (Q) y Modos Normales de vibración transversal determinadas mediante las figuras de Chladni (Hemholtz, 1954; Beranek, 1961; Yoshimasa S. and E. J. Skudrzyk. 1969).

Lo anterior, con el objetivo de determinar, mediante parámetros físicos, el comportamiento esperado de algunas maderas nativas chilenas en la construcción de instrumentos musicales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La f_n se estableció mediante la vibración forzada de probetas prismáticas, excitadas por la acción de un electroimán, el cual genera un campo magnético variable de acuerdo a los cambios del potencial eléctrico presente en sus extremos, el que corresponde a su vez, a la amplificación de la señal entregada por un oscilador electrónico. El montaje de la pieza permite una vibración de tipo LIBRE-LIBRE, determinando los apoyos mediante la resolución de la ecuación de ondas para barras (Haines D. W., *et al.,* 1995).

Las propiedades físicas, mecánicas, anatómicas, así como antecedentes históricos sobre su disponibilidad de mercado, condujeron a realizar una preselección de especies para ser sometidas a este estudio, siendo consideradas las siguientes especies: Tamarugo (*Prosopis tamarugo*), Espino (*Acacia caven*), Tepú (*Tepualia stipularis*), Algarrobo (*Prosopis chilensis*), Tineo (*Weinannia trichosperma*), Lenga (*Nothofagus pumilio*), Tepa (*Laurelia philippiana*) , Raulí (*Nothofagus alpina*), Ulmo (*Eucryphia cordifolia*), Mañío (*Podocarpus nubigenus*), Lingue (*Persea lingue*), Canelo (*Drimys winterii*), Chañar (*Geoffrea decorticans*), Araucaria (*Araucaria araucana*) y Laurel (*Laurelia serpenvirens*).

Las muestras de las especies estudiadas fueron seleccionadas considerando condiciones de estabilidad dimensional y equilibrio en el contenido de humedad, estando éstas en estado de humedad de equilibrio por al menos un año.

La determinación de las propiedades acústicas de las maderas de las distintas especies se efectuó mediante la aplicación de dos ensayos:

1.- Vibración por Resonancia Natural de la madera, basándose en la metodología aplicada por Van der Slooten (Van der Slooten, H. y M. Rabelo de Souza. 1987). El montaje de este ensayo, mostrado en la Figura 1-a permitió,

además de la determinación de la f_n, establecer las siguientes propiedades:

a.- Coeficiente de Decaimiento Logarítmico (DL) definido como:

$$DL = \frac{\pi * \Delta \mathbf{f}}{\sqrt{3}\, f_n}$$

Donde:

f_n = Frecuencia Natural de Resonancia
$\Delta f = (f''-f')$ con f''= frecuencia superior con el 50% de la intensidad de vibración.
f'= frecuencia inferior con el 50% de la intensidad de vibración.

b.- Coeficiente de Calidad del sistema resonante (Q):

$$Q = \frac{fn}{\Delta f}$$

c.- Coeficiente Temporal de Amortiguamiento (τ):

Que se obtiene de la relación:

$$\frac{1}{e} = A\, e^{-\beta t}(\cos\Omega\Delta \mathbf{t}+\Phi)$$

Donde:

A = Amplitud máxima de Vibración.
β = Coeficiente de amortiguamiento interno.
Ω = Frecuencia de excitación.
$\Delta \mathbf{t}$ = Intervalo de tiempo de estimulación
Φ = Ángulo de fase.

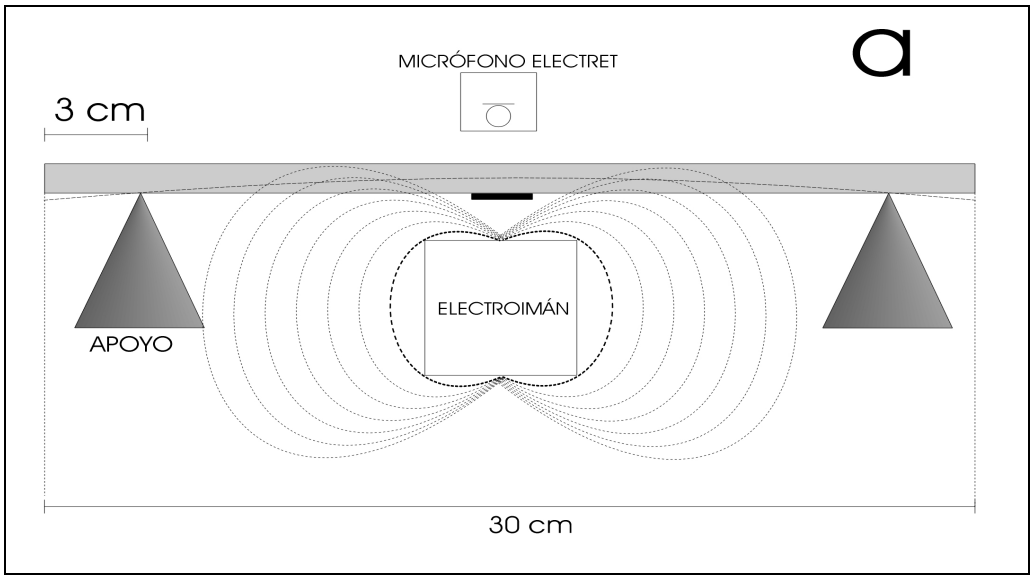

Figura 1a: Montaje de ensayos de vibración forzada

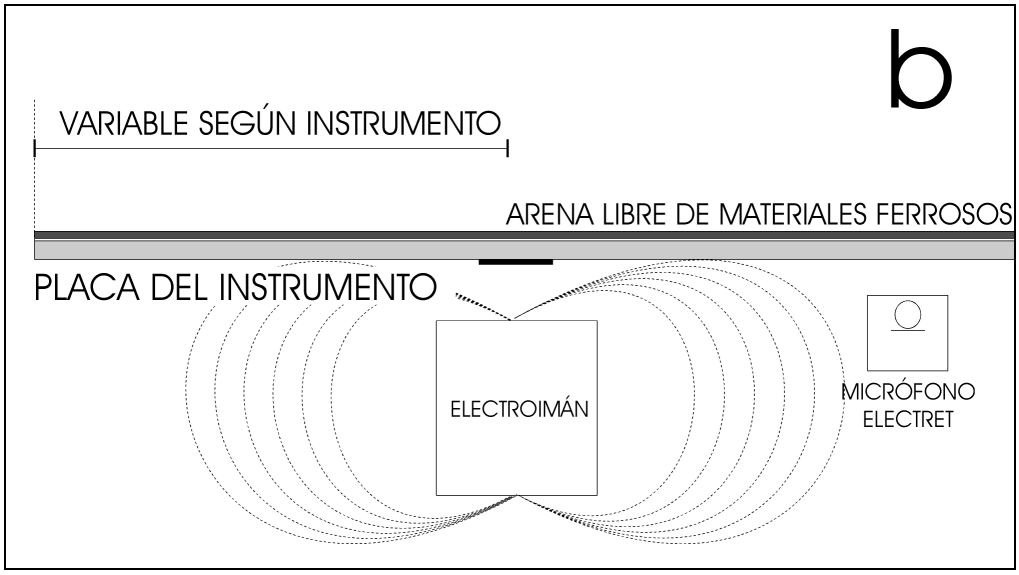

Figura 2b: Montaje de ensayos de vibración forzada

Para este ensayo se confeccionaron 9 probetas de cada especie en corte floreado, con dimensiones de 30x2x0.3 centímetros .

Los resultados del ensayo precedente fueron utilizados para discriminar las especies que serían sometidas al estudio de comportamiento de sus Modos Normales de Vibración, debido a que éstos permitían estimar un comportamiento apropiado en la aplicación de la especie para la confección de placas vibratorias. Como rangos adecuados se consideraron valores de f_n alrededor de 174 Hz. para tapas de violines y cercana a los 165 Hz. para fondos de violines. Por otro lado, se consideró apropiada una f_n cercana a los 150 Hz. para tapas y fondos de guitarras. Ello de acuerdo a los valores que presentan las especies tradicionales en estas aplicaciones.

2.- Aplicación de vibración forzada, inducida por un sistema electromagnético, montando la placa de madera en un bastidor que le permitía vibrar libremente (Figura 1-b). Las probetas se elaboraron con las formas y tamaños de tapas de guitarras y tapas de violines.

Para ambos ensayos se utilizó un generador de funciones digital, un amplificador de alta potencia, un driver[3] electromagnético, con impedancia nominal de 8 ohms, un micrófono electret[4] un contador digital y un osciloscopio digital.

RESULTADOS

Los Cuadros 1 y 2 muestran un resumen de los resultados en la determinación de f_n y Modos Normales de Vibración Transversal. Se puede apreciar en el Cuadro 1, que se hizo una distinción entre albura y duramen de dos especies, por cuanto presentaban notables diferencias en su comportamiento frente a la vibración forzada. Tanto el Coigüe como el Tineo presentaron variaciones importantes en cuanto a su frecuencia de resonancia. Por otro lado, la albura presentó mayor dificultad para entrar en resonancia, en ambos casos, frente a un mismo nivel de intensidad de excitación. El Cuadro 1 presenta además las propiedades, descritas en la metodología, de las maderas ensayadas.

[3]Electroimán elaborado con un núcleo de fierro y espiras de cobre de 0,1 mm. de diámetro
[4]Micrófono de condensador alimentado con batería de 1,5 V. Su respuesta de frecuencia es plana entre los 40 Hz. y los 12.000 Hz

Cuadro 1. Frecuencias de Resonancia y Frecuencias donde se verifica el 50% de la amplitud máxima de vibración

Especie	$f_{50\%}$- [Hz.]	f_n [Hz.]	$f_{50\%}$+ [Hz.]	Densidad Media [Kg./m3]	M.O.D. [N/mm^2]	Tiempo [seg]	Q	DL	τ[1/seg.]
Algarrobo	125	127	128	1083	13358	0.234	40.600	0.089	4.278
Araucaria	171	174	175	603	14098	0.364	41.376	0.088	2.744
Canelo	126	129	131	440	6310	0.149	28.682	0.126	6.716
Coigüe albura	138	140	141	594	9885	0.267	45.081	0.080	3.750
Coigüe duramen	166	167	169	494	7921	0.258	57.301	0.063	3.876
Chañar	105	108	110	793	6617	0.051	20.543	0.088	19.565
Espino	97	99	102	1096	9853	0.176	21.218	0.171	5.682
Laurel	155	158	159	505	9206	0.330	34.275	0.106	3.030
Lenga	164	165	167	627	13773	0.274	61.227	0.059	3.653
Lingue	147	149	150	584	9807	0.189	48.511	0.075	5.294
Mañío	147	149	150	546	8857	0.172	41.841	0.087	5.825
Raulí	156	157	158	569	12383	0.292	77.328	0.047	3.429
Tamarugo	132	133	135	1122	14730	0.225	39.843	0.091	4.444
Tepa	173	174	176	527	11004	0.235	54.494	0.067	4.255
Tepú	142	144	146	1063	18242	0.164	34.986	0.104	6.087
Tineo albura	150	152	153	763	15771	0.234	43.569	0.083	4.274
Tineo duramen	144	146	148	776	13238	0.220	41.387	0.088	4.545
Ulmo	167	169	171	696	13693	0.198	40.532	0.089	5.051

Cuadro 2. Frecuencias de resonancia en ensayo Modos Normales de Vibración Transversal de tapas de violines

Araucaria		Coigüe		Ulmo		Laurel	
Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV
87.0	15.0	57.0	15.0	85.0	12.0	45.0	10.0
92.0	10.0	84.0	30.0	91.0	10.0	90.0	12.0
174.0	25.0	168.0	60.0	110.0	10.0	110.0	10.0
186.0	20.0	202.0	7.0	170.0	25.0	181.0	50.0
261.0	12.0	272.0	5.0	181.0	27.0	267.0	5.0
294.0	10.0	318.0	5.0	251.0	15.0	408.0	5.0
316.0	10.0	362.0	7.0	317.0	7.0	452.0	7.0
350.0	10.0	395.0	5.0	347.0	7.0	498.0	5.0
422.0	10.0	429.0	10.0	389.0	5.0	531.0	7.0
523.0	7.0	450.0	5.0	452.0	5.0	632.0	5.0
616.0	5.0	487.0	10.0	490.0	5.0	677.0	2.5
814.0	5.0	543.0	5.0	543.0	2.5	724.0	5.0
995.0	5.0	631.0	5.0	564.0	2.5	816.0	5.0
1081.0	5.0	814.0	5.0	632.0	2.0	908.0	5.0
1296.0	2.5	825.0	5.0	681.0	2.0	998.0	2.0
1800.0	2.0	920.0	5.0	729.0	2.0	1082.0	2.0
		999.0	5.0	780.0	2.0		
		1084.0	5.0	827.0	2.0		
		1170.0	5.0				

El Cuadro 3 resume los niveles de vibración del ensayo de determinación de Modos Normales de Vibración Transversal. Los niveles se presentan en términos de milivoltios entregados por el osciloscopio, siendo éste un nivel que permite conocer el comportamiento de la pieza conforme varía la frecuencia de excitación, y no un nivel que permita comparaciones interespecíficas.

Cuadro 3. Frecuencias de resonancia en modos de vibración y amplitudes relativas de tapas de guitarras confeccionadas con 4 especies

Tepa		Ulmo		Lingue		Laurel	
Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV	Frecuencia Hz.	Amplitud relativa mV
51.0	10.0	44.0	15.0	42.0	15.0	54.0	12.0
131.0	5.0	66.0	7.5	55.0	10.0	71.0	25.0
159.0	**15.0**	**130.0**	**12.0**	**110.0**	**10.0**	127.0	10.0
165.0	10.0	190.0	5.0	145.0	7.5	**143.0**	**40.0**
189.0	5.0	199.0	5.0	201.0	10.0	201.0	25.0
199.0	5.0	263.0	7.5	209.0	5.0	252.0	40.0
213.0	5.0	384.0	2.5	338.0	2.5	272.0	10.0
231.0	2.5	441.0	2.5	356.0	2.5	295.0	8.0
289.0	10.0	591.0	2.5	450.0	2.5	338.0	6.0
292.0	10.0	801.0	5.0	501.0	5.0	394.0	5.0
305.0	5.0					439.0	10.0
451.0	5.0					544.0	8.0
						856.0	20.0

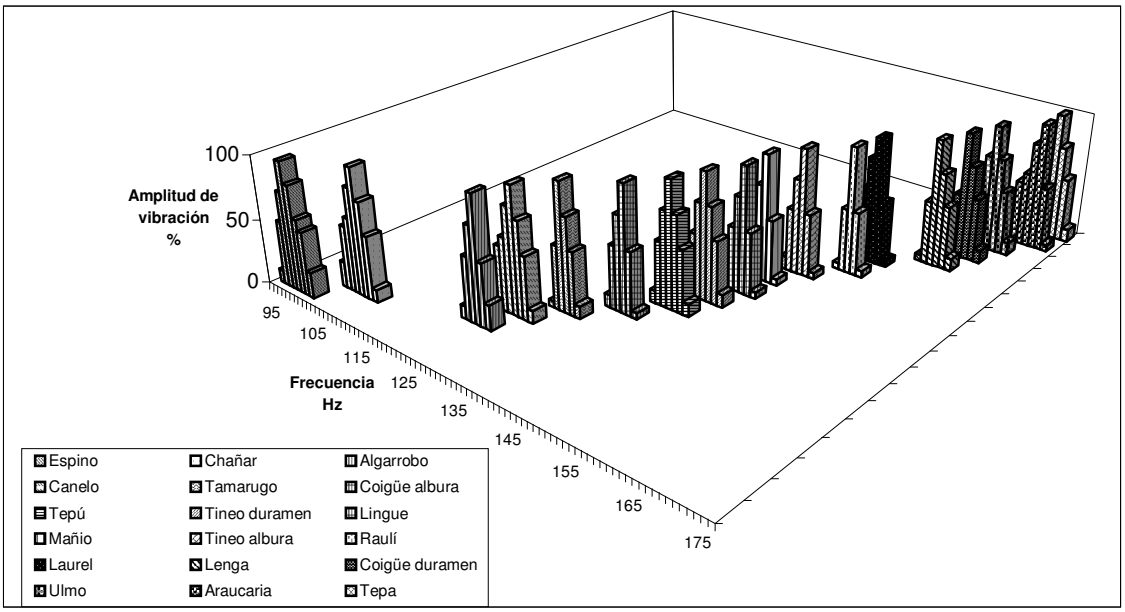

Figura 2: Amplitud de vibración con variaciones de frecuencia de excitación.Factor de Calidad (Q)

La Figura 2 muestra la distribución de frecuencias de vibración detectadas en el ensayo con sus amplitudes relativas, antecedentes que permiten establecer Q de cada especie.

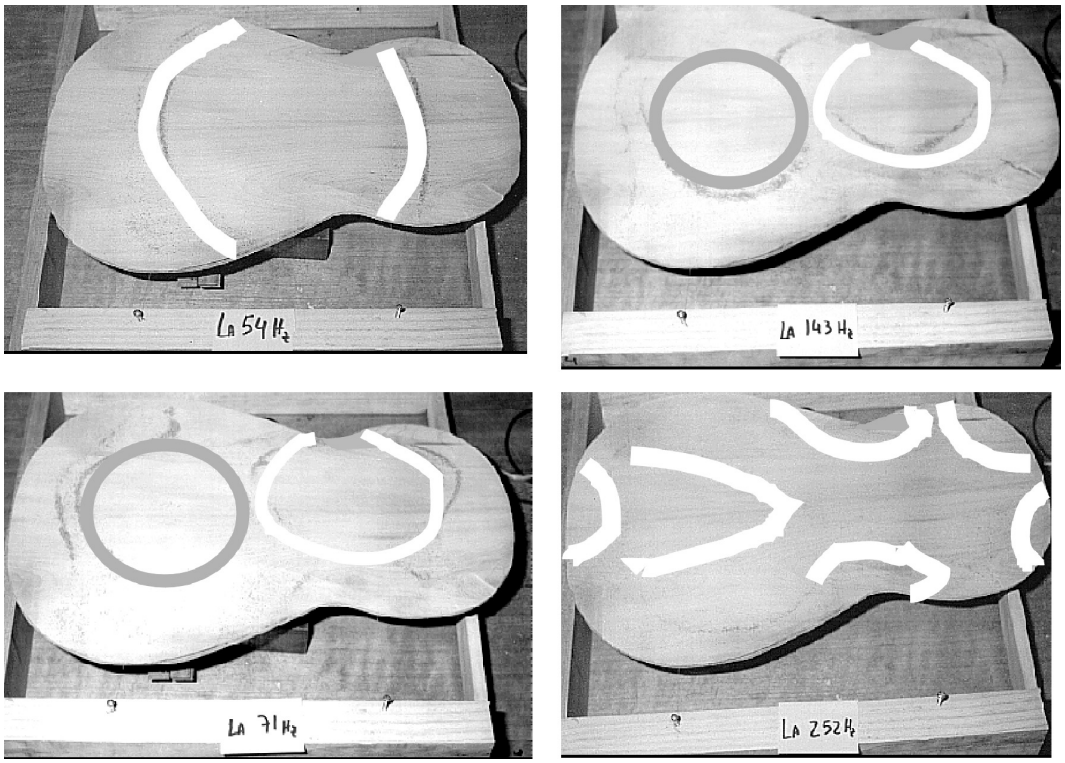

Figura 3: Modos de Vibración (destacados) en tapas de guitarra

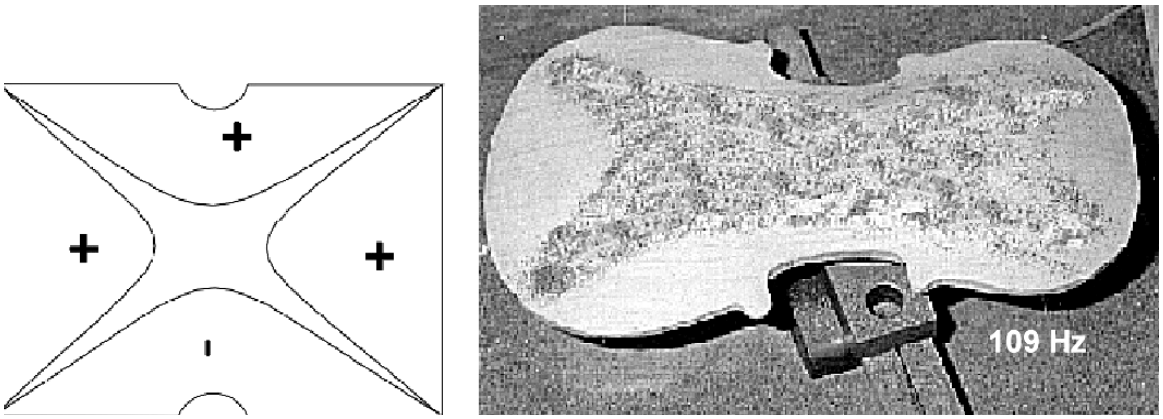

Figura 4: Ejemplo de modo normal de vibración en tapas de violines, asociado a su modo teórico.

Las Figuras 3 y 4 muestran ejemplos de Modos Normales de Vibración Transversal establecidos en tapas de violines y guitarras confeccionadas con distintas especies.

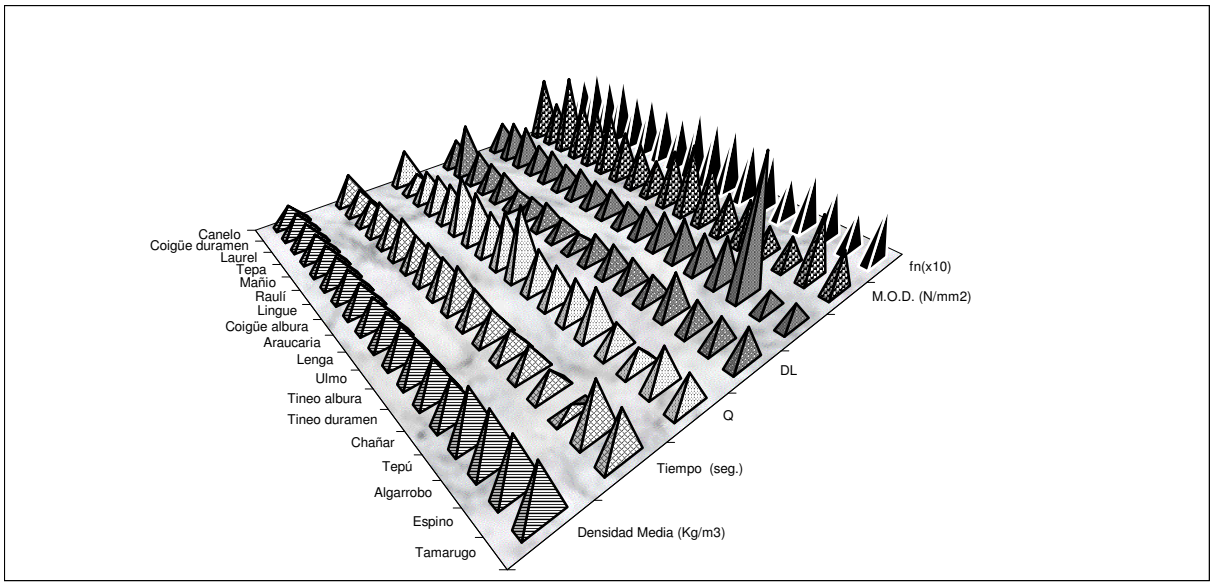

Figura 5 : Comparación entre distintas propiedades de especies, ordenadas por densidad.

En la Figura 5 se observa la notable variación interespecífica en cuanto al Factor de Calidad (Q), destacándose el caso del Algarrobo, duramen de Coigüe, Mañío, Tamarugo, Tepa, Lingue y Raulí. Además esta figura muestra la fn contrastada con otras propiedades físicas y mecánicas de las distintas especies. En ella se aprecia que existe concordancia entre las variaciones de la densidad y f_n, así como también entre las de f_n y t. Por otro lado el Módulo de Elasticidad Dinámico (MOD) no presenta similitud con las variaciones de f_n, mientras los valores de Q sí presentan una gran semejanza con los de ella.

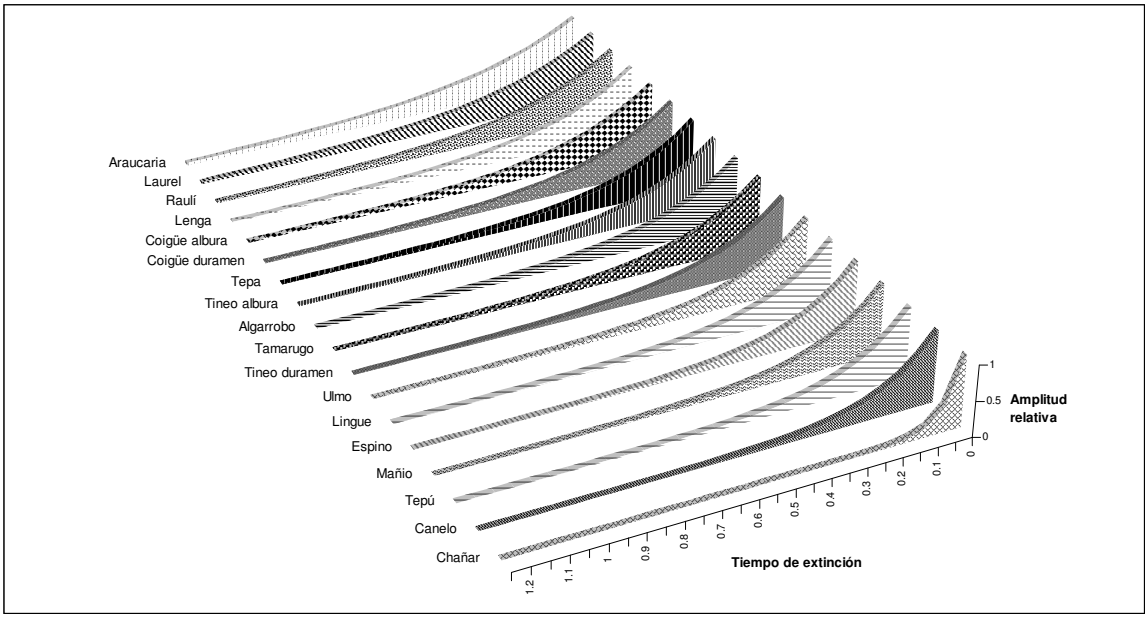

Figura 6: Coeficiente Temporal de Amortiguamiento de las distintas especies ensayadas.

En la Figura 6 se muestra el Coeficiente Temporal de Amortiguamiento (t), pudiéndose apreciar que tanto la Araucaria como el Chañar presentan comportamientos opuestos, siendo la Araucaria la de mayor sostenimiento en el tiempo de extinción de la vibración, aunque especies como Laurel, Raulí y Lenga presentan tiempos de extinción superiores a 1 segundo.

El análisis de los antecedentes expuestos, permitió seleccionar especies que presentaban propiedades favorables para la confección de placas de instrumentos de cuerda, como las tapas de violines y guitarras, sobre las cuales se efectuó el ensayo de determinación de los Modos Normales de Vibración Transversal. Las especies que presentaban condiciones favorables para la confección de tapas de violines son Araucaria, Laurel, Tepa, Ulmo y Coigüe, mientras que para la confección de tapas de guitarras, se seleccionó Laurel, Ulmo, Tepa y Lingue.

CONCLUSIONES

Los ensayos de determinación de la f_n, permitieron establecer que algunas especies nativas poseen propiedades acústicas adecuadas para su utilización como material de fabricación de instrumentos musicales.

Por otro lado, la metodología empleada en la determinación de la f_n, ha mostrado ser de aplicación práctica en orden a determinar otras propiedades mecánicas del material, como también una metodología factible de ser utilizada por constructores de instrumentos musicales en la búsqueda de materiales de reemplazo.

El ensayo de Modos Normales de Vibración Transversal ha permitido conocer el comportamiento del material en una situación cercana a su aplicación real, junto con ello se pudo comprobar la existencia de una homogeneidad necesaria del material, para su aplicación en la construcción de piezas de instrumentos musicales. Por otro lado, esta metodología ha mostrado ser eficiente y aplicable como método alternativo al ensayo de "tap tones" o ensayo de golpes, principalmente porque representa parámetros objetivos de análisis y porque su aplicación no requiere la utilización de mecanismos complejos y equipos sofisticados como otros métodos alternativos presentados por la distintos investigadores (Meinel H. 1957; Hutchins C.M., 1962; Mathews, M. V. y J. Kohut. 1973; Yasuda R., *et al.,*. 1993).

Entre las especies ensayadas, Coihue (*Nothofagus dombeyii*) y Araucaria (*Araucaria araucana*) resultaron ser las más apropiadas para su aplicación para fondos y tapas de violines respectivamente, mientras que Lingue (*Persea lingue*) y Tepa (*Laurelia serpenvirens*) resultaron ser apropiadas para tapas de guitarras.

ALCANCES

Este estudio corresponde a una línea de investigación tendiente a establecer nuevos campos de utilización de las maderas nativas en particular en productos de alto valor agregado, por lo cual se hace necesario extender estas pesquisas al comportamiento de otras especies.

La construcción de instrumentos musicales, a pesar de no constituir una actividad con volúmenes de producción relevante y de presentar rendimientos bajos en cuanto a materias primas, puede llevar a un aprovechamiento mayor del árbol, en términos económicos.

BIBLIOGRAFÍA

Baines Anthony. 1961."*Musical instruments through the ages*", Penguin Books Ltd., Victoria, Australia.

Benade, Arthur H. 1976. "*Fundamentals of Musical Acoustic*", London, Oxford U. Press.

Beranek, Leo. 1961. "*Acustica*", 2º Ed., Buenos Aires, Ed. Hispano Americana.

Haines D. W., J.M. Leban, C. Herbé. 1995. "*Determination of Young´s modulus for spruce, fir and isotropic materials by the resonance flexure method with comparisons to static flexure and othr dynamic methods*".

Hemholtz, H. 1954. "*On the Sensation of Tone*". ed. New York Dover.

Hutchins C.M. 1962. "*The Physycs of Violins*". Scientific American, November.

Massmann H. y Ferrer R. 1993. "*Instrumentos Musicales Artesanía y Ciencia*", Santiago, Dolmen Ediciones.

Mathews, M. V. and Kohut J.. 1973. "*Electronic simulation of violin resonances*", J. Acoust. Soc. Am. 53, 16226.

Meinel H. 1957. "Regarding *the sound quality of violins and a scientific basis for violin construction*". J. Acoust. Soc. Am., 29.

Van der Slooten, H. y Rabelo de Souza M.. 1987. "*Aviliacao das especies madereiras da Amazonia selecionadas para a manufatura de instrumentos musicais*", Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico, IBDF, Amazonia, Brasil.

Yasuda R., K. Minato y H. Yano. Primavera 1993. "*Use of trioxane for improvement of hygroscopic and acoustic properties of wood for musical instruments*", Wood Science and Technology.

Yoshimasa S. and Skudrzyk E. J.. 1969. "*Acoustic properties of wood*" (abstract), J. Acoust. Soc. Am., 46.