



PERFIL DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE LAS MADERAS PRIMAVERA Y ROSA MORADA

DIMENSIONAL STABILITY PROFILE OF PRIMAVERA AND ROSA MORADA WOODS

Francisco Javier Fuentes-Talavera¹, José Antonio Silva-Guzmán¹, Raúl Rodríguez-Anda¹, Rubén Sanjuán-Dueñas¹ y Hans Richter¹

RESUMEN

El perfil de estabilidad dimensional de las maderas *Roseodendron donnell-smithii* (Primavera) y *Tabebuia rosea* (Rosa morada) se determinó mediante la investigación experimental de sus principales índices de movimiento dimensional y anisotropías, de acuerdo a la norma DIN 52 184. Se recolectaron seis árboles de cada especie del estado de Chiapas; a partir de la zona de diámetro normal de cada árbol se elaboraron 24 especímenes de prueba de 25 x 25 x 10 mm saturados de humedad y se acondicionaron secuencialmente en clima con humedad relativa del aire de 65, 85, 35 y 0 % e inmersión en agua hasta saturación, para calcular diversos índices. Los resultados indican: hinchamiento máximo radial = 3.3 y 3.0 % y tangencial = 6.2 y 6.9 %; hinchamiento diferencial radial = 0.14 y 0.15 % / % y tangencial = 0.24 y 0.29 % / %; contracción radial normal por secado = 1.3 y 0.88 % y tangencial = 2.5 y 1.8 %, anisotropía del hinchamiento diferencial = 1.7 y 2.0, y anisotropía de la contracción por secado = 2.0 y 2.2. Con base en esta última, se infiere que puede tener comportamiento estable ante cambios de su contenido de humedad desde el estado verde al seco ($CH \approx 12$ %). Las manufacturas elaboradas con madera seca de estas especies manifestarán muy buena estabilidad dimensional en uso con ambientes de humedades relativas del aire de 65 a 85 % ó 65 a 35 %. A excepción de la contracción normal por secado (mayor en madera Primavera), el movimiento dimensional de ambas resultó similar no obstante su diferencia en densidad.

Palabras clave: Anisotropías, estabilidad dimensional, hinchamiento, movimiento dimensional, *Roseodendron donnell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* Bertol.

ABSTRACT

The profile of dimensional stability of *Roseodendron donnell-smithii* (Primavera) and *Tabebuia rosea* (Rosa morada) woods was determined by the experimental research of its major dimensional movement indexes and anisotropies, according to the DIN 52 184 regulation. Six trees for each species were collected at Chiapas state; from the normal diameter part of each tree, 24 25 x 25 x 10 mm test specimens were made, which were moisture saturated and were conditioned sequentially in climate of air relative humidity of 65, 85, 35 and 0 % and water immersion up to saturation in order to calculate several indexes. Results show radial swelling = 3.3 and 3.0 % and tangential = 6.2 and 6.9 %; radial differential swelling = 0.14 and 0.15 %/% and tangential = 0.24 y 0.29 %/%, normal radial shrinkage by drying = 1.3 y 0.88 % and tangential = 2.5 and 1.8 %; anisotropy of the differential swelling = 1.7 and 2.0, and anisotropy of the shrinkage by drying = 2.0 and 2.2. Based upon the latter, it is inferred that a stable behaviour might be had on the fase of changes in its moisture content, from the green condition to the dry one ($MC \approx 12$ %). Manufacturing with dry wood of thses species will show very good dimensional stability in the use of environments of air relative humidity of 65 to 85 % or 65 to 35 %. Except for the normal shrinkage from drying (greater in Primavera wood), the dimensional movement of both was similar in spite of the difference in density.

Key words: Anisotropies, dimensional stability, swelling, dimensional movement, *Roseodendron donnell-smithii* Rose, *Tabebuia rosea* Bertol

Fecha de recepción/ date of receipt: 27 de marzo de 2014; Fecha de aceptación/ date of acceptance: 30 de junio de 2014.

¹ Departamento de Madera, Celulosa y Papel. CUCEI. Centro de Investigación en Propiedades y Usos de la Madera Universidad de Guadalajara.

Correo-e: ffuentes@dmcp.cucei.udg.mx

INTRODUCCIÓN

La madera por su carácter higroscópico siempre está expuesta a cambios en su contenido de humedad (CH) y por consiguiente también a modificación de sus dimensiones lineales, es decir, si su CH cambia, estas pueden incrementarse o disminuir, por lo que se habla del hinchamiento o contracción de la madera, según sea el ambiente en el que esté (Forest Products Management Development Institute, 1998).

Aunado a este fenómeno, y por tratarse de un material anisotrópico, el movimiento dimensional de la madera es distinto en cada uno de sus ejes principales. Ante un cambio de un determinado contenido de humedad, ocurre otro en la dirección radial 10 veces mayor y en la tangencial, 20 sobre la dirección longitudinal (Suchsland, 2004).

Por lo anterior, la combinación del cambio dimensional y el carácter anisotrópico de la madera pueden generar modificaciones en la forma (distorsiones) en piezas o manufacturas, las cuales van desde muy leves a drásticos y se considera, entonces, que la madera es estable o muy inestable.

El conocimiento del movimiento dimensional de este material es fundamental para definir su potencial de uso, principalmente si se trata de manufacturas que puedan estar expuestas a cambios importantes de humedad relativa del aire (HRA); en función de la región, la variación de la humedad relativa del aire pudiera ser de 35 a 85 %, lo que en términos de contenido de humedad corresponde aproximadamente de 7 a 18 %.

En el uso práctico de la madera existen siempre cuestionamientos acerca del movimiento dimensional, como por ejemplo, ¿a qué cambios dimensionales estará expuesta una manufactura de madera? ¿Podrán ocurrir distorsiones graves de la manufactura de madera por alteraciones en la humedad? ¿Qué tolerancias dimensionales deben ser consideradas al instalar pisos, lambrines, puertas, ventanas u otras estructuras para evitar o reducir los problemas por cambio dimensional? Estas son algunas de las preguntas que surgen frecuentemente y la respuesta a cada una de ellas se ubica en el conocimiento del perfil de la estabilidad dimensional de la madera.

El término estabilidad dimensional de la madera es de orden cualitativo, y es usado para dar una calificación a su movimiento cuando estando en servicio es expuesta a cambios cíclicos de la humedad relativa del aire, por lo que es dependiente de los índices de hinchamiento y contracción, anisotropías de la contracción total o del hinchamiento diferencial, la velocidad de absorción y desorción de humedad (permeabilidad) y también de la dirección de la fibra (Silva *et al.*, 2010).

INTRODUCTION

From the hygroscopic condition of wood, it is always exposed to changes in its moisture content (MC) and, therefore, also to modification in its linear dimensions, that is, if MC changes, they can increase or diminish, which is known as swelling or shrinkage of wood, according to the environment in which it is (Forest Products Management Development Institute, 1998).

In addition to this phenomenon and as it is an anisotropic material, the dimensional movement of wood is different in each of its main axis. When faced to a particular moisture content another one takes place in the radial direction ten times higher and in the tangential 20 to the longitudinal direction (Suchsland, 2004).

For all the above reasons, the combination of the dimensional change and the anisotropic character of wood might produce modifications in shape (distortion) in pieces or manufactures, which go from very light to very severe and it is thus considered, that wood is stable or unstable.

The knowledge about the dimensional movement of this material is basic to define its potential use, mainly if it is for manufacturing which might be exposed to important changes on air relative humidity (HRA, for its acronym in Spanish); depending on the region, the variation of the air relative humidity could be from 35 to 85 %, which in terms of the content of humidity is around 7 to 18 %.

In the practical use of wood, there are always some questions about the dimensional movement; for example, to which dimensional changes will a wood manufacture would be exposed to?, Could there be serious distortions in the wood manufacture from humidity alterations? These are some questions that frequently emerge and the answer to every one of them is found in the knowledge about the profile of dimensional stability of wood.

The term dimensional wood stability is qualitative, and is used to classify its movement, when being used, and it is exposed to air relative humidity cyclic changes, which makes it dependent on the swelling and shrinkage indexes, anisotropies of total shrinkage of the differential swelling, the absorption speed and humidity desorption (permeability) and also on the direction of fiber (Silva *et al.*, 2010).

To determine the dimensional movement of wood, regulations such as ASTM D 143-94 (ASTM, 2007), ISO 4469 (ISO, 1981) or DIN 52 184 (DIN, 2000) are applied. The first two coincide in the exclusive determination of radial, tangential as well as the volumetric shrinkage of timber. On the other hand, the DIN regulation states ten different parameters to be determined, with which it is possible to have a broader view of such movement.

Para determinar el movimiento dimensional, se aplican normas como la ASTM D 143-94 (ASTM, 2007), ISO 4469 (ISO, 1981) o la DIN 52 184 (DIN, 2000). Las dos primeras coinciden en la determinación exclusiva de la contracción radial y tangencial así como volumétrica. Por su parte, la norma DIN establece diez diferentes parámetros por determinar, con los cuales es posible tener una visión más amplia de dicho movimiento.

El hinchamiento máximo (numéricamente equivalente también a la contracción máxima) tiene su mejor utilidad para efectos de cálculos teóricos de hinchamiento o contracción parcial en el intervalo de contenido de humedad del 0 a 30 %, según sea el caso, mediante la ecuación sugerida por Glass y Zelinka (2010), principalmente porque en muy pocos usos prácticos la madera suele ser utilizada en un CH por arriba del Punto de Saturación de la Fibra (PSF) o en un estado anhidro.

El hinchamiento diferencial representa el cambio porcentual que ocurre en la madera por cada 1 % de modificación en su contenido de humedad, dentro del intervalo de humedad relativa del aire del 35 al 85 %, donde se ubican la mayoría de los usos prácticos de la madera, lo que por consecuencia hace que este índice tenga una gran relevancia; y puede utilizarse para calcular el cambio dimensional (tolerancias) en manufacturas como pisos, puertas, ensamblajes, etc., ya sea que se trate de incrementos de contenido de humedad (hinchamiento) como de decrementos (contracción).

Por su parte, la contracción normal por secado (β_N) representa el cambio dimensional de la madera de un estado de contenido de humedad igual o mayor al 30 % a un contenido de humedad final de 12 %. Su utilidad práctica estriba en que permite determinar el cambio dimensional porcentual que ocurre en la madera (espesor o ancho de las tablas) por efecto del proceso de secado, con lo cual se estima la sobredimensión (refuerzo) para asegurar las dimensiones comerciales de las piezas de madera a causa de su contracción.

La anisotropía es un término convencional que resulta del cociente del movimiento tangencial y radial de la madera (T/R); puede ser calculado por medio de cualquiera de los diversos índices de hinchamiento y contracción, y su valor suele fluctuar entre 1.5 a 2.5, e incluso en casos extremos hasta 3. La importancia de este cociente es que hace posible visualizar, de manera teórica, la estabilidad dimensional de las maderas; de forma general se establece que a mayor valor de la anisotropía, aumenta el riesgo de distorsiones o agrietamientos o de manufacturas por cambio en su contenido de humedad. Para calificar la estabilidad dimensional de la madera, Silva *et al.* (2010) establecieron cuatro niveles cualitativos: muy buena (< 1.7), buena (1.7 a 2.1), regular (>2.1 a 2.5) y mala (>2.5).

The maximum swelling (numerically equivalent to the maximum shrinkage) has its best use for swelling or partial shrinkage theoretical calculations in the interval of humidity content from 0 to 30 %, if such case, by using the equation suggested by Glass and Zelinka (2011), mainly because in very few practical uses, timber is used in a MC over the Saturation Point of Fiber (PSF for its acronym in Spanish) or in an anhydrous state.

Differential swelling is the percentage change that occurs in timber for every 1 % of change of its moisture content, within the interval of relative air humidity from 35 to 85 %, where most of the practical uses of wood are found, which, as a consequence, makes this index a very important one. This index can be used to determine the dimensional change (tolerances) in manufactures such as floors, doors, assemblages, etc., since if it is about moisture content increments (swelling) as of decreases (shrinkage).

The normal shrinkage by drying (β_N) on itself represents the dimensional change of wood from a condition in which moisture content is equal or over 30 % to a final moisture content of 12 %. Its practical utility lies in the fact that it allows the calculation of the dimensional percentage change that occurs in timber (thickness y/o width of the boards) by means of the drying process, with which it is estimated the overdimension (reinforcement) to guarantee the commercial dimensions of the wooden pieces due to their shrinkage.

Anisotropy is a conventional term that comes from the quotient of the tangential and radial movement of timber (T/R); it may be determined by any of the swelling and shrinkage indexes, and its value tends to fluctuate between 1.5 and 2.5, and even, in extreme cases, up to 3. The importance of this quotient is that it makes it possible to see in a theoretical way, the dimensional stability of timber; in a general way, it establishes that at a greater anisotropy value, a greater risk of distortions or cracking on manufactures from changes in moisture content. To grade the dimensional stability of wood, Silva *et al.* (2010) established four qualitative levels: very good (< 1.7), good (1.7 a 2.1), regular (>2.1 a 2.5) and bad (>2.5).

Primavera (*Roseodendron donnell-smithii* Rose) and *Rosa morada* (*Tabebuia rosea* Bertol) have been traditionally used in forest industry, mainly because of its attractive look, and empirically, for making furniture, doors, windows, wall covers, veneer, cabinets, moldings, music instruments and decoration pieces (Francis, 1989; Escobar *et al.*, 1993). However, there are only a few reports about some of their technological properties and one of these studies refers to the dimensional movement as part of a broader research project.

The aim of this work was to find out the dimensional stability profile with which the professional users of these species may determine its potential wooden use in extreme climatic changes and



Las maderas de Primavera (*Roseodendron donnell-smithii* Rose) y Rosa morada (*Tabebuia rosea* Bertol) tradicionalmente han sido empleadas en la industria forestal, por su atractivo visual, y de manera empírica para la fabricación de muebles, puertas, ventanas, lambrines, chapas, gabinetes, molduras, instrumentos musicales y artículos decorativos (Francis, 1989; Escobar *et al.*, 1993). Sin embargo, solo existen trabajos aislados acerca de algunas de sus propiedades tecnológicas y uno de ellos es el estudio de su movimiento dimensional como parte de un proyecto más amplio de investigación.

El objetivo del presente trabajo fue indagar el perfil de estabilidad dimensional con lo cual, los usuarios profesionales de estas especies de madera puedan determinar su potencialidad de uso en ambientes de cambios climáticos extremos, e incluso, desde su proceso de secado visualicen su posible comportamiento y riesgos de distorsiones. Además, puedan calcular tolerancias en las dimensiones de manufacturas y los refuerzos correspondientes para el aserrío de las mismas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las maderas de Primavera y Rosa morada fueron recolectadas en el estado de Chiapas. De cada especie se obtuvieron 6 trozas con diámetros promedio mayores a 50 cm y que fueron tomados de los primeros 2.4 m de altura del fuste de cada árbol.

Cada una de las trozas fue aserrada de acuerdo al diagrama de la Figura 1a; resultaron tabloncillos de 3 pulgadas de espesor orientados radialmente, las cuales corresponden a las numeraciones de 1, 2, 3 y 4; cada una de ellas fue seccionado en tres tramos de 90, 75 y 75 cm, respectivamente, indicadas como "A", "B" y "C" en la Figura 1b. El extremo de la sección A se refiere al diámetro normal (DN), a partir del cual se procedió a elaborar los especímenes de prueba para determinar la estabilidad dimensional de las maderas.

Cada uno de los tabloncillos de la sección A (1, 2, 3, 4) fue dividido en función del eje radial, en tres zonas denominadas de la siguiente forma: I = interna, cercana a la médula; M = media; X = externa, cercana a la periferia (Figura 1c), con lo cual se pretendió reconocer una posible influencia de la zona de muestreo sobre la densidad y estabilidad dimensional. Debido a la excentricidad y configuración de zonas de crecimiento de las trozas, en algunos casos, el ancho de los tabloncillos solo permitió obtener las zonas I y X.

Con cada una de las zonas (I, M, X) se elaboraron 2 especímenes de prueba de 25 x 25 x 10 mm libres de defectos y cuyos anillos de crecimiento estaban perfectamente orientados con base en las especificaciones de la norma DIN 52 184 (DIN, 2000). Por lo anterior, se manufacturaron 24 especímenes por árbol, lo que dio un total de 144 especímenes de madera por especie. Para el caso de esta investigación se determinaron

even, from their drying process, they can foresee their possible behavior and distortion risks. In addition, it might help them to work out tolerances in the dimensions of manufactures and the reinforcements for their sawing.

MATERIALS AND METHODS

Primavera and *Rosa morada* timbers were collected at Chiapas state. For each species, six logs were obtained with average diameters over 50 cm and that were taken from the first 2.4 m high from the stem of each tree.

Each one of the logs was sawn according to the diagram of Figure 1a; this resulted in 3 inch thick boards radially oriented, which belong to numbers 1, 2, 3 and 4; every one of them was divided into three 90, 75 y 75 cm pieces respectively identified as "A", "B" and "C" in Figure 1b. The extreme of A section refers to normal diameter (DN) from which test specimens to determine dimensional stability of woods were made.

Each one of the boards of A section (1, 2, 3, 4) was divided according to the radial axis, into three zones named as follows: I = internal, near to the core; M = medium; X = external, near to the fringe (Figure 1c), with which it was planned to acknowledge a possible influence of the sampling zone upon density and dimensional stability. From the eccentricity and configuration of the growth zones of the logs, in some cases, the width of the boards allowed only to obtain the I and X zones.

With each of the zones (I, M, X), two test specimens were made; each one was 25 x 25 x 10 mm free of any defects and with the growth rings perfectly oriented as the DIN 52 184 (DIN, 2000) specifies. For all the above, 24 specimens by tree were made, which produced a total number of 144 specimens of wood by species. For this particular study the following indexes were determined: maximum swelling (α_{max}), differential swelling (q), normal shrinkage from drying (β_N) and their anisotropies: of maximum swelling ($A\alpha_{max}$), of differential swelling (A_q) and of normal shrinkage from drying ($A\beta_N$) which are of the greatest practical importance in timber use.

The experimental procedure to calculate the dimensional movement of timbers is shown in Figure 2. At first the radial, tangential and longitudinal dimensions of the test specimens as well as their corresponding green state; later they were sequentially conditioned until a constant weight was accomplished under climates with relative air humidity of 65, 85, 35 and 0 % and water immersion until a CH>30 % was achieved. In every one of each stage, once the moisture content in equilibrium is accomplished, their dimensions are put into record.

At the end of the process to determine density and the data required for the calculation of maximum swelling (α_{max}), differential swelling (q), normal shrinkage from drying (β_N) and

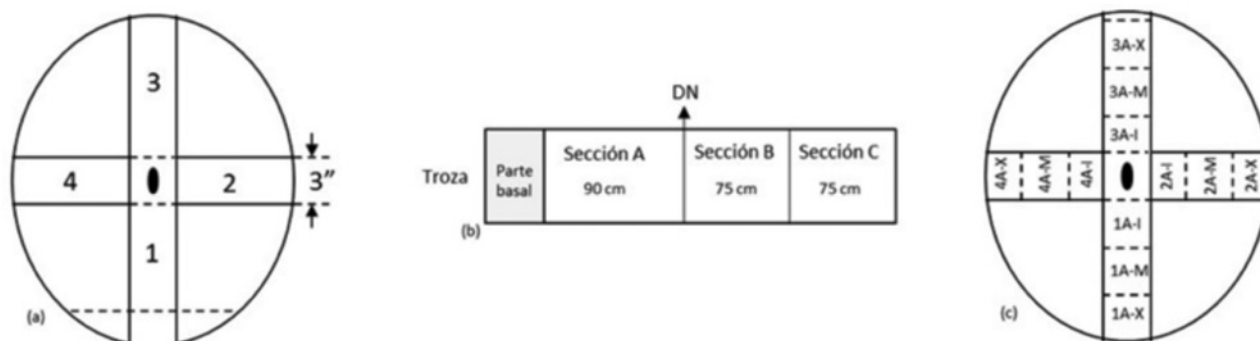


Figura 1. (a) Esquema del aserrío de las trozas de Primavera y Rosa morada en tablonés (1, 2, 3, 4). (b) Seccionamiento de cada tablón aserrado previamente. (c) División de los tablonés en función del eje radial en tres zonas: I = interna, M = intermedia, X = periferia o externa.

Figure 1. (a) Sawing scheme of the *Primavera* and *Rosa morada* logs into boards (1, 2, 3, 4). (b) Sectioning of each board previously sawn. (c) Division of the boards according to the radial axis into three zones: I = internal, M = medium, X = external.

los siguientes índices: de hinchamiento máximo (α_{max}), de hinchamiento diferencial (α_q), de contracción normal por secado (β_N) y sus anisotropías: de hinchamiento máximo ($A\alpha_{max}$), de hinchamiento diferencial ($A\alpha_q$) y de la contracción normal por secado ($A\beta_N$) que son los de mayor importancia práctica en el uso de la madera.

El procedimiento experimental para calcular el movimiento

their anisotropies (A): maximum swelling anisotropy ($A\alpha_{max}$), differential swelling anisotropy ($A\alpha_q$) and normal shrinkage from drying anisotropy ($A\beta_N$) which are the most important in practice in the use of timber and which, finally it is possible to describe its dimensional stability profile as well as its potential use in environments where contrasting relative air humidity changes occur.

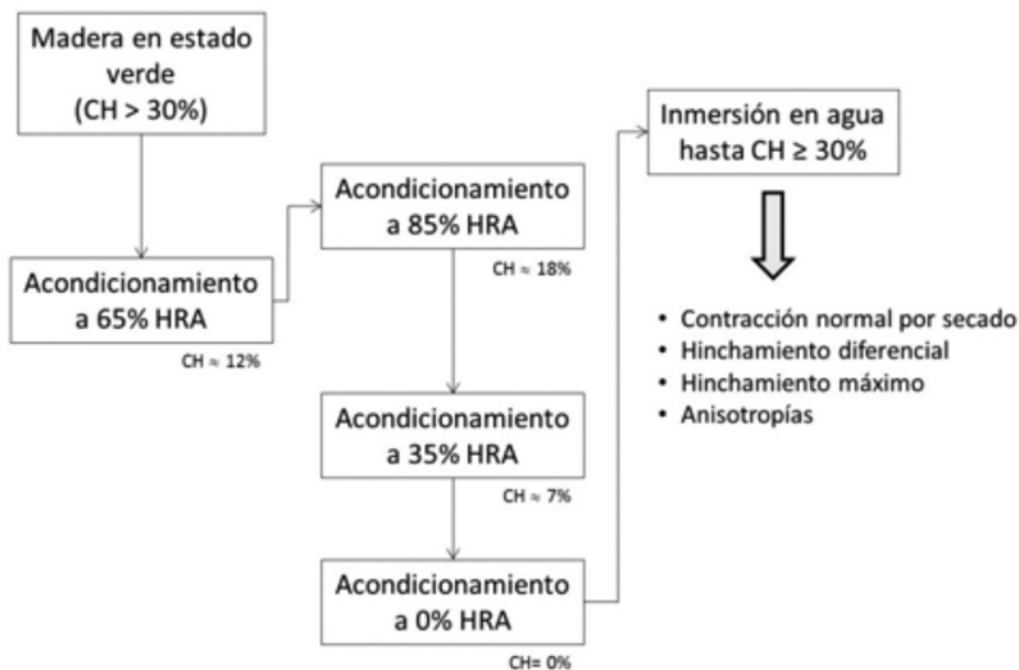


Figura 2. Diagrama del procedimiento experimental para determinar el movimiento dimensional de la madera, de acuerdo a la norma DIN 52 184.

Figure 2. Diagram of the experimental procedure to determine the dimensional movement of wood, according to the DIN 52 184 norm.

dimensional de las maderas se muestra en la Figura 2. Inicialmente se registraron las dimensiones radial, tangencial y longitudinal de los especímenes de prueba, así como su respectivo peso en estado verde; a continuación se acondicionaron secuencialmente hasta alcanzar un peso constante en climas de humedades relativas del aire de 65, 85, 35 y 0 % e inmersión en agua hasta alcanzar un CH > 30 %. En cada una de esas etapas, una vez alcanzado su contenido de humedad en equilibrio, se registraron también sus dimensiones.

Al final del proceso se obtuvieron los datos requeridos para calcular la densidad y los índices de hinchamiento máximo ($\alpha_{m\acute{a}x}$), hinchamiento diferencial (q), contracción normal por secado (β_N) y sus anisotropías (A): anisotropía del hinchamiento máximo ($A\alpha_{m\acute{a}x}$), anisotropía del hinchamiento diferencial (A_q) y anisotropía de la contracción normal por secado ($A\beta_N$) que son los de mayor importancia práctica en el uso de la madera, y con lo cual finalmente es posible dictaminar acerca de su perfil de estabilidad dimensional y de su potencial uso en ambientes de cambios importantes de humedad relativa del aire.

Las expresiones utilizadas para calcular los índices previamente mencionados fueron las siguientes:

Hinchamiento máximo:

$$\alpha_{m\acute{a}x} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Donde

L_i = Dimensión radial o tangencial después de inmersión (CH $\geq$ 30 %) (mm)
 L_0 = Dimensión radial o tangencial en estado anhidro (mm)

Si se desea calcular un hinchamiento intermedio en el intervalo de contenido de humedad del 0 a < 30 % de CH, es posible por medio de la ecuación propuesta por Glass y Zelinka (2010) y adaptada en ese caso para utilizar el hinchamiento máximo de la madera.

Hinchamiento a un contenido de humedad deseado:

$$\alpha_x = \alpha_{m\acute{a}x} \left(1 - \frac{x}{PSF} \right) \quad (2)$$

Donde:

α_x = Hinchamiento a un contenido de humedad deseado (%)
 $\alpha_{m\acute{a}x}$ = Hinchamiento máximo de la madera (%)
 x = Contenido de humedad predeterminado (%)
 PSF = Punto de saturación de la fibra. Puede usarse el valor de 30 %



The expressions used to calculate the indexes previously mentioned were as follows:

Maximum swelling:

$$\alpha_{m\acute{a}x} = \frac{L_i - L_0}{L_0} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

Where:

L_i = Radial or tangential dimension after immersion (CH $\geq$ 30 %) (mm)
 L_0 = Radial or tangential dimension in anhydrous state (mm)

If a medium swelling must be determined in the moisture content interval from 0 to < 30 % it is possible to do it with the equation proposed by Glass and Zelinka (2010) and adapted in this case, to use the maximum swelling of wood.

Swelling at a desired moisture content:

$$\alpha_x = \alpha_{m\acute{a}x} \left(1 - \frac{x}{PSF} \right) \quad (2)$$

Where:

α_x = Swelling at a desired moisture content (%)
 $\alpha_{m\acute{a}x}$ = Maximum swelling of wood (%)
 x = Predetermined moisture content (%)
 PSF = Saturation point of fiber. 30 % can be used as a value.

Differential swelling:

$$q = \frac{L_h - L_s}{L_0 (CH_h - CH_s)} \cdot 100 (\%/%) \quad (3)$$

Where:

L_h = Radial or tangential dimension when adjusted to a humid climate of 85 % HRA (mm)
 L_s = Radial or tangential dimension when adjusted to a dry climate of 35 % HRA (mm)
 L_0 = Radial or tangential dimension in an anhydrous state (mm)
 CH_h = Equilibrium moisture content at 85 % HRA (%)
 CH_s = Equilibrium moisture content at 35 % HRA (%)

The dimensional change (Δl) of a wooden piece (manufacture) can be determined by the differential swelling (q), for the moisture content interval from 7 % to 18 % with the following expression:

Dimensional change:

$$\Delta l = l (CH_2 - CH_1) \cdot \frac{q}{100} (mm) \quad (4)$$

Where:

l = Radial or tangential direction (mm)
 CH_1 = Initial moisture content (%)
 CH_2 = Final moisture content (%)
 q = Differential swelling (%/%)

$$\text{Hinchamiento diferencial: } q = \frac{L_h - L_s}{L_0 (CH_h - CH_s)} \cdot 100 (\%/%) \quad (3)$$

Donde:

- L_h = Dimensión radial o tangencial al acondicionarse a un clima húmedo de 85 % HRA (mm)
- L_s = Dimensión radial o tangencial al acondicionarse a un clima seco de 35 % HRA (mm)
- L_0 = Dimensión radial o tangencial en estado anhidro (mm)
- CH_h = Contenido de humedad de equilibrio a 85 % HRA (%)
- CH_s = Contenido de humedad de equilibrio a 35 % HRA (%)

El cambio dimensional (Δl) de una pieza de madera (manufactura) puede ser calculado mediante el hinchamiento diferencial (q), para el intervalo de contenido de humedad de 7 % a 18 % con la siguiente expresión:

$$\text{Cambio dimensional: } \Delta l = l (CH_2 - CH_1) \cdot \frac{q}{100} \text{ (mm)} \quad (4)$$

Donde:

- l = dirección radial o tangencial (mm)
- CH_1 = Contenido de humedad inicial (%)
- CH_2 = Contenido de humedad final (%)
- q = Hinchamiento diferencial (%/%)

Contracción normal por secado:

$$\beta_N = \beta \frac{L_w - L_N}{L_N} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Donde:

- L_w = Dimensión radial o tangencial inicial (CH>30%) (mm)
- L_N = Dimensión radial o tangencial al acondicionarse a 65 % HR (mm)

Al utilizar el valor de la contracción normal por secado es posible determinar la disminución dimensional del espesor o el ancho de las tablas por efecto del secado, con lo cual es factible sobredimensionar la madera aserrada, para que después del secado mantenga sus dimensiones nominales comerciales:

$$\text{Cálculo de ancho o espesor: } L_{12} = L_i - \left(\frac{L_{12} \cdot \beta_N}{100} \right) \text{ (mm)} \quad (6)$$

Normal shrinkage from drying:

$$\beta_N = \beta \frac{L_w - L_N}{L_N} \cdot 100 (\%) \quad (5)$$

Where:

- L_w = Initial radial or tangential dimension (CH>30 %) (mm)
- L_N = Initial radial or tangential dimension when adjusted to 65 % HR (mm)

When using normal shrinkage by drying number it is possible to determine the dimensional reduction of thickness or width of boards by effect of drying, with which it can be possible to overdimension sawn wood, so that, after drying, they keep their nominal commercial size.

$$\text{Calculation of thickness or width: } L_{12} = L_i - \left(\frac{L_{12} \cdot \beta_N}{100} \right) \text{ (mm)} \quad (6)$$

Where:

- L_{12} = Thickness or width of a wooden piece at CH = 12 % (cm)
- L_i = Thickness or width of a wooden piece at CH $\geq$ 30 % (cm)
- β_N = Normal shrinkage from drying (radial o tangential, according to each particular case, even the average of both if it is piece with in-between orientation) (%)

$$\text{Maximum shrinkage anisotropy: } A\alpha = \frac{\alpha_{\max,t}}{\beta\alpha_{\max,r}} \quad (7)$$

Where:

- $\alpha_{\max,t}$ = Maximum tangential swelling (%)
- $\alpha_{\max,r}$ = Maximum radial swelling (%)

$$\text{Differential swelling anisotropy: } A_q = \frac{q_t}{q_r} \quad (8)$$

Where:

- q_t = Tangential differential swelling (%/%)
- q_r = Radial differential swelling (%/%)

$$\text{Normal shrinkage from drying anisotropy: } A_\beta = \frac{\beta_{Nt}}{\beta_{Nr}} \quad (9)$$

Where:

- β_{Nt} = Normal shrinkage from tangential drying (%)
- β_{Nr} = Normal shrinkage from radial drying (%)



Donde:

L_{12} = Ancho o espesor de la pieza de madera a un CH = 12 % (cm)

L_i = Ancho o espesor de la pieza de madera a un CH ≥ 30 % (cm)

β_N = Contracción normal por secado (radial o tangencial, según el caso, incluso promedio de ambas, si se trata de una pieza con orientación intermedia) (%)

Anisotropía del hinchamiento máximo:
$$A\alpha = \frac{\alpha_{máx,t}}{\beta\alpha_{máx,r}} \quad (7)$$

Donde:

$\alpha_{máx,t}$ = Hinchamiento máximo tangencial (%)

$\alpha_{máx,r}$ = Hinchamiento máximo radial (%)

Anisotropía del hinchamiento diferencial:
$$A_q = \frac{q_t}{q_r} \quad (8)$$

Donde:

q_t = Hinchamiento diferencial tangencial (%/%)

q_r = Hinchamiento diferencial radial (%/%)

Anisotropía de la contracción normal por secado:
$$A_\beta = \frac{\beta_{Nt}}{\beta_{Nr}} \quad (9)$$

Donde:

β_{Nt} = Contracción normal por secado tangencial (%)

β_{Nr} = Contracción normal por secado radial (%)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad

La densidad promedio de las maderas a un contenido de humedad de 12 % fue de 0.476 g cm⁻³ con un coeficiente de variación de 10.6 % para la Primavera y de 0.596 g cm⁻³ para Rosa morada con un coeficiente de variación de 7.1 %, cifras que las clasifican como de baja y media densidad de acuerdo a los criterios propuestos por el *Oxford Forestry Institute* en la base de datos Prospect ver. 2.1 (1997).

Si bien los coeficientes de variación se ubican dentro del intervalo conocido para la densidad de maderas (Kretschman, 2010), el análisis de la variación respecto a lo largo del radio mostró en ambas especies una ligera tendencia a incrementar la densidad de la zona interna (I) con respecto a la externa (X), con una diferencia estadística solo en la madera de Primavera (P<0.05), como se muestra en la Figura 3.

RESULTS AND DISCUSSION

Density

The average density of woods at a moisture content of 12 % was 0.476 g cm⁻³ with a variation coefficient of 10.6 % for *Primavera* of 0.596 g cm⁻³ for *Rosa morada* with a variation coefficient of 7.1 %, numbers that classify it as low and medium density according to the criteria proposed by the *Oxford Forestry Institute* in Prospect ver. 2.1 (1997) data base.

Even when the variation coefficients are within the known interval for timber density (Kretschman, 2010), the variation analysis in regard to the length of the radius showed in both species a light tendency to increase the density of the internal zone (I) compared to the external (X), with a statistical difference only in the wood of *Primavera* (P<0.05), as shown in Figure 3.

Swelling and shrinkage indexes

In Table 1 are listed the maximum swelling index (α_{max}), volume swelling (α_{vol}), differential swelling (q) and normal shrinkage from drying (β_N). The maximum swelling both, for *Primavera* and *Rosa morada* timber, is classified as small, based upon the scale suggested by Prospect ver. 2.1 (1997); therefore, also its volumetric swelling is low. Compared to other commercial timbers such as that from *Alnus jorullensis* Humboldt, Bonpland & Kunth, *Calophyllum brasiliense* Calambess, *Pinus douglasiana* Martínez analyzed by Silva *et al.* (2010), resulted lower in 2, 1.8 and 3.6 percentage units, respectively. Francis (1983) referred total shrinkage numbers (equivalent to maximum swelling) for *Primavera* wood of 3.1 % radial and 5.2 % tangential. For *Rosa morada* wood, Escobar (1993) registered values of 4.6 % radial and 6.9 % tangential. Even the maximum swelling was not very evident, it was higher than that of Blanco *et al.* (2014) of 2.4 % radial and 4.2 % tangential for *Tectona grandis*, which is acknowledged from its low dimensional movement, which allows to visualize that the timbers of *Primavera* and *Rosa morada* do not achieve that same distinction level.



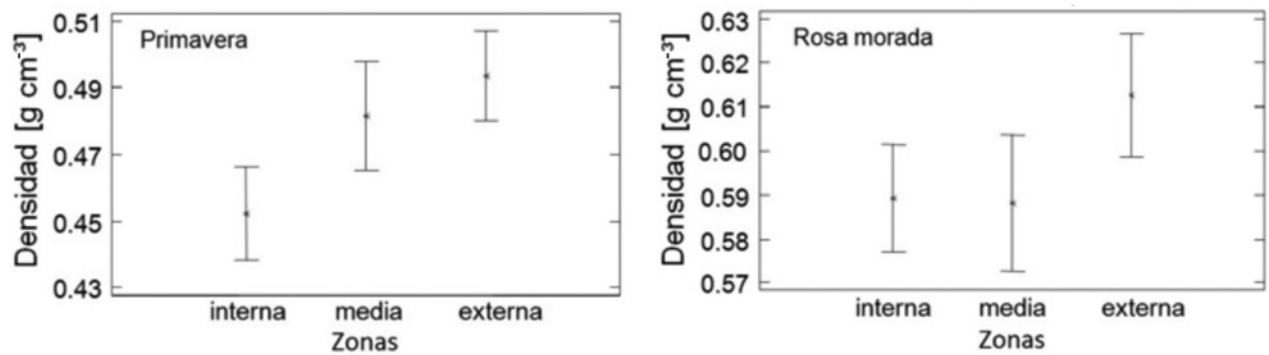


Figura 3. Variación de la densidad promedio de las maderas a lo largo del radio e intervalos a un nivel de confianza de 95 %.
Figure 3. Variation in the average density of woods along the radius and intervals at a 95 % confidence level.

Índice de hinchamiento y contracción

En el Cuadro 1 se ordenan los índices de hinchamiento máximo (α_{max}), hinchamiento volumétrico (α_{vol}), hinchamiento diferencial (α) y contracción normal por secado (β_N). El hinchamiento máximo tanto de la madera de Primavera como de Rosa morada se ubica en una clasificación de pequeño con base en la escala sugerida en Prospect ver. 2.1 (1997); por consiguiente también su hinchamiento volumétrico es bajo. En comparación con otras maderas comerciales como la de *Alnus jorullensis* Humboldt, Bonpland & Kunth, *Calophyllum brasiliense* Calambess, *Pinus douglasiana* Martínez consignadas por Silva *et al.* (2010), resultó menor en 2, 1.8 y 3.6 unidades porcentuales, respectivamente. Francis (1983) refiere valores de contracción total (equivalentes a hinchamiento máximo) para madera de Primavera de 3.1 % radial y 5.2 % tangencial. Para la madera de Rosa morada, Escobar (1993) registró valores de 4.6 % radial y 6.9 % tangencial. Si bien el hinchamiento máximo fue poco evidente, fue superior al consignado por Blanco *et al.* (2014) de 2.4 % radial y 4.2 % tangencial para madera de teca (*Tectona grandis*), la cual es reconocida por su bajo movimiento dimensional, lo que permite visualizar que las maderas de Primavera y Rosa morada no alcanzan ese nivel de distinción.

In spite of the practical importance to know the differential swelling of wood, for calculating endings of the dimensional change of manufactures and tolerances determination, there are few papers that describe this property, maybe because most of the determinations of dimensional change of timber are made according to the ASTM D 143-94 (ASTM, 2007) or ISO 4469 (ISO, 1981) regulation. The values that were studied for *Primavera* and *Rosa morada* timbers (Table 1) can be placed in a middle point in regard to those recorded by Cuevas (1988) for 23 wooden species with very light to very heavy densities, where the minimum and maximum ciphers were from 0.08 to 0.23 (%%) and from 0.13 to 0.48 (%%) for the radial and tangential, respectively. Compared to the differential swelling of mahogany (*Swietenia macrophylla* King) wood reported by Torelli and Gorisek (1995) of radial and 0.26 tangential (%%), that of *Primavera* and *Rosa morada* wood are rather similar, which makes it possible to predict a stable behavior of manufactures against changes in the relative air humidity between 35 and 85 %. Obviously, factors such as fiber direction and moisture absorption must be taken into account as well.

Cuadro 1. Índices de hinchamiento y contracción de las maderas de Primavera y Rosa morada.
Table 1. Swelling and shrinkage indexes of *Primavera* and *Rosa morada* timbers.

Maderas	Hinchamiento					Contracción normal	
	máximo		volumétrico	diferencial			
	Rad	Tang		Rad	Tang	Rad	Tang
	(%)	(%)	(%)	(%/%)	(%)	(%)	
Primavera	3.3	6.2	9.5	0.14	0.24	1.3	2.5
Rosa morada	3.0	6.2	9.2	0.15	0.29	0.9	1.8



A pesar de la importancia práctica de conocer el hinchamiento diferencial de la madera, para efecto de cálculos de cambio dimensional de manufacturas y determinación de tolerancias, existen pocos trabajos que describan esta propiedad, esto pudiera atribuirse, quizás, a que la mayoría de las determinaciones de cambio dimensional de la madera son realizadas con la norma ASTM D 143-94 (ASTM, 2007) o ISO 4469 (ISO, 1981). Los valores investigados para las maderas de Primavera y Rosa morada (Cuadro 1) pueden ubicarse en un punto medio con respecto a los registrados por Cuevas (1988) para 23 especies de madera con densidades de muy ligeras a muy pesadas, donde los valores mínimos y máximos fueron del intervalo de 0.08 a 0.23 (%/%) y de 0.13 a 0.48 (%/%) para el radial y tangencial, respectivamente. En comparación con el hinchamiento diferencial de la madera de caoba (*Swietenia macrophylla* King) obtenidos por Torelli y Gorisek (1995) correspondiente a 0.16 radial y 0.26 tangencial (%/%), el de las maderas de Primavera y Rosa morada tienen cierta similitud, lo que permite predecir un comportamiento estable de manufacturas ante cambios de humedad relativa del aire entre 35 y 85 %. Obviamente también deben ser considerados los factores de dirección de fibra y velocidad de absorción de humedad.

La contracción normal por secado para las maderas Primavera y Rosa morada resultó ser muy pequeña de acuerdo a las categorías indicadas en el Prospect ver. 2.1 (1997), principalmente la de la segunda. Los valores correspondientes a la madera de Primavera se muestran muy similares a los de la madera de teca de 1.2 % radial y 2.3 % tangencial (Blanco *et al.*, 2014), así como ligeramente mayores con respecto a los de la madera de caoba de 1.2 % radial y 2.1 % tangencial. La madera de Rosa morada tuvo valores ligeramente inferiores a los de la caoba y la teca.

El muy bajo movimiento dimensional de ambas maderas al reducir su contenido de humedad del estado verde a 12 %, aunado a bajos valores de anisotropía ($T/R = 1.7, 2.0$), reduce el riesgo de distorsiones durante el proceso de secado, lo cual es un indicador de buena estabilidad dimensional de las maderas.

Anisotropías y estabilidad dimensional

El Cuadro 2 reúne los valores de las anisotropías de las maderas de Primavera y Rosa morada determinadas a partir del hinchamiento máximo, hinchamiento diferencial y contracción

The normal shrinkage from drying for the woods of *Primavera* and *Rosa morada* was very small, according to the categories indicated in Prospect ver. 2.1 (1997), the second one in particular. The corresponding values for *Primavera* look very similar to those of teak wood, 1.2 % radial and 2.3 % tangential (Blanco *et al.*, 2014), as well as lightly over, compared to that of mahogany of 1.2 % radial and 2.1 % tangential. *Rosa morada* wood had lightly lower numbers than those of mahogany and teak.

The very low dimensional movement of both woods when the moisture content is reduced from the green state to a 12 % in addition to the low anisotropy ($T/R = 1.7, 2.0$), allows a low risk of distortions during the drying process, which indicates good dimensional stability of timbers.

Anisotropies and dimensional stability

Table 2 orders the anisotropy values of *Primavera* and *Rosa morada* woods, determined from maximum swelling, differential swelling and normal contraction from drying. Those from 1.7 and 2.1 belong to timbers of good dimensional stability (Silva *et al.*, 2010). Based on those numbers, both woods show good dimensional stability on the face of changes of that sort as they pass from a dry state to one of saturation or the other way around; good dimensional stability of manufactures of these woods when changes of moisture content occur between 7 % a 18 %, and good dimensional stability during the drying process to which they are subjected.



normal por secado. Los de anisotropía de 1.7 a 2.1 corresponden a maderas consideradas como de buena estabilidad dimensional (Silva *et al.*, 2010). Con base en dichas cifras, ambas maderas presentarán buena estabilidad dimensional frente a cambios de ese orden al pasar de un estado seco al de saturación, o viceversa; buena estabilidad dimensional de manufacturas de estas maderas ante cambios de su contenido de humedad de 7 % a 18 %, y buena estabilidad dimensional durante el proceso de secado a que sean sometidas.

Cuadro 2. Anisotropías y estabilidad dimensional de las maderas de Primavera y Rosa morada.
Table 2. Anisotropies and dimensional stability of *Primavera* and *Rosa morada* woods.

Maderas	Anisotropía del			Estabilidad dimensional general
	Hinchamiento máximo	Hinchamiento diferencial	Contracción por secado	
Primavera	1.9	1.7	2.0	Buena
Rosa morada	2.1	2.0	2.1	Buena

Variación del movimiento dimensional

La variación del movimiento dimensional a lo largo del radio (zonas I, M, X) de las maderas de Primavera y Rosa morada, no mostró un patrón tan definido como lo aseveran Peng *et al.* (2012) para para *jackpine* (*Pinus banksiana* Lamb.), en el cual el movimiento dimensional tiende a incrementarse notoriamente de la médula a la corteza, lo que Kretschmann y Kramer (2007) atribuyen a efectos multifactoriales como el ángulo de las microfibrillas, la densidad, proporción y propiedades de la madera tardía y la composición química, entre otras razones.

Variation of the dimensional movement

The variation in the dimensional movement along the radius (I, M, X zones) of *Primavera* and *Rosa morada* wood showed a very well defined pattern as Peng *et al.* (2012) sate it for *Jackpine* (*Pinus banksiana* Lamb,) in which this motion tends to increase notoriously from the core to the bark, a fact that Kretschmann and Kramer (2007) ascribe to the angle of the microfibers, the density, proportion and properties of late wood and the chemical composition, among other reasons.

For *Primavera* timber, the increment in the internal zone (I) to the external zone (X) was significant for the maximum radial swelling ($P = 0.033$) and for the differential radial swelling ($P = 0.001$) as the mean and their intervals are shown in Figure 4. No statistical significant increment was observed for the tangential direction ($P = 0.400$, $P = 0.262$) or for the normal shrinkage from drying ($P = 0.214$).

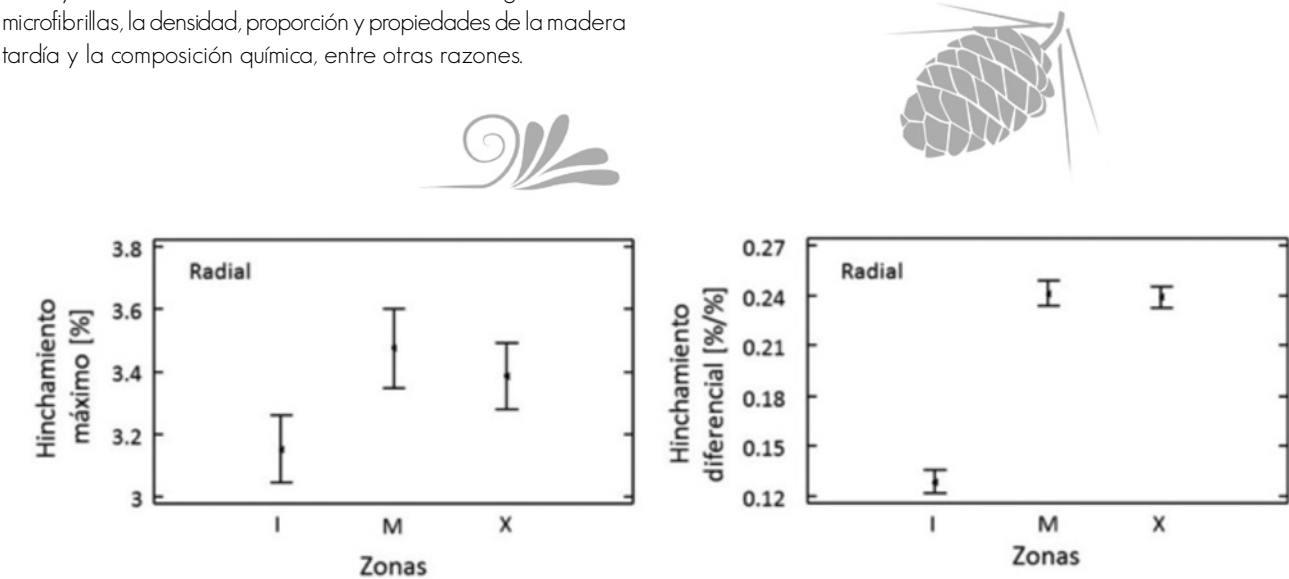


Figura 4. Variación de promedios de hinchamiento máximo radial e hinchamiento diferencial radial a lo largo del radio, e intervalos aun nivel de confianza de 95% en madera de Primavera.
Figure 4. Variation of the average numbers of maximum radial and differential radial swelling along the radius, and intervals at a 95 % confidence level in *Primavera* wood.

Para la madera de Primavera, el incremento de la zona interna (I) a la zona externa (X) resultó significativo solo para el hinchamiento máximo radial ($P = 0.033$) y para el hinchamiento diferencial radial ($P = 0.001$) como se muestra en los gráficos de medias y sus intervalos de la Figura 4. No se observó incremento estadísticamente significativo para la dirección tangencial ($P = 0.400$, $P = 0.262$) ni tampoco para la contracción normal por secado ($P = 0.214$).

Respecto a la madera de Rosa morada solo se verificó aumento significativo de la zona interna (I) a la externa (X) en el hinchamiento máximo radial ($P = 0.003$) y en el hinchamiento diferencial ($P < 0.05$) como se muestra en los gráficos de medias y sus intervalos de la Figura 5. La variación de la contracción normal por secado no fue estadísticamente significativa ($P = 0.634$, $P = 0.466$).

In regard to the *Rosa morada* wood, there was found only a significant increase from the internal (I) to the external (X) zone in the maximum radial swelling ($P = 0.003$) and in the differential swelling ($P < 0.05$) as shown in the graphics of their mean and their intervals (Figure 5). The variation in the normal shrinkage by drying was not statistically significant ($P = 0.634$, $P = 0.466$).

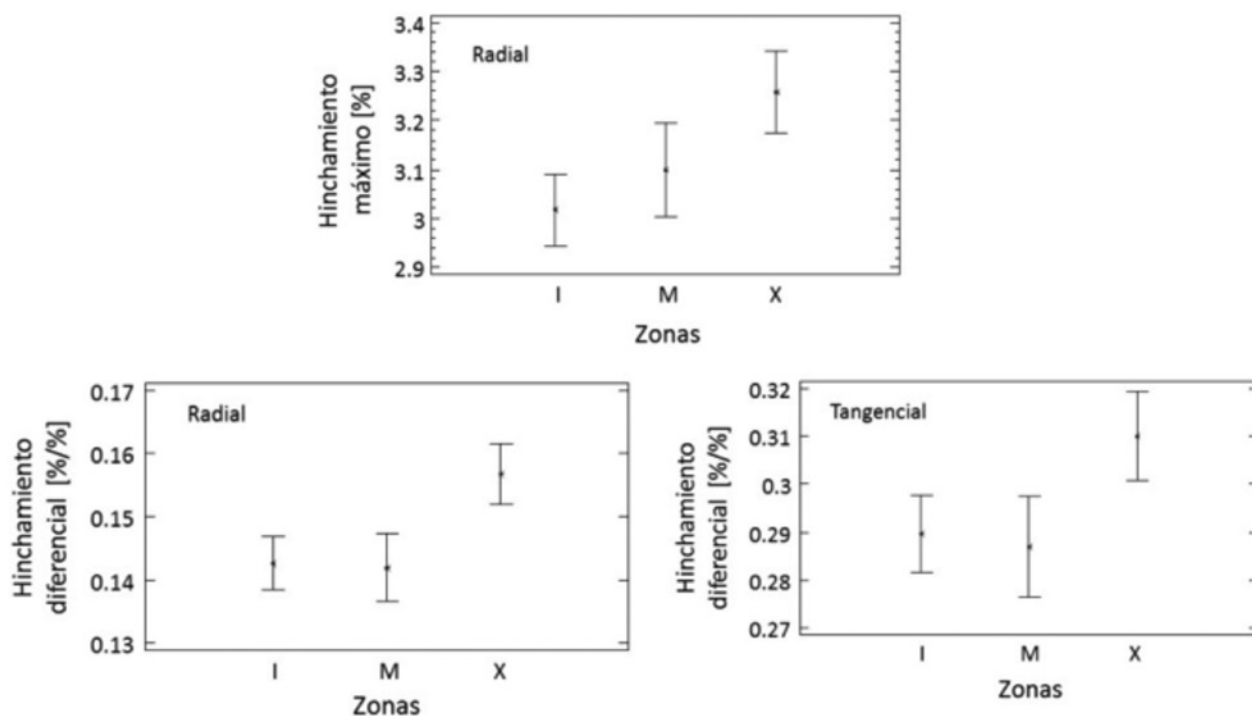


Figura 5. Variación de promedios de hinchamiento máximo radial e hinchamiento diferencial a lo largo del radio, e intervalos para un nivel de confianza de 95% en madera de Rosa morada.

Figure 5. Variation of the average numbers of maximum radial and differential radial swelling along the radius, and intervals at a 95 % confidence level in Rosa morada wood.



CONCLUSIONES

Las maderas de Primavera y Rosa morada resultaron con movimiento dimensional pequeño y muy pequeño con base a su hinchamiento máximo y contracción normal por secado, respectivamente.

Los valores de anisotropía de ambas maderas permiten considerarlas de buena estabilidad dimensional frente a movimientos dimensionales que puedan ocurrir durante el proceso de secado o en el uso práctico de sus manufacturas.

El hinchamiento máximo radial y el hinchamiento diferencial radial se incrementaron a lo largo del radio (médula a corteza) en la madera de Primavera. Para la madera de Rosa morada, el aumento se observó en el hinchamiento máximo radial e hinchamiento diferencial radial y tangencial.

AGRADECIMIENTO

A la International Tropical Timber Organization por el apoyo del proyecto ITTO PD385/O5 Rev. 4 (I, F), Industrialización, Comercialización y Manejo Sostenible de Diez Especies Nativas Mexicanas.

REFERENCIAS

- American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM). 2007. ASTM 143-94. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Annual Books of ASTM Standards. Section four: Construction. Wood Vol. 4.10. pp. 20 - 51.
- Blanco F., J., Fernando T. P., J. Tarciso L., P. R. Gherardi H. y J. R. Moreira da Silva. 2014. Caracterización de la madera joven de *Tectona grandis* Lf. plantada en Brasil. *Madera y Bosques* 20(1): 11-20.
- Cuevas D., H. R. 1988. Un criterio de selección y consideraciones de uso de la madera en construcción. *Bosque* 9(2): 71-76.
- Deutsches Institut für Normung (DIN). 2000. DIN 52 184. Prüfung von Holz. Bestimmung der Quellung und Schwindung. DIN-Taschenbuch 31. Normen für Holz. DIN Deutsches Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH. Berlin, Deutschland. pp. 61-64.
- Escobar, C., O., J. R. Rodríguez y J. A. Correa. 1993. Las maderas de Colombia - fichas técnicas. Universidad Nacional de Colombia - SENA. <http://www.unalmed.edu.co/~lpforest/html/fichastecnicas.html>. (1 de julio de 2014).
- Forest Products Management Development Institute. 1998. The nature of wood and wood products. University of Minnesota and The Forest Products Management Development Institute. Minneapolis, MN. USA. CD. Rom. s/p.
- Francis, J. K. 1989. *Tabebuia donnell-smithii* Rose. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station. SO-ITF-SM-25. New Orleans, LA. USA. 4 p.
- Glass, S. V. and S. L. Zelinka 2010. Moisture relations and physical properties of wood. Chapter 4. In: Wood Handbook. Wood as an engineering material. Forest Products Society. Madison, WI. USA. pp. 1 - 19.

CONCLUSIONS

Primavera and *Rosa morada* timbers revealed a small and very small dimensional movement based upon its maximum swelling and normal shrinkage by drying, respectively.

The anisotropy numbers of both woods suggests that they have good dimensional stability against dimensional movements that might take place during the drying process or in the practical use of their manufactures.

The maximum radial and differential radial swelling increased along the radius (core to bark) in *Primavera* wood. In *Rosa morada*, the increment was observed in the maximum radial swelling and in the differential radial and tangential swelling.

ACKNOWLEDGEMENTS

To the International Tropical Timber Organization for having sponsored the ITTO PD385/O5 Rev. 4 (I, F), Industrialization, Commercialization and Sustainable Management of Ten Native Mexican Species project.

End of the English version

- International Organization for Standardization (ISO). 1981. ISO 4469. Determination of radial and tangential shrinkage. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 2 p.
- Kretschmann, D. E. 2010. Mechanical properties of wood. In: Wood as an engineering material. Wood Handbook. Chapter 5. Forest Products Society. Madison, WI. USA. pp. 1 - 46.
- Kretschmann, D. E. and S. M. Kramer 2007. The role of earlywood and latewood properties on dimensional stability of loblolly pine. In: Proceedings of the compromised wood workshop. 2007. January 29-30; Wood Technology Research Centre, School of Forestry, University of Canterbury. Christchurch, New Zealand. pp. 215-236.
- Oxford Forestry Institute. 1997. Prospect. The Wood Database. Version 2.1. Oxford, UK. s/p.
- Peng, M., Y. Ch. Ho, W. Ch. Wang, Y. H. Chui and M. Gong. 2012. Measurement of wood shrinkage in Jack pine using three dimensional digital image correlation (DIC). *Holzforschung* 66: 639-643.
- Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. A. Torres A., R. Lomelí M. G., Q. Ramos J., C. Waitkus y H. G. Richter 2010. Fichas de propiedades tecnológicas y usos de maderas nativas de México e importadas. Amaya Ediciones. Guadalajara, Jal., México. 207 p.
- Suchsland, O. 2004. The swelling and shrinking of wood. A practical technology primer. Forest Products Society. Madison, WI. USA. 189 p.
- Torelli, N. and Z. Gorisek. 1995. Mexican tropical hardwoods - dimensional stability. *Holz als Roh- und Werkstoff* 53: 277-280.

