

VARIACIÓN RADIAL DE LA DENSIDAD BÁSICA EN *Pinus patula* Schltdl. et Cham. DE TRES LOCALIDADES EN HIDALGO

RADIAL VARIATION OF BASIC DENSITY IN *Pinus patula* Schltdl. et Cham. IN THREE LOCATIONS FROM HIDALGO STATE

José Rodolfo Goche Télles¹, Alejandro Velázquez Martínez²; Amparo Borja de la Rosa³, Juan Capulín Grande¹ y Celina Palacios Mendoza¹

RESUMEN

La densidad básica de la madera puede variar ampliamente en un individuo en el sentido radial; esta característica es inherente a la especie o está influenciada por la edad, la forma del árbol, las diferencias genéticas, la velocidad de crecimiento y la historia evolutiva. El presente trabajo aborda dicha variación en *Pinus patula*, proveniente de tres localidades del estado de Hidalgo: El Reparo, Tres Fracciones de Fondones y El Aguaje ubicadas en los municipios de Zacualtipán y Metzquitlán. En cada una de ellas se seleccionaron aleatoriamente 20 árboles, y se obtuvo, con el taladro de Pressler, un cilindro de madera de 12 mm de diámetro, a una altura de 1.30 m del fuste para determinar la densidad básica por anillo de crecimiento, mediante el método de máximo contenido de humedad. Para el análisis de los datos, se aplicó un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.5$). Se probaron los modelos estadísticos que mejor se ajustaron a las tendencias presentadas por la densidad básica. Los resultados muestran una media general de 0.4602 g cm^{-3} , un valor mínimo de 0.2241 y uno máximo de 0.6856 g cm^{-3} . Se determinó que la densidad básica de *Pinus patula* presenta dos tendencias de variación radial en las tres localidades estudiadas: en la primera se observan incrementos a partir de la médula, en dirección de la corteza, y en la segunda los incrementos van de la médula hasta un punto máximo, para después disminuir al llegar a la corteza.

Palabras clave: Densidad básica, estado de Hidalgo, *Pinus patula* Schltdl. et Cham., propiedades físicas, variación radial, Zacualtipán.

ABSTRACT

Variation of wood density may be very important in radial direction. This variation not only may be related to tree species, but also to tree age and form, genetic differences, growth rates and historic evolution. In this study, the radial variation of wood density for Mexican red pine (*Pinus patula*) from three sites (Ejido el Reparo, Tres Fracciones of Fondones and El Aguaje)- all of them, located in the State of Hidalgo, Mexico- is presented. In each location, 20 trees were randomly selected and wood increment cores with 12 mm in diameter were obtained at 1.3 m height over the stem. Wood density was determined with the maximum moisture content method in each growth ring of the cores. ANOVA and Tukey test were applied. The best fitted models were tested to determine trends of basic density radial variation. Results showed a mean of 0.4602 g cm^{-3} with ranging variation from 0.2241 g cm^{-3} to 0.6856 g cm^{-3} . Wood density variation of Mexican red pine presented two patterns of radial variation in the three locations, the first one increases from the pith to the bark and the second one, also increases from the pith up to a maximum and then decreases when it reaches the bark.

Key words: Basic density, Hidalgo State, *Pinus patula* Schltdl. et Cham., physical properties, radial variation, Zacualtipán.

Fecha de recepción: 8 de Febrero de 2010.

Fecha de aceptación: 29 de abril de 2011.

¹ Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Correo e: jgoche@ujed.mx

² Colegio de Postgraduados.

³ División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.

INTRODUCCIÓN

La densidad básica es quizás la propiedad física más estudiada en la madera, por ser la que la caracteriza tecnológicamente en mayor grado, puesto que presenta una acentuada correlación con las otras propiedades físicas y mecánicas (Jovanovski *et al.*, 2002), además de ser el indicador más usado para determinar la calidad de la madera (Zhang, 1997). La densidad provee un índice de calidad de la madera, que se relaciona con las aplicaciones finales e influye directamente en la dureza, en la calidad de la pulpa y en las propiedades del papel (Walker, 1993); es un parámetro a tomar en cuenta en los programas de mejoramiento genético, con vista al mejor uso de las procedencias y para la selección de individuos, dada la gran variación que a nivel individual presenta dicho carácter (Coronel, 1994).

La densidad básica de la madera varía ampliamente dentro de un árbol, desde la médula hacia el exterior o desde la base del tronco hacia la copa (Goche *et al.*, 2000); la variación es inherente a la especie, que la hace diferente a otras, aunque puede estar influenciada por la edad, la forma del árbol, las diferencias genéticas, la velocidad de crecimiento y la historia evolutiva (Kort *et al.*, 1991; Zobel y Talbert, 1994; Valencia, 1994; Pittermann *et al.*, 2006). También es el resultado de factores externos como: la luz, el suelo, la humedad y temperatura, así como de la competencia con otros organismos que forman parte del medio ambiente del árbol, todos ellos afectan su crecimiento y originan variaciones en la madera entre árboles o en piezas del mismo individuo (Jane, 1970; Dalla *et al.*, 2009).

La variación de la densidad básica en sentido radial muestra tres tipos generales o tendencias de comportamiento en la madera de ejemplares maduros. En la tendencia Tipo I, la media de la densidad básica se incrementa de la médula hacia la corteza, aunque puede presentar una línea continua o en forma de curva, donde ésta se achata en la madera madura para exhibir un decremento en las partes exteriores del fuste en árboles viejos; la Tipo II, se caracteriza por una disminución de la densidad básica junto a la médula y su incremento cerca de la corteza; por último, la Tipo III, cuya densidad básica es más alta en la médula que en la corteza y disminuye en cualquiera de las dos formas, como una línea recta o en forma de curva (Panshin y De Zeeuw, 1980).

Con respecto a la tendencia Tipo I se han realizado trabajos en con las siguientes especies: *Pinus patula* Schltdl. et Cham. var. *longepedunculata* Loock in Martínez, *Pinus rudis* Endl., *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus pringlei* Shaw y *Pinus michoacana* Martínez var. *cornuta* Martínez (García, 1984); *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus caribaea* Morelet y *Pinus oocarpa* Shiede (Walker, 1993); *Picea abies* (L)

INTRODUCTION

Basic density is perhaps the most studied physical property of wood, as it technologically describes it better, since it presents a marked correlation with the other physical and mechanical properties (Jovanovski *et al.*, 2002), as well as being the indicator used to determine the quality of the wood (Zhang, 1997). Density provides an index of quality of the wood, which relates to the final applications and directly influences in hardness, pulp quality and the properties of paper (Walker, 1993); it is a parameter to take into account in genetic breeding programs, with a view to the best use of provenances and for the selection of individuals, from the large variation of such character at an individual level (Coronel, 1994).

The basic wood density varies widely within a tree, from the core to the outside or from the base of the trunk to the treetop (Goche *et al.*, 2000); variation is inherent to the species, which makes it different from others, although it can be influenced by age, the shape of the tree, genetic differences, the speed of growth and evolutionary history (Kort *et al.*, 1991; Zobel and Talbert, 1994; Valencia, 1994; Pittermann *et al.*, 2006). It is also the result of external factors such as: light, soil, moisture and temperature, as well as competition with other organisms that are part of the environment of the tree, all of them affect their growth and cause variations in wood between trees or pieces of the same individual (Jane, 1970; Dalla *et al.*, 2009).

The variation of the basic density in radial direction shows three general types or trends of wood behavior in the mature specimens. In trend type I, the average basic density increases from the core to the cortex, even though there might be a continuous or curve line, where it becomes flattened in mature wood to exhibit a decrease in the outer parts of the trunk on old trees; type II is characterized by a decrement of the basic density with the marrow and its increment near the bark; finally, type III, whose basic density is higher in the marrow than in the bark and decreases in either of two forms, as a straight line or in a curve shape (Panshin and De Zeeuw, 1980).

With trend Type I, some work has been done with the following species: *Pinus patula* Schltdl. et Cham. var. *longepedunculata* Loock in Martínez, *Pinus rudis* Endl., *Pinus oaxacana* Mirov, *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Pinus pringlei* Shaw and *Pinus michoacana* Martínez var. *cornuta* Martínez (García, 1984); *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, *Pinus caribaea* Morelet and *Pinus oocarpa* Shiede (Walker, 1993); *Picea abies* (L) Kars. (Bues, 1996), *Pinus taeda* L. (Weber, 2005) and in *Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen subsp. *japonica* (Regel) A. E. Murray and *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. (Fujimoto *et al.*, 2008).

For the type II trend there are documented studies in two plantations and a natural stand of *Pinus radiata* D. Don (Shepard

Kars. (Bues, 1996), *Pinus taeda* L. (Weber, 2005) y en *Larix gmelinii* Rupr.) Kuzen subsp. *japonica* (Regel) A. E. Murray y *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. (Fujimoto et al., 2008).

Para la tendencia Tipo II existen estudios documentados en dos plantaciones y un rodal natural de *Pinus radiata* D. Don. (Shepard y Shottafer, 1992) y para *Picea abies* (Brolin et al., 1995; Lindström 1996). La tendencia Tipo III, se ha registrado en: *Pinus cembroides* Zucc. (Vaca, 1992), en *Pinus taeda* L., *Pinus ellioti* Engelm. (McAlister y Powers, 1992), en *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. (Mitchell y Denne, 1997) y en *Pinus nigra* Arnold. (Gutiérrez et al., 2006).

El conocimiento de la variabilidad en las propiedades físicas y mecánicas es de fundamental importancia para los usuarios de la madera al momento de evaluar sus múltiples aplicaciones y, para los silvicultores, al momento de fijar los propósitos de producción en términos de manejo. Esto permite optimizar ciertas propiedades, de acuerdo con las necesidades industriales y disminuir, dentro de ciertos límites, la heterogeneidad de la materia prima (Davel et al., 2005). El objetivo del presente trabajo fue determinar la variación radial en *Pinus patula* proveniente de tres localidades del estado de Hidalgo, bajo la hipótesis de que la densidad básica se incrementa en dirección de la corteza.

MATERIALES Y MÉTODOS

El material descrito a continuación, se colectó en tres localidades, dos pertenecientes al municipio de Zacualtipán, estado de Hidalgo: 1) El Reparo, ubicada en las coordenadas geográficas de 20° 37' 33" latitud N y 98° 58' 38" longitud O, 2) la conocida como Tres Fracciones de Fondones, con las coordenadas geográficas 20° 37' 20" de latitud N y 98° 40' 00" de longitud O. 3) La tercera localidad pertenece al municipio de San Agustín Metzquitlán, conocida como El Aguaje y se localiza en las coordenadas geográficas 20° 33' 58" latitud N, 98° 33' 26" longitud O.

En cada una de las tres localidades se seleccionaron 20 árboles en forma aleatoria, y se obtuvo un cilindro de madera de 12 mm de diámetro por individuo, mediante un taladro de Pressler, a una altura de 1.30 m del fuste. En laboratorio se procedió a separar los anillos de crecimiento, a partir de la médula, los cuales se identificaron con una clave para su posterior análisis. Para determinar la densidad básica se utilizó el método de Máximo Contenido de Humedad (Smith, 1954), recomendado para muestras pequeñas. El peso inicial se obtuvo con una balanza analítica con precisión de milésimas de gramo; posteriormente se determinó el peso anhidro, para lo cual los anillos de crecimiento se colocaron en una estufa de secado Grieve modelo LW -201C a una temperatura de 103 ± 2°C, durante 48 h. Con los datos anteriores y la densidad real de la madera se calculó la densidad básica con la fórmula que se presenta a continuación

and Shottafer, 1992) and *Picea abies* (Brolin et al. 1995; Lindström, 1996). Type III trend has been recorded in *Pinus cembroides* Zucc. (Vaca, 1992), in *Pinus taeda* L., *Pinus ellioti* Engelm. (McAlister and Powers, 1992), in *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. (Mitchell and Denne, 1997) and in *Pinus nigra* Arnold (Gutiérrez et al., 2006).

The knowledge of the variability in physical and mechanical properties is of utmost importance for users of wood at the time to evaluate its multiple applications and for foresters, at the time of setting the purposes of production in terms of management. This allows optimizing certain properties, according to industry needs and decrease, within certain limits, the heterogeneity of the raw material (Davel et al., 2005). The objective of this study was to determine the radial variation in *Pinus patula* from three locations in the State of Hidalgo, under the hypothesis that basic density increases in the direction of the bark.

MATERIALS AND METHODS

The material here described was collected in three provenances which are part of Zacualtipán municipio, at Hidalgo State: 1) El Reparo, located at the geographic coordinates of 20° 37' 33" N latitude and 98° 58' 38" long ; 2) known as "Tres Fracciones de Fondones", with the coordinates 20° 37' 20" N latitude and 98° 40' 00" long and; 3) this third town belongs to the municipality of San Agustín Metzquitlán, known as El Aguaje, located at the geographic coordinates 20° 33' 58" N latitude, 98° 33' 26" long.

In each of the three locations, 20 trees were randomly selected, and a cylinder of wood of 12 mm in diameter by individual was extracted, through a Pressler borer, at a 1.30 m height of the trunk. Rings of growth from the core were separated in laboratory and were identified by a key for later analysis. To determine basic density the Maximum Moisture Content method was used (Smith, 1954), which is recommended for small samples. The initial weight was obtained with an analytical balance with accuracy of thousandths of a gram. Subsequently, the anhydrous weight was determined, for which, the growth rings were placed on a drying stove (Grieve model LW) at a 103 ± 2 ° C temperature for 48 h. With the former data and the real density of wood, basic density was determined with the following formula:

$$Db = \frac{1}{\frac{P_i - P_o}{P_o} + \frac{1}{1.53}}$$

$$Db = \frac{1}{\frac{P_i - P_o}{P_o} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

Db = Densidad básica

P_i = Peso inicial

P_o = Peso anhidro

1.53 = Densidad real de la madera.

La medición del ancho total de los anillos de crecimiento y la cantidad de madera tardía se realizó en cada uno de los cilindros de madera con un microscopio de incrementos, con el cual se identificó el inicio del anillo. Enseguida se midió el ancho de la madera temprana y se registró la lectura que indicaba el ancho total de los anillos de crecimiento. El ancho de la madera tardía se estimó mediante la diferencia entre los valores del ancho total del anillo y el de la madera temprana. El porcentaje de madera tardía, se calculó con la fórmula:

$$\%Mt = \frac{Mt * 100}{ATa}$$

Donde:

$\%Mt$ = Porcentaje de madera tardía

Mt = Ancho de la madera tardía

ATa = Ancho total del anillo

A fin de conocer la tendencia de los datos, el análisis estadístico de los mismos se realizó con diagramas de dispersión de los valores promedio por anillo de crecimiento, a continuación se graficaron los valores de las medias de cada anillo de crecimiento y se probaron los modelos estadísticos que mejor se ajustaron a la información, con los cuales se definieron las tendencias para la densidad básica en *Pinus patula*. Para la diferencia entre las medias de cada una de las localidades se aplicó la comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.5$), en el paquete estadístico SAS (SAS, 1999).

RESULTADOS

Los resultados para *Pinus patula* en las tres localidades estudiadas muestran una media general de 0.4602 g cm⁻³, con un valor mínimo de 0.2241 g cm⁻³ y un máximo de 0.6856 g cm⁻³. En el Cuadro 1, se aprecia que entre El Reparó y El Aguaje no hubo diferencias estadísticas significativas, mientras que Tres Fracciones de Fondones sí las presentó con respecto a las otras dos.

Where:

DB = Basic density

P_i = Initial weight

P_{or} = Anhydrous weight

1.53 = Real density of the wood

The calculation of total ring width and the amount of latewood was carried out in every cylinder of wood with a microscope for tree-rings, through which the initial part of the ring was detected. Afterwards, the earlywood thickness was measured and the number indicating the total ring width was recorded. Latewood thickness was estimated by means of the difference between the values of total thickness of the ring and that of earlywood. The proportion of latewood (per cent) was calculated with the formula:

$$\%Mt = \frac{Mt * 100}{ATa}$$

Where:

$\%Mt$ = Latewood per cent

Mt = Latewood width

ATa = Total ring width

In order to know the trend of the data, their statistical analysis was carried out with dispersion diagrams of the average values per growth ring; then, the mean values of each tree ring were plotted and the best-fit statistical models were tested for the information, with which were defined for the basic density trends in *Pinus patula*. To determine the difference of means of each one of the locations, the Tukey test was applied ($\alpha= 0. 5$) with the aid of SAS (SAS, 1999).

RESULTS

Results for *Pinus patula* in the three studied locations show a general mean of 0.4602 g cm⁻³, with a minimum value of 0.2241 g cm⁻³ and a maximum of 0.6856 g cm⁻³. In Table 1 can be observed that there were no significant statistical differences between "El Reparó" and "El Aguaje", while "Tres Fracciones de Fondones" did show them with regard to the other two.

In regard to tree ring width and to latewood per cent, the average values of three sections: (near the core, central part and close to the bark), are summarized in Table 2.

Con respecto al ancho de los anillos y el porcentaje de madera tardía, los valores promedio de tres secciones (cerca de la médula, parte central y cerca de la corteza) se resumen en el Cuadro 2.

Al analizar los datos promedio para la variación radial de la densidad básica se observaron tendencias generales de comportamiento, por lo que se procedió a probar los modelos estadísticos que mejor representaran las tendencias (Figura 1). Los modelos estadísticos que se ajustaron a las medias de los datos se consignan en el Cuadro 3, así como sus valores de correlación.

En la Figura 2 se presentan los valores de la densidad básica ajustados con los modelos del Cuadro 3, y se muestran las tendencias generales para esta variable en dirección radial, en las tres localidades estudiadas.

Cuadro 2. Valores promedio de ancho de anillos y porcentaje de madera tardía, en las tres secciones y en las tres localidades.
Table 2. Average values of ring thickness and latewood per cent from three sections and the three studied locations.

Sección	Tres Fracciones de Fondos		El Reparó		El Aguaje	
	Ancho de anillos (mm)	Porcentaje de madera tardía	Ancho de anillos (mm)	Porcentaje de madera tardía	Ancho de anillos (mm)	Porcentaje de madera tardía
Médula	4.35	25	6.09	27	3.62	24
Central	3.62	29	3.07	31	3.05	28
Corteza	1.98	37	2.18	34	2.98	32

Cuadro 3. Modelos utilizados para ajustar los valores observados y los de correlación.
Table 3. Models used to fit the observed and correlation values.

Localidad	Modelo	R ²
Tres Fracciones de Fondos	$Y = 0.4691 + 0.0011x$	0.5701
El Reparó	$Y = 0.3794 + 0.0062x - 0.0001x^2$	0.7218
El Aguaje	$Y = 0.3695 + 0.0294 \ln(x)$	0.6565

DISCUSIÓN

El hecho de que no existan diferencias significativas entre El Reparó y El Aguaje (Cuadro 1) puede atribuirse a que ambas localidades se encuentran en la misma región fisiográfica, por lo tanto presentan condiciones similares de clima, topografía y suelos, lo que indica condiciones ambientales similares para los árboles que crecen en la zona (Brosovich, 1998).

Cuadro 1. Valores de densidad básica para *Pinus patula* en las tres localidades estudiadas.

Table 1. Basic density values for *Pinus patula* found in the three studied locations.

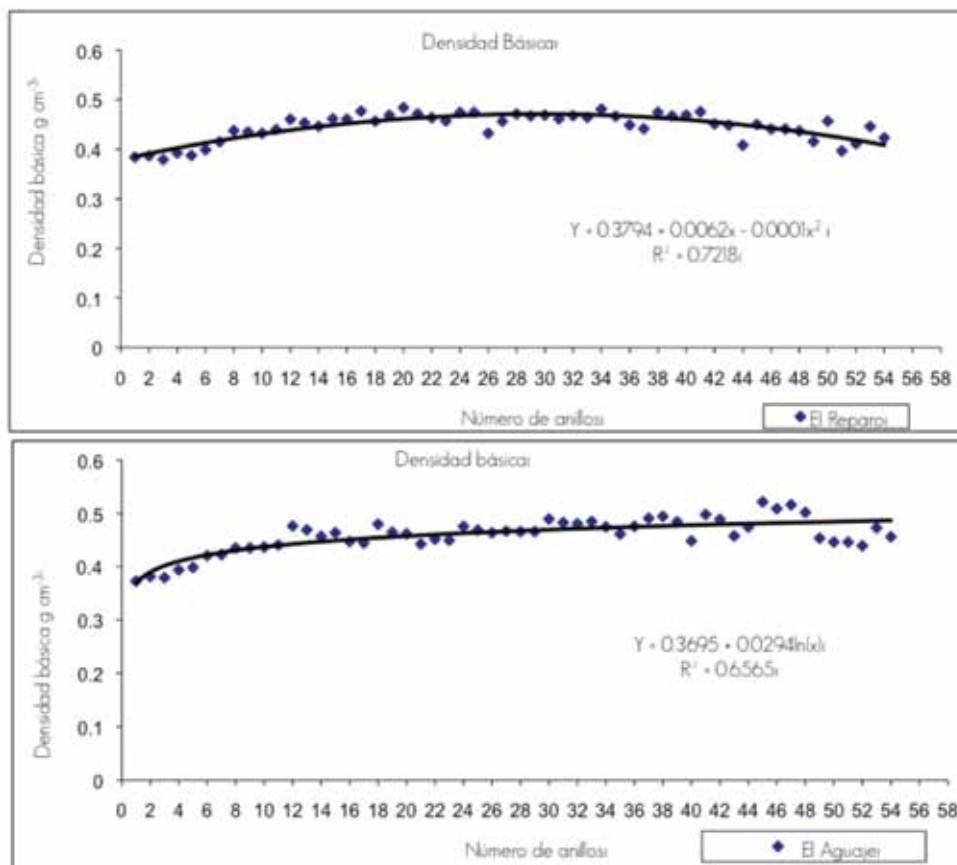
Localidad	Densidad básica (g cm ⁻³)	
	Mínimo	Media
Tres Fracciones de Fondos	0.3239	0.5049
El Reparó	0.2241	0.4468
El Aguaje	0.2510	0.4544

Medias con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales con $\alpha = 0.05$ según la prueba de Tukey.

Means with the same letter in the same column are statistically equal with $\alpha = 0.05$ according to Tukey test.

After analyzing the average data for the radial variation of basic density, general trends of behavior were observed; thus, the statistical models that best represented the tendencies were tested (Figure 1). The statistical models that were fitted to the means of the data are shown in Table 3 as well as their correlation values.

In Figure 2 are represented the basic density values adjusted with the models from Table 3; it also shows the general trends for this variable in the radial direction, in the three studied locations.



Cada valor es el promedio de 20 datos
Each value is the average of 20 data.

Figura 1. Dispersión de los valores de la densidad básica de *Pinus patula* obtenida mediante los modelos de mejor ajuste.

Figure 1. Dispersion of the values of *Pinus patula* basic density obtained by using the best fit models.

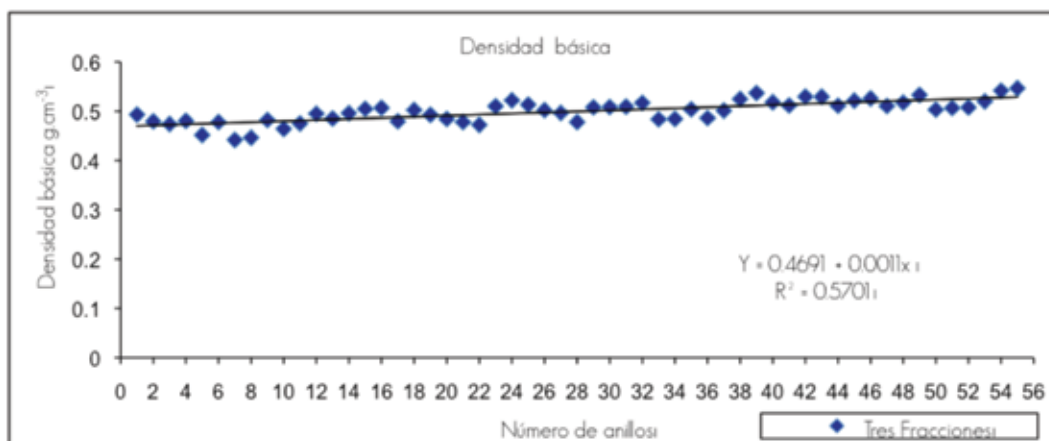


Figura 2. Tendencias generales de la densidad básica para *Pinus patula* en las tres localidades estudiadas.
Figure 2. General trends of basic density for *Pinus patula* in the three studied locations.

Al comparar los resultados de Tres Fracciones de Fondones, con los de El Reparo y El Aguaje se observó que la media de la densidad básica es mayor en la primera localidad, y que sus diferencias son estadísticamente significativas (Cuadro 1), lo cual es imputado a las diferencias en cuanto a clima, suelo y región fisiográfica (Hernández, 2007). Aunque también es posible que responda al porcentaje de madera tardía presente en los árboles de dicha localidad, ya que este ocasiona un incremento en la densidad básica (Fujimoto *et al.*, 2008).

Al ajustar los datos de la densidad básica de las tres localidades, se observó para Tres Fracciones de Fondones y El Aguaje una tendencia general Tipo I, que consiste en un incremento de esta variable a partir de la médula en dirección a la corteza (Panshin y De Zeeuw, 1980), aumento que puede deberse a la edad del arbolado en las dos localidades, de aproximadamente 55 años, puesto que con la edad el porcentaje de madera tardía es más grande (García, 1984; Walker, 1993; Bues, 1996; Alba *et al.*, 2005; Weber, 2005; Fujimoto *et al.*, 2008), y en consecuencia la densidad básica aumenta (Ramírez, 1997; Valencia y López, 1999). También se presenta una disminución en el ancho de los anillos de crecimiento (Cuadro 2), que a su vez incide en la existencia de valores altos de la densidad básica, en las zonas cercanas a la corteza (Wimmer y Downes, 2003; DeBell *et al.*, 2004; Renninger *et al.*, 2006). Estos resultados coinciden con lo registrado por Zobel y Van Buijtenen (1989), quienes mencionan que la densidad de la madera está fuertemente influenciada por la cantidad de madera temprana y tardía presentes en un año. En general la madera tardía tiene una densidad básica alta, mientras que a la madera temprana le corresponden valores bajos.

Una variación de la tendencia general Tipo I, se obtuvo en El Reparo, donde la densidad básica muestra incremento a partir de la médula hasta llegar a un punto máximo, para volver a disminuir cerca de la corteza; dicho comportamiento se relaciona directamente con el ancho de anillos de crecimiento, ya que estos tienen una relación directa con el porcentaje de madera tardía y la edad del arbolado, lo cual coincide con lo consignado por Kraemer (1966), que lo relaciona con la tasa de crecimiento y ancho de anillos; Kort *et al.* (1991) lo atribuyen al porcentaje de madera tardía y Valencia (1994) a la edad del arbolado. No obstante, en este trabajo los valores de ancho de anillos y porcentaje de madera tardía no fueron determinantes para explicar la tendencia observada (Cuadro 2), lo que puede responder a la edad del arbolado, que fue de alrededor de 65 años en esta localidad, y corresponde a lo citado por Panshin y De Zeeuw (1980).

CONCLUSIÓN

La densidad básica de la madera de *Pinus patula* sigue dos tendencias de variación radial en las tres localidades


DISCUSSION

The lack of no significant differences between El Reparo and El Aguaje (Table 1) can be explained by the fact that both locations are in the same physiographic region, therefore, they have similar conditions of climate, topography and soils, which means the prevalence of similar environmental conditions for trees that grow in the zone (Brosovich, 1998).

When comparing the results of "Tres Fracciones de Fondones", with those of El Reparo and El Aguaje it was observed that the basic density mean is higher in the first location, and that their differences are statistically significant (Table 1), which is attributed to differences in climate, soil and physiographic region (Hernández, 2007). Although it is also possible that it responds to the proportion of latewood in the trees of the location, as this results in an increment in basic density (Fujimoto *et al.*, 2008).

To adjust the basic density data of the three locations a general trend type I was noted for Tres Fracciones de Fondones and El Aguaje, which consisted of an increment in this variable from the core to the bark (Panshin and De Zeeuw, 1980). This increment might be due to the age of the trees, which was around 55 years in the two locations, since with age the proportion of latewood becomes greater (García, 1984; Walker, 1993; Bues, 1996; Alba *et al.*, 2005; Weber, 2005; Fujimoto *et al.*, 2008), and consequently the basic density increases (Ramírez, 1997; Valencia and López, 1999). A decrease in tree ring width also occurs (Table 2), which in turn affects the existence of high values of basic density in areas close to the bark (Wimmer and Downes, 2003; DeBell *et al.*, 2004; Renninger *et al.*, 2006). These results are coincidental with Zobel and Van Buijtenen (1989), who reported that wood density is strongly influenced by the amount of earlywood and latewood in a year. In general, latewood has a high basic density, while earlywood has low values.

A variation of the general trend type I was found in El Reparo, where basic density shows an increment starting from the core up to a peak, after which it decreases once again near the bark; such behavior is directly related to the width of the tree rings, since they are directly related as well, to the latewood per cent and the age of trees, which coincides with Kraemer (1966) who relates it to the growth rate and ring width; Kort *et al.*, (1991) attribute it to the proportion of latewood and Valencia (1994) to the age of trees. However, in this work the tree ring width values and latewood per cent were not determinant to explain the observed trend (Table 2), which can respond to the age of the trees, that was around 65 years in this location, and to what Panshin and De Zeeuw (1980) stated.

estudiadas: la primera muestra incrementos a partir de la médula, en dirección de la corteza, y la segunda desde la médula, hasta llegar a un punto máximo, para después disminuir al llegar a la corteza. 

REFERENCIAS

Alba L., J. E. O. Ramírez G. y J. A. Santos S. 2005. Variación de la densidad de la madera de *Pinus gregii* Engelm de un ensayo genético establecido en Coatepec, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7(1):37-40.

Brolin, A., A. Noren and E. G. Sihahl. 1995. Wood and Pulp Characteristics of Juvenile Norway spruce: A Comparison between a Forest and Agricultural Stand. *Tappi Journal* 78(4):203-214.

Brosovich G., M. M. 1998. Determinación del rendimiento para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 95 p.

Bues, C. T. 1996. Wood quality of Norway spruce trees planted at wide spacing and early pruned in the Frankenwald. *Forst-un-Holz*. 51(2): 45-49.

Coronel E., O. 1994. Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. ITM, serie de publicaciones 9404. Santiago del Estero, Argentina. Vol 1. 187p.

Dalla S., G., A. Martínez M., H. Cochard and P. Rozenberg. 2009. Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) clones related to a heat and drought wave in France. *Forest Ecology and Management* 257: 182-189.

Davel M., M., A. Jovanovski and D. B. Mohr. 2005. Densidad básica de la madera de pino Oregón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 26(3): 55-62.

DeBell, D. S., R. Singleton, L. B. Gartner and D. D. Marshal. 2004. Wood density of young-growth western hemlock: relation to ring age, radial growth, stand density, and site quality. *Can. J. For. Res.* 34(12): 2433-2442.

Fujimoto, T., K. Kita and M. Kuromaru. 2008. Genetic control of intra-ring wood density variation in hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* y *L. kaempferi*) F1. *Wood Sci Technol.* 42:227-240.

García M., E. S. 1984. Variación del peso específico de siete especies de pino del Estado de Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp. 26-48.

Goche T., J. R., M. Fuentes S., A. Borja R. y H. Ramírez M. 2000. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. *Revista Chapingo: Serie Ciencias Forestales y del Ambiente.* 6(1):83-92.

Gutiérrez O., A., V. Baonza M., J. I. Fernández-Golfín S., M. Conde G. and E. Hermoso P. 2006. Effect of growth conditions on wood density of Spanish *Pinus nigra*. *Wood Sci Technol.* 40: 190-204.

Hernández V., D. A. 2007. Efectos del fuego sobre algunas características nutrimentales del suelo de un bosque de *Pinus patula*, en Zacualtipán, Hidalgo. Tesis Profesional. Área Académica de Ingeniería Forestal. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hgo., México. 89 p.

Jane, F. W. 1970. The structure of wood. 2ª Ed. Adam & Charles Black. London UK. pp. 195-233.

Jovanovski, A., M. Jaramillo, G. Loguercio y S. Antequera. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. ex Laws) en tres localidades de Argentina. *Bosque* 23(2): 99-104.

Kort, I., V. Loeffen and P. Boas. 1991. Ring width, density and wood anatomy of Douglas Fir with different crown vitality. *IAWA. Bulletin n.s.* 12(4): 453-465.


Krahmer, L. R. 1966. Variation of specific gravity in Western hemlock trees. *Tappi Journal* 49(5): 227-229.

Lindström, H. 1996. Basic density in Norway spruce. Part III. Development from pith outwards. *Wood and Fiber Science* 28(4): 391-405.

McAlister, H. R. and H. Jr. R. Powers 1992. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust-resistant Loblolly and Slash pine. *Forest Products Journal* 42(11/12): 15-20.

Mitchell M. D. and M. P. Denne. 1997. Variation in density of *Picea sitchensis* in relation to within-tree trends in tracheid diameter and wall

CONCLUSION

Wood basic density of *Pinus patula* has two trends of radial variation in the three studied locations: the first shows increments from the marrow, in the direction of the bark, and the second from the core, until it reaches a peak, and falls when it gets to the bark. 

End of the English version

Krahmer, L. R. 1966. Variation of specific gravity in Western hemlock trees. *Tappi Journal* 49(5): 227-229.

Lindström, H. 1996. Basic density in Norway spruce. Part III. Development from pith outwards. *Wood and Fiber Science* 28(4): 391-405.

McAlister, H. R. and H. Jr. R. Powers 1992. Physical and mechanical properties of half-sib families of rust-resistant Loblolly and Slash pine. *Forest Products Journal* 42(11/12): 15-20.

Mitchell M. D. and M. P. Denne. 1997. Variation in density of *Picea sitchensis* in relation to within-tree trends in tracheid diameter and wall thickness. *Forestry Oxford* 70(1): 47-60.

Panshin, A. J. and C. De Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4ª Ed. McGraw-Hill. New York, NY, USA. pp. 249-281.

Pittermann, J., S. J. Sperry, K. J. Wheeler, G. U. Hacke and H. E. Sikkema. 2006. Mechanical reinforcement of tracheids compromises the hydraulic efficiency of conifer xylem. *Plant, Cell & Environment* 29: 1618-1628.

Ramírez G., E. 1997. Variación natural del peso específico de la madera de *Pinus cooperi* Blanco, *Pinus duranguensis* Martz, y *Pinus engelmannii* Carr., de la región de El Salto, Durango. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 42 p.

Renninger, H. J., B. L. Gartner and F. C. Meinzer. 2006. Effects of release from suppression on wood functional characteristics in young Douglas-Fir and Western hemlock. *Can. J. For. Res.* 36: 2038-2046.

Statistical Analysis System (SAS Institute Inc). 1999. SAS Online Doc, Version 8. CD-ROM. SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA. s/p.

Shepard, K. R. and J. E. Shottafer. 1992. Specific gravity and mechanical property-age relationships in red pine. *Forest Products Journal* 42(7/8): 60-66.

Smith, M. D. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples. Forest Products Laboratory, Forest Service. U. S. Department of Agriculture. Report No. 2014. Madison, WI, USA. 8 p.

Vaca G., A. 1992. Variación del peso específico de la madera y longitud de traqueidas dentro de árboles de *Pinus cembroides* Zucc., de la región de Santiago Papasquiaro, Durango. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx., México. 88 p.

Valencia M., S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus patula* Schl et Cham. y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. México. pp 15-23.

Valencia M., S. y F. López A. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coah. *Foresta-AN, Nota Técnica No 1.* UAAAN. Saltillo, Coah., México. 16 p.

Walker, J. C. F. 1993. Primary wood processing, principles and practice. Chapman & Hall. London, UK. pp.155-170.

Weber E., M. 2005. Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion, de diferentes edades, Misiones, Argentina. *Floresta* 35(3): 487-494.

Wimmer, R. and G. M. Downes. 2003. Temporal variation of the ring width-wood density relationship in Norway spruce grown under two levels of anthropogenic disturbance. *IAWA Journal* 24 (1): 53-61.

Zhang, S. Y. 1997. Wood Quality: Its Definition, Impact and Implications for Value - Added Timber Management and End Uses. In: Zhang, S. Y., R. Gosselin and G. Chaurat. (Eds). *Timber Management Toward wood Quality and End - Product Value.* Quebec City, Canada. pp.17 - 39.

Zobel, B. y J. Talbert. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D. F. México. pp. 413-424.

Zobel, B. J. and J. P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer Verlag, Berlin, Germany. 363 p.