



Madera y Bosques

ISSN: 1405-0471

mabosque@inecol.edu.mx

Instituto de Ecología, A.C.

México

Vázquez-Cuecuecha, Oscar G.; Zamora-Campos, Eunice M.; García-Gallegos, Elizabeth;
Ramírez-Flores, Juan Alberto

Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas

Madera y Bosques, vol. 21, núm. 1, 2015, pp. 129-138

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61738656010>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas

Specific gravity of wood from two pines and its relation with
edaphic properties

Oscar G. Vázquez-Cuecuecha¹, Eunice M. Zamora-Campos^{1,*}, Elizabeth García-Gallegos¹
y Juan Alberto Ramírez-Flores²

¹ Centro de Investigación en Genética y Ambiente.
Universidad Autónoma de Tlaxcala. Tlaxcala, México.
oscarvcm@yahoo.com.mx, gallegoseg@hotmail.com

² Licenciatura en Biología. Universidad Autónoma de
Tlaxcala. Tlaxcala, México. dxalberto@hotmail.com

* Autor de correspondencia. eunicemarina@yahoo.es.

RESUMEN

Para identificar las diferencias en densidad básica de la madera por especie y algunas características físicas y químicas del suelo de dos sitios, así como su influencia sobre la densidad básica de la madera, se eligieron dos rodales naturales en el centro de México donde coexisten *Pinus patula* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. La densidad básica de la madera se determinó a partir de 78 individuos. Las muestras de suelo se tomaron al pie de cada árbol para determinar el pH, textura y densidad aparente del suelo, porcentaje de materia orgánica, porosidad, carbono total así como fracciones húmica y no húmica. No se detectaron diferencias entre sitios por especie para densidad básica de la madera. El análisis edáfico evidenció diferencias significativas para la mayoría de las propiedades entre sitios y mayor variación dentro de Ejido Ingenio del Rosario Xico, Veracruz, México; solo se verificó correlación negativa entre la densidad básica de la madera de *Pinus patula* y la densidad aparente del suelo del rodal de Ejido Ingenio del Rosario, Xico, Ver; por lo que se concluye que estas especies pueden establecerse y desarrollarse en sitios con características edáficas distintas sin presentar cambios importantes en la calidad de su madera.

PALABRAS CLAVE: calidad de la madera, densidad aparente del suelo, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Pinus patula*, rodales naturales.

ABSTRACT

The aim of this study was to identify wood density differences between sites for each species as well as to relate the basic wood density of *Pinus patula* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* with some soil physico-chemical properties. In order to identify differences between wood density, soil properties and assess the influence degree of pH, percentage of organic matter, humic and non humic fractions, total carbon, texture, porosity and soil bulk density, two natural stands where both species coexist, were selected from Central Mexico. 78 trees were used to determine basic wood density. No differences within species between sites for basic wood density were found. Most of the edaphic properties were significantly different between sites and higher variation were observed within Ejido Ingenio del Rosario. Soil bulk density was negatively correlated with wood density of *Pinus patula* native from Ejido Ingenio del Rosario, Xico, Veracruz. It is concluded that soil factors do not influence strongly the expression of this feature in both species, so commercial or conservation plantations can be done in different soils types without changes in wood quality.

KEY WORDS: wood quality, soil bulk density, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Pinus patula*, natural stands.

INTRODUCCIÓN

Pinus patula Schl. et Cham. y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw, son dos de las especies comerciales más importantes en Tlaxcala y en la región centro de México, pues se trata de especies multipropósito cuya madera es útil para elaborar una amplia variedad de productos y que además proporcionan servicios ecosistémicos como protección de cuencas, fijación de CO₂, hábitat de especies asociadas, entre otros (Álvarez *et al.*, 2009; Figueroa-Navarro *et al.*, 2010).

La madera es un recurso renovable con infinidad de usos. Sus propiedades físicas y mecánicas la hacen uno de los materiales estructurales, combustibles o celulósicos más importantes. Dichas propiedades son definidas por la estructura anatómica y densidad básica de la madera, al tiempo que reflejan todos los factores ambientales y genéticos que operan sobre un árbol en el transcurso de su vida (Přemyslovská *et al.*, 2007).

La densidad de la madera ha sido ampliamente utilizada como factor de predicción del uso final. El conocimiento y manejo de este carácter en especies comerciales es muy deseable por su alta heredabilidad ($h^2 = 0.5-0.7$ en coníferas), mínima interacción genotipo-ambiente, gran variación entre árboles e importantes efectos sobre la calidad y rendimiento maderable (Panshin y De Zeeuw, 1980).

A pesar del fuerte control genético en la formación de la madera, en la variación de sus propiedades influyen también factores ambientales, condiciones del rodal, manejo y edad (Zobel y van Buijtenen, 1989). Carlson y Nimlos (1966) refieren una variación significativa para el peso específico de la madera del abeto Douglas en diferentes tipos de suelos. De acuerdo con Rigatto *et al.*, (2004), las variaciones de la calidad de la madera están fuertemente relacionadas con las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, pocos estudios dan cuenta de la influencia de estas características sobre la calidad de la madera (Moya y Pérez, 2008; Moya y Alvarado-Calvo, 2012). Actualmente existen pocos trabajos alrededor del mundo sobre la relación entre la producción de madera y las propiedades físicas y químicas del suelo; los trabajos publicados corresponden principalmente a sitios donde se han establecido nuevas plantaciones de *Tectona grandis*,

Beddleja cordata, *Pinus taeda* y *P. contorta* (Rigatto *et al.*, 2004; Moya y Pérez, 2008; Moya *et al.*, 2010). Específicamente para *Tectona grandis* se indica una reducción promedio de 3% en el crecimiento radial a un pH menor de 6, en plantaciones de Panamá y Costa Rica (Alvarado y Fallas, 2004; Ugalde *et al.*, 2005).

Llama la atención que a pesar de la importancia de *P. patula* Schl. et Cham., como especie maderable comercial (Sáenz-Romero *et al.*, 2011) y de contarse con suficiente información sobre la calidad de su madera en programas de mejoramiento efectuados en el extranjero (Dvorak *et al.*, 2000), en México la información sobre la densidad básica de madera es escasa (Velázquez *et al.*, 2004) y no existen estudios que exploren el efecto de las propiedades edáficas sobre ella. Para *P. ayacahuite* var. *veitchii* Shaw, la información es menor debido a su limitada presencia (Musálem y Ramírez, 2003), así como a la intensidad de cosecha a la que ha sido sometida con las consecuentes modificaciones de hábitat, por lo que se torna imprescindible el conocimiento de las condiciones de los rodales existentes para manejarlos de manera sostenible, en lo que a la calidad de madera se refiere.

OBJETIVOS

Este trabajo busca determinar las diferencias en la densidad básica de la madera dentro de cada especie en dos rodales naturales del centro de México; identificar las diferencias en la densidad aparente, porosidad, materia orgánica, arena, limo, arcilla, fracción húmica, fracción no húmica, pH, así como carbono total del suelo, entre sitios, y examinar la influencia que estas propiedades edáficas ejercen sobre la densidad básica de la madera de *Pinus patula* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* lo que contribuirá para la toma de decisiones en relación con el manejo productivo y en la conservación de las poblaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio y muestreo

Los sitios muestreados fueron el predio *Ex hacienda Cuahicocotla* ubicado en el municipio de Emiliano Zapata (E.Z.),



Tlaxcala, México y *Ejido Ingenio del Rosario* (E.I.R.X.) que se sitúa en el municipio de Xico, Veracruz, México. Las características de cada sitio se describen en la Tabla 1.

Se seleccionaron 38 individuos de *P. ayacahuite* var. *veitchii*, 18 correspondientes a E.I.R.X. y 20 en E.Z. Para *P. patula* se eligieron 40 árboles, 20 por sitio. El muestreo se restringió a árboles maduros, con fuste recto, buena poda natural, copa balanceada y amplia, libres de plagas (Baloncchi, 1990). La altura promedio de *P. ayacahuite* fue de 23.2 m y el diámetro normal de 49.6 cm. Para *P. patula* los valores medios de altura y diámetro normal fueron de 27.8 m y 38.7 cm, respectivamente.

De cada individuo se extrajo una muestra de madera, con la ayuda de un taladro Pressler marca Sunnto de 12 mm de diámetro, a 1.30 m de altura del árbol (Goche-Téllez *et al.*, 2011), que incluyó el crecimiento desde la médula hasta la corteza. Las muestras se introdujeron en contenedores plásticos para asegurar su protección durante el traslado al laboratorio. Al mismo tiempo, tras retirar los residuos orgánicos no descompuestos, de la base de cada árbol se tomaron muestras simples de suelo a 30 cm de profundidad, con ayuda de una pala recta. Las muestras de suelo se guardaron en bolsas de polietileno. Ambas muestras se etiquetaron adecuadamente y se trasladaron al laboratorio.

Determinación de la densidad básica de la madera

Para obtener el peso saturado se introdujeron las muestras de madera en bolsas de polietileno perforadas correcta-

mente identificadas y se embebieron en agua potable hasta su saturación durante 20 días aproximadamente. El agua se sustituyó periódicamente para evitar contaminación por hongos. Al término de este periodo, las muestras se pesaron en una balanza analítica marca Ohaus con resolución de diezmilésimos de gramo y se registraron los valores de peso saturado por muestra. Posteriormente se deshidrataron durante 5 días a temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ en un horno de secado marca Riossa modelo H-33, para obtener el peso anhidro de cada muestra. Se utilizó la misma balanza analítica y un desecador con sílica-gel en su interior. Con los valores obtenidos de peso anhidro y peso saturado se calculó la densidad básica de la madera empleando la fórmula propuesta por Smith (1954).

$$Dm = \frac{1}{\frac{Ps-Pa}{Pa}} + \frac{1}{1.53}$$

Dónde:

Dm = densidad básica de la madera (g cm^{-3})

Ps = peso saturado (g)

Pa = peso anhidro (g)

1.53 = constante de la densidad (peso específico) de la madera.

Las muestras de suelo se colocaron sobre papel kraft a temperatura ambiente y a la sombra, posteriormente fueron tamizadas en malla de 2 mm de abertura para obtener un tamaño de partícula homogéneo y determinar

TABLA 1. Descripción de los dos sitios muestreados en el centro de México.

Sitio	Altitud (m snm)	Ubicación geo- gráfica	Tipo de clima	Temperatura pro- medio anual ($^{\circ}\text{C}$)	Precipitación anual (mm)
E. Z.	3000	19° 34' 25" N 97° 57' 15" O	Templado semifrío húmedo con lluvias en verano	14.6	1380
E.I.R.X.	2700	19° 30' 29" N 90° 05' 17" O	Templado semifrío húmedo con lluvias en verano	12.7	1970

Fuentes: Inegi (2005); Instituto Nacional de Ecología (2002) y Conagua (2014).

pH en una suspensión de suelo:agua (1:2 p/v) y en una suspensión de suelo:KCl 1M (1:2 p/v) (Jackson, 1976), materia orgánica por el método Walkley y Black (Jackson, 1976), textura por el hidrómetro de Bouyoucos (Rodríguez y Rodríguez, 2002), densidad aparente y porosidad por Hernández (2007) y finalmente el fraccionamiento físico de la materia orgánica se realizó por el método densimétrico de acuerdo con Galantani (2008).

Análisis de datos

Para identificar las diferencias entre sitios dentro de especies, a los valores individuales de densidad básica de madera se les aplicó un análisis de varianza bajo un modelo de efectos fijos utilizando la versión libre del programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2013). Y una comparación de medias por el método Tukey. El modelo estadístico empleado fue:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + e_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = densidad de la madera
- μ = media general
- S_i = efecto del i-ésimo sitio
- e_{ij} = error aleatorio.

A través del coeficiente de Pearson se evaluó el grado de asociación entre la densidad básica de la madera y cada

una de las propiedades del suelo por sitio usando Statgraphics Centurion XVI (StatPoint Technologies, 2011).

RESULTADOS

Densidad básica de la madera.

No se detectaron diferencias dentro de especies ($p \leq 0.05$) para la densidad básica de la madera entre los sitios donde ocurren naturalmente *P. patula* y *P. ayacahuite* var. *veitchii* (Fig. 1 y Tabla 2). Debido a lo anterior, se agruparon todos los individuos por especie y se obtuvo la media de la densidad básica de la madera para *P. patula* (0.467 g cm^{-3}) y *P. ayacahuite* var. *veitchii* (0.368 g cm^{-3}).

Propiedades del suelo y su relación con la densidad básica de la madera

En la tabla 3, se verifican diferencias significativas entre sitios y entre especies ($p \leq 0.05$). De acuerdo con la NOM-021-Semarnat (DOF, 2002), para *P. patula* el pH_{H₂O} en el suelo fue moderadamente ácido en E.Z. y fuertemente ácido en E.I.R.X. Los porcentajes de materia orgánica y carbono total en el sitio E.I.R.X. con *P. ayacahuite* var. *veitchii*, fueron significativamente mayores que en el resto. Por su parte, la fracción húmica en el suelo del sitio E.I.R.X. es significativamente mayor que la del suelo del sitio E.Z. y lo mismo sucede en los suelos donde se desarrolla *P. patula*.

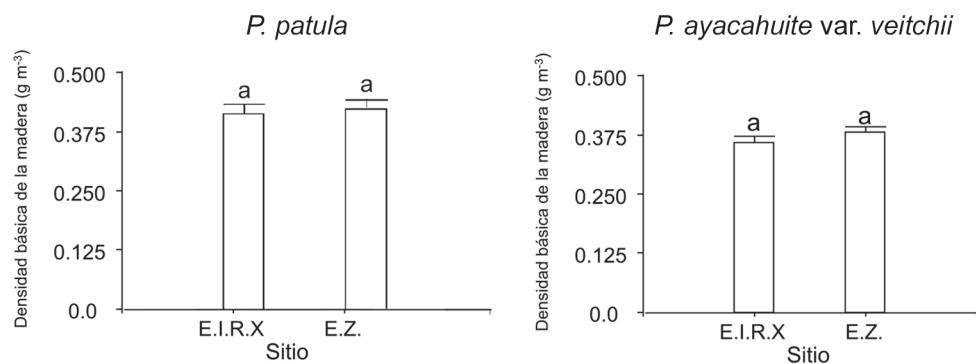


FIGURA 1. Densidad básica de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham. y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. en los dos sitios del centro de México. Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) dentro de especies entre localidades.



TABLA 2. Estadísticas descriptivas para la densidad básica de la madera de *P. patula* y *P. ayacahuite* var. *veitchii* de dos sitios del centro de México.

Especie	Densidad básica de la madera (g cm ⁻³)				
	Promedio	Mínimo	Máximo	Desviación estándar	Error estándar
<i>Pinus patula</i>	0.46	0.27	0.82	0.08	0.2
<i>Pinus ayacahuite</i> var. <i>veitchii</i>	0.37	0.30	0.56	0.04	0.1

TABLA 3. Propiedades edáficas del suelo sobre las que se desarrollan *P. patula* y *P. ayacahuite* var. *veitchii*, en los dos sitios del centro de México.

Variables	<i>Pinus patula</i>				<i>Pinus ayacahuite</i>			
	E.Z.	E.I.R.X.		E.Z.	E.I.R.X.		E.Z.	E.I.R.X.
pH _{H₂O}	6 ± 0.3	a	5 ± 0.4	b	6.5 ± 0.4	c	5.1 ± 0.3	b
pH _{KCl}	5.1 ± 0.3	a	3.8 ± 0.4	b	5.3 ± 0.5	a	3.8 ± 0.3	b
Carbono total (%)	14.0 ± 2.2	b	15.2 ± 5.5	b	12.4 ± 5	b	28.2 ± 10.4	a
Dap (g cm ⁻³)	0.8 ± 0.05	b	1.1 ± 0.08	a	0.8 ± 0.1	b	1.1 ± 0.07	a
FH (%)	3.4 ± 2.2	c	13.3 ± 11	a	4.1 ± 3.7	b	12.2 ± 9.4	a
FNH (%)	94.8 ± 2.4	a	86.6 ± 11	a	45.3 ± 8.6	c	87.8 ± 9.5	a
Porosidad (%)	64.7 ± 2.2	a	56 ± 5.9	b	66 ± 3.9	a	50 ± 6.8	b
Materia orgánica (%)	23.9 ± 3.9	b	26.6 ± 9.4	b	21.4 ± 8.7	b	48.9 ± 18.2	a
Arena (%)	46.2 ± 9.3	c	78 ± 6.2	a	56 ± 9.2	b	78.6 ± 6.5	a
Arcilla (%)	9.3 ± 4.0	a	5.9 ± 5.8	b	9.4 ± 3.4	a	4.5 ± 2.1	c
Limo (%)	34.4 ± 8.8	a	17.3 ± 4.7	b	6.9 ± 3.3	c	16.7 ± 4.9	b

Los valores corresponden a la media y su respectiva desviación estándar. Letras distintas por fila indican diferencias significativas en la prueba de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Dap: densidad aparente; FH: fracción húmica; FNH: fracción no húmica. (n=20).

La densidad aparente y el porcentaje de porosidad del suelo en el sitio E.Z., con ambas especies, fueron estadísticamente diferentes a los presentados por el suelo del sitio E.I.R.X. Finalmente, en todos los suelos predomina la fracción arena, siendo significativamente mayor en los suelos de Xico, mientras que el contenido de arcilla en los suelos de E.Z. fue significativamente mayor con respecto a E.I.R.X., lo que permite inferir la presencia de pocos sitios de intercambio en los suelos (Tabla 3).

El análisis de correlación de los parámetros edáficos de los suelos de los sitios con *P. patula* y *P. ayacahuite* (Tabla 4), mostró que la densidad aparente del suelo en el

Ejido Ingenio del Rosario, Xico; fue el único parámetro que correlacionó negativa y significativamente con la densidad básica de la madera de *Pinus patula* (Fig. 2); sin embargo, es una relación relativamente débil entre variables, el modelo ajustado explica 22.77% de la variabilidad en la densidad de la madera.

DISCUSIÓN

Los valores medios de densidad básica de la madera de *P. patula* y *P. ayacahuite* en este estudio (Tabla 2) permiten clasificar a la madera de *P. patula* como moderadamente pesada y como moderadamente liviana para *P. ayacahuite*

TABLA 4. Coeficientes de correlación de las características físicas y químicas de los suelos de E.I.R.X. y E.Z. con la densidad de la madera de *P. patula* y *P. ayacahuite* var. *veitchii*.

Suelos de Xico											
Especie	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	MO	CT	FH	FNH	P	Dap	Arena	Arcilla	Limo
<i>P. patula</i>											
DM	0.1185 ns	-0.1007 ns	0.0090 ns	0.0610 ns	-0.2245 ns	0.2245 ns	-0.0195 ns	-0.4773* (0.0333)	-0.1111 ns	-0.1048 ns	0.1404 ns
<i>P. ayacahuite</i>											
DM	0.1940 ns	0.0742 ns	0.3670 ns	0.3534 ns	0.0509 ns	-0.0481 ns	0.2600 ns	-0.3252 ns	0.4053 ns	-0.3947 ns	-0.3624 ns
Suelos de Emiliano Zapata											
<i>P. patula</i>											
DM	0.3280 ns	0.3442 ns	-0.1316 ns	-0.1773 ns	0.2789 ns	0.0557 ns	0.2203 ns	-0.1751 ns	0.1044 ns	-0.3602 ns	-0.0566 ns
<i>P. ayacahuite</i>											
DM	0.0110 ns	0.0990 ns	-0.2794 ns	-0.2795 ns	0.1870 ns	-0.2174 ns	-0.1795 ns	0.1298 ns	-0.0222 ns	-0.2182 ns	0.1213 ns

ns= no significativo, MO: materia orgánica, CT: carbono total, FH: fracción húmica, FNH: fracción no húmica, P: porosidad, Dap: densidad aparente, DM: densidad de la madera. Coeficiente de Pearson: *p < 0.05.

var. *veitchii* (Fuentes, 1995). Estos resultados fueron similares a los hallados por otros autores. Por ejemplo, Goche-Télles *et al.*, (2011), encontraron un promedio de 0.46 g cm⁻³ para *P. patula* de tres localidades en Hidalgo, México, así como variación entre rodales. Goche-Télles *et al.*, (2003), describen valores de 0.45 g cm⁻³ y 0.44 g cm⁻³, en dos rodales antes y después de ser sometidos a aclareo, respectivamente, en la Sierra de Zacualtipán, Hidalgo, México. Para *P. ayacahuite* var. *veitchii*, de Chignahuapan, Puebla, México; Goche-Télles *et al.*, (2000), indican un valor promedio de 0.36 g cm⁻³, al analizar la variación dentro del árbol. Por su parte, Candelario (1980) refiere existencia de variación entre sitios, entre árboles y dentro del árbol para el peso específico anhidro de la madera de *P. ayacahuite* var. *veitchii* de dos localidades del estado de Puebla y una de Veracruz, en México.

Se ha reconocido que el ambiente y las prácticas silvícolas son factores relevantes en la determinación de la densidad de la madera (Guilley *et al.*, 2004), pero aunque

las condiciones climáticas de los sitios analizados en este estudio fueron distintas en temperatura (cuyo promedio anual es mayor en E.Z.) y precipitación (más abundante en E.I.R.X.), tales diferencias no influyeron significativamente sobre la densidad básica de la madera de estos pinos, lo cual se debe a que el impacto de los factores ambientales sobre el crecimiento de los árboles varía ampliamente a nivel de especie, pero no es relevante cuando los factores ambientales caen en las condiciones óptimas (Romanya y Vallejo, 2004). La temperatura media es inmejorable para las dos especies en ambos sitios, al igual que la precipitación registrada en E.Z., pero es mucho mayor en E.I.R.X. (Perry, 1991 y Eguiluz, 1982), no obstante, como ya se ha mencionado, dicha diferencia no ejerce ningún efecto sobre la densidad básica de la madera de estos pinos.

En cuanto a los tipos de suelos, E.Z. cuenta con Foezem hálpicos y Regosoles eútricos (Inegi, 1983), mientras que en E.I.R.X. son del orden Andosol ócrico (Instituto

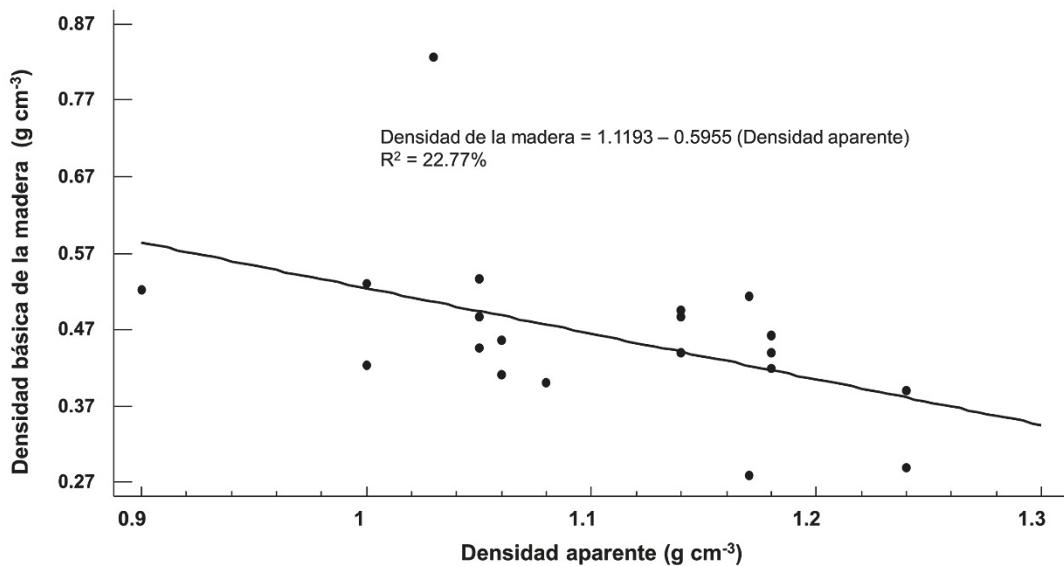


FIGURA 2. Relación entre densidad de la madera (g cm^{-3}) y la densidad aparente del suelo (g cm^{-3}).

Nacional de Ecología, 2002); los dos primeros se caracterizan por contener mucha materia orgánica y nutrimentos, mientras que el último se documenta como un suelo excepcionalmente productivo en madera, así como en biodiversidad florística y faunística (Gómez-Tagle y Chávez-Huerta, 2000). Las diferencias significativas verificadas en todas las variables analizadas, excepto para la densidad aparente del suelo donde crece *P. patula*, en E.I.R.X., tampoco ejercieron efectos diferenciales sobre el tipo de células de madera producida dentro de especies. En el caso particular de la densidad aparente, Jaramillo (2002) menciona que el promedio es de 0.22 g cm^{-3} para suelos de bosque, y en el presente estudio se obtuvieron valores más altos, destacando el total medio de 1.10 g cm^{-3} en E.I.R.X., valor que indica un mayor grado de compactación del suelo y no correlaciona con la cantidad de la materia orgánica presente en el suelo.

La correlación negativa expresada entre la densidad aparente del suelo y la densidad básica de la madera de *P. patula* en E.I.R.X., indica que los incrementos en la primera se traducen en una disminución de la segunda, debido a la baja exploración que efectuarían las raíces con la consecuente menor absorción de nutrimentos y agua, así como a la disminución del intercambio gaseoso

de las raíces debido a la compactación de las partículas del suelo. De acuerdo con Moya y Pérez (2008), el crecimiento del árbol y la densidad de la madera están fuertemente relacionados con las propiedades físicas y químicas del suelo, pues estos factores afectan la densidad vía los efectos en el ancho de anillo, al estar asociadas a la división y diferenciación de las células cambiales; por ejemplo, en algunas especies de hoja ancha se puede obtener una madera de baja densidad sobre sitios con propiedades edáficas favorables para el crecimiento del rodal (particularmente diámetro del fuste), con una consecuente baja calidad para usos estructurales (Cutter *et al.*, 2004). Přemyslovská *et al.* (2007), encontraron para *Picea abies* los valores de densidad de la madera más altos en los rodales con pH bajo. Para plantaciones de Teca establecidas en Costa Rica sobre suelos con diferentes características de fertilidad Moya *et al.* (2010), encontraron los valores más altos de peso específico de la madera en las plantaciones con una baja tasa de crecimiento anual y cuyos suelos presentaban un contenido de Cu menor a 15 mg/L . Por otra parte, existe evidencia de que la compactación del suelo debida al aprovechamiento forestal en rodales de *Pseudotsuga menziesii*, favorece el crecimiento inicial de la regeneración (Ares *et al.*, 2005);

hecho que resulta contradictorio con la posibilidad de que las deficiencias nutrimetnales e hídricas debidas a una insuficiente exploración radicular afecten su productividad.

Los bajos coeficientes de correlación en los demás parámetros físicos y químicos sugieren que la densidad básica de la madera, de ambas especies, no puede ser explicada por las características edáficas seleccionadas y que los factores genéticos, están ejerciendo mayor influencia sobre ella. Debido a la alta heredabilidad documentada (Zobel y Talbert, 1988; Cornelius, 1994; Zobel y Jett, 1995; Senisterra *et al.*, 2008; Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2010), el resto de las características parece no tener un fuerte grado de influencia.

CONCLUSIONES

- La densidad básica de la madera dentro de especies no es distinta entre sitios.
- Las características edáficas evaluadas en ambos sitios difieren significativamente.
- Debido a que las características evaluadas del suelo no tienen influencia significativa sobre la densidad básica de la madera de *Pinus patula* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, es posible utilizar una amplia variedad de suelos para plantaciones de estas especies sin cambios sobre la calidad de la madera.

REFERENCIAS

- Alvarado, A. y J.L. Fallas. 2004. La saturación de acidez y el encalado sobre el crecimiento de la Teca (*Tectona grandis* L.f.) en suelos ácidos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 28(1):81-87.
- Álvarez, J.G., M.T. Colinas, J. Sahagún, A. Peña y J.L. Rodríguez. 2009. Tratamientos de poscosecha en árboles de navidad de *Pinus ayacahuite* Ehrn. y *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. *Revista Ciencia Forestal en México* 34 (106):171-190.
- Ares, A., T.A. Terry, R.E. Miller, H.W. Anderson y B.L. Flaming. 2005. Ground-based forest harvesting effects on soil physical properties and Douglas-Fir growth. *Soil Science Society of America* 69(6):1822-1832.
- Baloncchi, E.C. 1990. Tree improvement program. Bulletin on Tropical Forestry. No. 7. North Carolina State University. Raleigh, Carolina del Norte, E.U.A. 36 p.
- Candelario, M.M. 1980. Estudio de la variación de algunas características físicas y mecánicas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* y *Pinus patula*. Tesis de Ingeniero Agrónomo Especialista en Bosques. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 156 p.
- Carlson, T.C. y T.J. Nimlos. 1966. Using soil series to predict site index and wood specific gravity in Western Montana. *Northwest Science* 40(2):56-67.
- Conagua (Comisión Nacional del Agua). 2014. Normales climatológicas 1951-2010. Tlaxcala y Veracruz. En línea: http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75
- Cornelius, J. 1994. Heritabilities and additive genetic coefficients of variation in forest trees. *Canadian Journal of Forestry Research* 24(2):372-379.
- Cutter, B.E., M.V. Coggshall, J.E. Phelps, y D.D. Stokke. 2004. Impacts of forest management activities on selected hardwood wood quality attributes: a review. *Wood and Fiber Science* 36(1):84-97.
- Di Renzo, J.A., F. Casanoves, M.G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C.W. Robledo. InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). 2002. Norma Mexicana NOM-021-Semarnat-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. 31 de diciembre de 2002. 85 p.
- Dvorak, W.S., G.R. Hodge, J.E. Kietzka, F. Malan, L.F. Osorio y T.K. Stanger. 2000. *Pinus patula*. In: Camcore. Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources. NCSU. Raleigh, NC. E.U.A. p:48-173.
- Eguiluz, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Ciencia Forestal* 7(38):30-44.
- Figueroa-Navarro, C.M., G. Ángeles-Pérez, A. Velázquez-Martínez, H.M. de los Santos-Posadas. 2010. Estimación de la biomasa en un bosque bajo manejo de *Pinus patula*



- Schlldl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1):105-112.
- Fuentes-Salinas, M. 1995. Tecnología de la Madera II: Propiedades Físico-Mecánicas. Dicifo. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 120 p.
- Galantani, J.A. 2008. Fraccionamiento de la materia orgánica del suelo. In: J.A. Galantani, ed. Estudio de las fracciones orgánicas en suelos de Argentina. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Argentina. p:19-39.
- Goche-Télles, J.R., A. Velázquez-Martínez, A. Borja-de la Rosa, J. Capulín-Grande y C. Palacios-Mendoza. 2011. Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schldl et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2(7):71-78.
- Goche-Télles, J.R., M. Fuentes-Salinas, A. Borja-de la Rosa y H. Ramírez-Maldonado. 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.
- Goche-Télles, R., A. Velázquez-Martínez, A. Borja-de la Rosa, T. Terrazas, C. Cervantes-Martínez y A. Trinidad-Santos. 2003. Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo. *Interciencia* 28(12):705-709.
- Gómez-Tagle, A. y Y. Chávez-Huerta. 2000. Degradación de suelos forestales y programas de reforestación. *Forest Veracruzana* 2(1):41-50.
- Guilley, E., J.C. Herve y G. Nepveu. 2004. The influence of site quality, silviculture and region on wood density mixed model in *Quercus petrea* Liebl. *Forest Ecology and Management* 189:111-121.
- Gutiérrez-Vázquez, B.N., M. Gómez-Cárdenas, S. Valencia-Manzo, E.H. Cornejo-Oviedo, J.A. Prieto-Ruiz y M.H. Gutiérrez-Vázquez. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schl. TDL. del estado de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):75-78.
- Hernández, J.L. 2007. Métodos para el análisis físico de los suelos. Manual de laboratorio. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Ediciones INCA. La Habana, Cuba. 54 p.
- Instituto Nacional de Ecología. 2002. Potencial de recarga de acuíferos y estabilización de ciclos hídricos de áreas forestadas. INE-Semarnat. En línea: http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgipea/recarga_acuiferos_est.pdf
- Inegi. 1983. Cartas edafológicas para el estado de Tlaxcala E14B23 y E14B24, escala 1:50,000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
- Inegi. 2005. Anuario Estadístico para el estado de Tlaxcala. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México, D.F.
- Jackson, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. J. Beltrán M., traductor. 3^a ed. Omega. Barcelona, España. 622 p.
- Jaramillo, J.D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 613 p.
- Moya, R., V. Arce, E. González, C. Olivares y V. Ríos. 2010. Efecto de las propiedades físicas y químicas del suelo en algunas propiedades de la madera de teca (*Tectona grandis*). *Revista Árvore* 34(6):1109-1118.
- Moya, R. y D. Pérez. 2008. Effect of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science* 20(4):147-155.
- Moya, R. y J. Alvarado-Calvo. 2012. Variation of wood color parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors. *Annals Forest Science* 69(8):947-959.
- Musálem, M.A. y A. Ramírez. 2003. Monografía de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. Semarnap-Conabio-Inifap. México. 364 p.
- Panshin, A. y J. De Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4^a ed. McGraw-Hill. Nueva York, E.U.A. p:202-208.
- Perry, J.P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, E.U.A. 231 p.
- Přemyslovská, E., J. Slezingerová, M. Rybníček, V. Gryc, H. Vavrčík y L. Praus. 2007. Basic density of wood in different forest type. In: K. Přemyslovská, J. Škvrenina y M. Blaženec, eds. Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Pol'ananad Detvou. Slovakia. p:17-20.
- Rigatto, P.A., R.A. Dedecek y J.L. Monteiro de Matos. 2004. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da

- madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose kraft. *Revista Árvore* 28:267-273.
- Rodríguez, F.H. y Rodríguez A.J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas. Trillas. México, D.F. 196 p.
- Romanya, J. y V.R. Vallejo. 2004. Productividad de plantaciones de *Pinus radiata* en España en respuesta al clima y suelo. *Forest Ecology and Management* 195:177-189.
- Sáenz-Romero, C., J. Beaulieu y G.E. Rehfeldt. 2011. Altitudinal genetic variation among *Pinus patula* populations from Oaxaca, México, in growth chambers simulating global warming temperatures. *Agrociencia* 45:399-411.
- 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. E.U.A. 8 p.
- Ugalde, L., A. Alvarado, J.M. Verjans, M. Mollinedo y L.C. Rudy. 2005. Soil-tree relationship and site factors in young teak (*Tectona grandis*) plantations in the western zone of the Panama Canal. *Agronomía Costarricense* 28:81-87.
- Senisterra, G.E., R.M. Marlats y M.G. Ducid. 2008. Fuste comercial de clones del género *Populus*: relación entre volumen y densidad de la madera con nutrientes inorgánicos. *FCA Uncuyo* XL(1):49-56.
- StatPoint Technologies. 2011. Statgraphics Centurion XVI. Software estadístico versión en español. United States of America.
- Velázquez, M., A.; G. Ángeles, O.T. Llanderal, A.R. Román, y V. Reyes. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Conafor, Colpos, Semarnat. México, D.F. 124 p.
- Zobel, B.J. y J.T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México 545 p.
- Zobel, B.J. y J.P. vanBuijtenen. 1989. Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Alemania. 363 p.
- Zobel, B.J. y J.B. Jett. 1995. Genetics of wood production. Springer-Verlag. Berlin-Heidelberg, Alemania. 337 p.

Manuscrito recibido el 22 de febrero de 2014.
Aceptado el 29 de agosto de 2014.

Este documento se debe citar como:

Vázquez-Cuecuecha, O.G., E.M. Zamora-Campos, E. García-Gallegos y J.A. Ramírez-Flores. 2015. Densidad básica de la madera de dos pinos y su relación con propiedades edáficas. *Madera y Bosques* 21(I):129-138.