



ARTÍCULO

**Propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus greggii* var. *australis* de una plantación en Hidalgo, México**

Cristina Lizeth Sigala Cerros<sup>1</sup>, Alfonso Suárez Islas<sup>2</sup>, José Ángel Prieto Ruíz<sup>1</sup>, Artemio Carrillo Parra<sup>1</sup>, Pedro Antonio Domínguez-Calleros<sup>1</sup> y José Rodolfo Goche-Télles<sup>1\*</sup>.

<sup>1</sup> Ingeniero Forestal. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México. [jgoche@ujed.mx](mailto:jgoche@ujed.mx)

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Profesor. Tulancingo, Hidalgo México.

\* Autor de correspondencia

DOI: <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2023.585>

Recibido: 03.02.2023; Aceptado: 01.03.2023

RESUMEN

La madera proveniente de plantaciones es diferente en sus propiedades físico-mecánicas a la obtenida de rodales naturales. El objetivo del presente trabajo es determinar la densidad básica, ancho de anillos, MOE, ELP, MOR y dureza Janka en la madera de *Pinus greggii* var. *australis* proveniente de una plantación de 19 años del estado de Hidalgo, México. Los cilindros de madera se colectaron a 1,30 m de altura, mediante el taladro de Pressler en 16 árboles, ocho del borde y ocho del centro de la plantación. La densidad básica y el ancho de anillos se determinaron en cada uno de los anillos de crecimiento. Las propiedades mecánicas se obtuvieron utilizando la densidad básica como variable independiente mediante modelos estadísticos establecidos para tal fin. Los resultados muestran diferencias entre la densidad básica de los árboles provenientes del borde con los del centro ( $p < 0,0001$ ), mientras que el ancho de anillos no presentó diferencias estadísticas significativas. La madera presentó una densidad básica promedio de  $0,47 \text{ g/cm}^3$ , clasificándose como ligera. Los resultados de las propiedades mecánicas clasifican a la madera como baja en MOE, ELP y MOR para compresión paralela, ELP y MOR en flexión estática y dureza Janka, mientras que en MOE para flexión estática se considera como media. La madera de esta plantación no es adecuada para construcción, debido a su densidad básica ligera y a los bajos valores en resistencia y dureza.

**Palabras clave:** *Pinus greggii* var. *australis*. Anillos de crecimiento. Densidad básica. Flexión estática. Madera juvenil.

SUMMARY

Wood from plantations is different in its physical-mechanical properties from that obtained from natural stands. The objective of this work is to determine the basic density, ring width, MOE, ELP, MOR and Janka hardness in *Pinus greggii* var. *australis* wood from a 19-year-old plantation in the state of Hidalgo. The wooden cylinders were collected 1.30 m high, using a Pressler drill in 16 trees, eight from the edge and eight from the center of the plantation. The basic density and the width of the rings were determined in each of the growth rings. The mechanical properties were gotten using the basic density as an independent variable, with statistical models established for this purpose. The results show differences between the basic density of the trees from the edge and those from the center ( $p < 0.0001$ ), while the width of the rings did not show statistically significant differences. The wood presented an average basic density of  $0.47 \text{ g/cm}^3$ , classified as light. The results of the mechanical properties allow the wood to be classified as low in MOE, ELP and MOR for parallel compression, ELP and MOR in static bending and Janka hardness, while in MOE for static bending it is considered as medium. The wood from this plantation is not considered suitable for construction, due to the light basic density and the low values in resistance and hardness.

**Key words:** *Pinus greggii* var. *australis*. Growth rings. Basic density. Static bending. Juvenile wood.

## INTRODUCCIÓN

México cuenta con 230.341 ha de plantaciones forestales comerciales, de las cuales el 73 % de la superficie se estableció en el período 2000-2019, con el uso de nueve especies maderables, entre ellas *Pinus greggii* Engelm. y sus variedades (CONAFOR, 2020). El estado de Hidalgo cuenta con 4.589 ha plantadas, lo que representa el 1,99 % del total de plantaciones forestales en México (SEMARNAT, 2020).

*Pinus greggii* var. *australis* es nativo de México, se distribuye en los estados de Querétaro, Hidalgo, San Luis Potosí, Veracruz y Puebla, en altitudes de 1.400 a 2.100 msnm (Donahue y López-Upton, 1999). Se considera como buena alternativa para reforestar sitios degradados (López-Upton *et al.*, 2004), debido a su adaptabilidad, manifestada en sus altas tasas de supervivencia y buenos incrementos en altura y diámetro (Rodríguez-Laguna *et al.*, 2013). En su área de distribución es uno de los árboles con mayor valor económico, su madera se usa en la industria del aserrío principalmente, y localmente se emplea para obtener postes para cercas y leña para combustible (Ramírez-Herrera *et al.*, 2005).

La densidad básica es la propiedad más utilizada para estimar las propiedades mecánicas de la madera (Nowak *et al.*, 2021) y es uno de los parámetros clave en la evaluación de la calidad de la misma (González *et al.*, 2016). El ancho de anillos de crecimiento está relacionado directamente con la densidad básica (Gogoi *et al.*, 2020), aspecto que tiene relación con el manejo de los bosques y la fabricación de productos derivados de la madera (Hara *et al.*, 2018), por lo que es un indicador visual de la calidad de la madera aserrada (McLean, 2019).

Existe escasa información respecto a las propiedades físico-mecánicas de *Pinus greggii* y sus variedades, tanto de madera proveniente de rodales naturales como de plantaciones. De tal manera que el objetivo de esta investigación es determinar la densidad básica, ancho de anillos, MOE, ELP, MOR y dureza Janka en la madera de *Pinus greggii* var. *australis* proveniente de una plantación de 19 años del estado de Hidalgo, México.

## MATERIAL Y MÉTODO

El estudio se realizó en una plantación localizada en el municipio de Acaxochitlán, estado de Hidalgo, México, ubicada entre las coordenadas 20° 09' 52" LN y 98° 13' 31" LO, a una altitud de 2200 msnm (Figura 1). La plantación se estableció en julio de 1999, con plantas de vivero de 10 meses de edad producidas con semilla proveniente de la localidad de El Madroño, Jalpan, Querétaro, México, procedencia bien definida que cuenta con rodales de excelente calidad, con buena conformación del fuste y abundante regeneración natural (Musalem & Martínez, 2003).

El sitio de la plantación presenta una pendiente promedio de 2 %, el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), con una temperatura media anual de 16 °C y una precipitación media anual de 800 a 1.000 mm. De acuerdo con Acevedo-Sandoval *et al.* (2010), el suelo es alisol cutánico úmbico, caracterizado por un horizonte superficial delgado, con contenidos de materia orgánica promedio de 6,06% en los 20 cm superiores.

La plantación se estableció en una superficie de 600 m<sup>2</sup>, su distribución fue en marco real, con un espaciamiento inicial de 1 x 1 m, el cual se ajustó al tercer año (2003) a 2 x 1 m (5.000 árboles/ha) mediante la corta de los individuos en una de cada dos hileras. Este ajuste de espaciamiento se hizo para minimizar efectos de competencia y favorecer el crecimiento de los árboles.

La densidad básica y el ancho de anillos de crecimiento se obtuvo a partir de 16 árboles elegidos al azar, en dos condiciones de plantación, ocho árboles ubicados en el borde y ocho al interior. De cada árbol se obtuvo un cilindro de madera por medio del taladro de Pressler de 5 mm de diámetro, a una altura de 1,30 m. Los cilindros de madera se dividieron por anillo de crecimiento, posteriormente, se agruparon en tres secciones (interna, media y externa). En cada anillo se midió su ancho con un piedemetro digital, marca Mitutoyo® en estado saturado, posteriormente se pesaron en una balanza analítica marca Velab®

con aproximación de diezmilésimas de gramo. Los anillos de crecimiento se colocaron en cajas de Petri dentro de una estufa de secado marca Grieve® modelo LW -201C a una temperatura de  $100 \pm 2$  °C hasta obtener un peso constante (peso anhidro), el cual se alcanzó a las 48 horas, los datos se capturaron en el paquete estadístico Excel® para su posterior procesamiento.

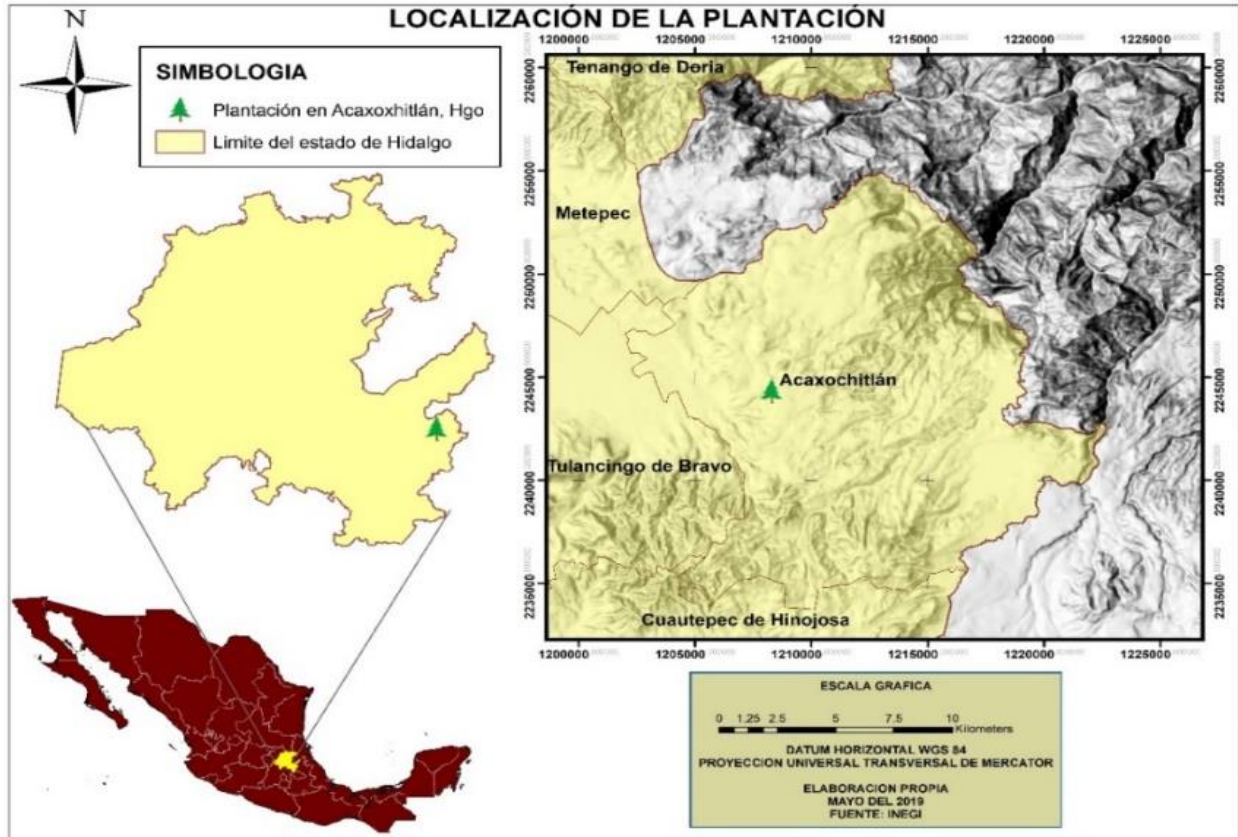


Figura 1. Localización de la plantación de *Pinus greggii* var. *australis*

La densidad básica de cada muestra de madera se obtuvo con el método de núcleos de incremento establecido en la norma ASTM D2395-17, con los valores de volumen saturado y peso anhidro, aplicando la fórmula (1) (ASTM, 2017).

$$DB = \frac{P_o}{V_s} \quad (1)$$

Donde:

DB = Densidad básica (g/cm<sup>3</sup>)

Po = Peso anhidro

Vs = Volumen saturado

La densidad básica se clasificó con la tabla presentada por Sotomayor (2005), la cual se basa en los valores promedio de las especies. Las propiedades mecánicas se determinaron con la fórmula (2).

$$R = A\rho^b \quad (2)$$

Donde:

$R$  = La propiedad mecánica  
 $\rho$  = Es la densidad básica ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $A$  y  $b$  = Parámetros estimados

Los valores de los parámetros reportados por Torres-Ceballos (2020), que fueron utilizados en la estimación de las propiedades mecánicas de *Pinus greggii* var. *australis*, se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Valores de los parámetros para determinar las propiedades mecánicas

Propiedad mecánica		Parámetros estimados	
		A	b
Flexión estática	Módulo de Elasticidad (MOE)	191.045	1,02
	Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (ELP)	792	1,18
	Módulo de Ruptura (MOR)	1.507	1,27
Compresión paralela	Módulo de Elasticidad (MOE)	209.127	1,14
	Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad (ELP)	460	1,27
	Módulo de Ruptura (MOR)	696	1,36
Dureza Janka	Cara Lateral (L)	1.248	1,94
	Cara Transversal (T)	1.225	1,76

Los resultados se analizaron mediante un análisis de regresión lineal múltiple, considerando como variables independientes (X) la ubicación de los árboles en la plantación, el árbol y la ubicación radial del anillo de crecimiento, mientras que la densidad básica, ancho de anillos de crecimiento y contenido de humedad de los cilindros de madera, fueron las variables dependientes (Y). El análisis de varianza se obtuvo mediante el procedimiento PROC GLM (modelo lineal estandarizado) del sistema SAS® (SAS Institute Inc, 2002). Dado que se encontraron diferencias estadísticas significativas dentro de las variables analizadas, se realizaron pruebas de medias de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ). Adicional a lo anterior, se efectuaron correlaciones ( $p < 0,05$ ) para mostrar la relación de la densidad básica con el ancho de anillos.

## RESULTADOS

### Densidad Básica

El promedio general de la densidad básica fue  $0,47 \text{ g/cm}^3$ , con una gran variación radial, como lo expresa el rango estadístico encontrado  $R = 0,44$ , los valores menores se ubican en la sección interna (cerca de la médula) y los mayores en la parte externa (cerca de la corteza). Así mismo, existieron diferencias estadísticamente significativas entre las tres secciones (interna, media y externa) (Cuadro 2).

El análisis de varianza muestra que la ubicación del árbol, el árbol y anillo dentro del árbol influyen sobre la densidad básica (Cuadro 3).

El valor de la densidad básica de los árboles provenientes de los bordes ( $0,474 \text{ g/cm}^3$ ) es mayor al obtenido de los árboles del interior de la plantación ( $0,458 \text{ g/cm}^3$ ), la diferencia es estadísticamente significativa de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

**Cuadro 2.** Valores generales de la densidad básica y variación radial de médula a corteza

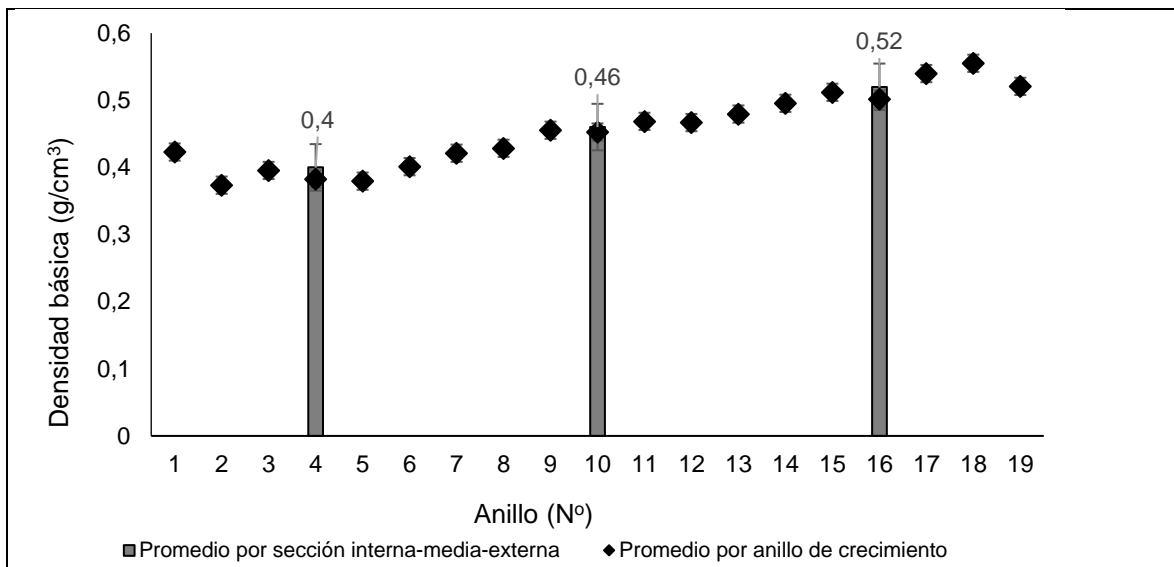
Valores		Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )
Mínimo		0,31
Máximo		0,75
Media general (n = 260)		0,47 ± 0,005
Sección dentro del árbol	Interna (n=68)	0,40 ± 0,006 c
	Media (n=96)	0,46 ± 0,006 b
	Externa (n=96)	0,52 ± 0,008 a

± Error estándar de la media. Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ )

**Cuadro 3.** Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica

Fuente de variación	Grados libertad	F calculada	Pr > F
Ubicación del árbol	1	6,89	0,0093
Árbol	15	7,16	< 0,0001
Anillo dentro del árbol	18	17,85	< 0,0001

La variación radial de la densidad básica presentó la tendencia general Tipo I (**Figura 2**), que consiste en un incremento de esta variable a partir de la médula en dirección de la corteza (Panshin & De Zeeuw, 1980).



**Figura 2.** Variación radial (médula-corteza) de la densidad básica promedio de la madera 16 árboles.

### Ancho de Anillos de Crecimiento

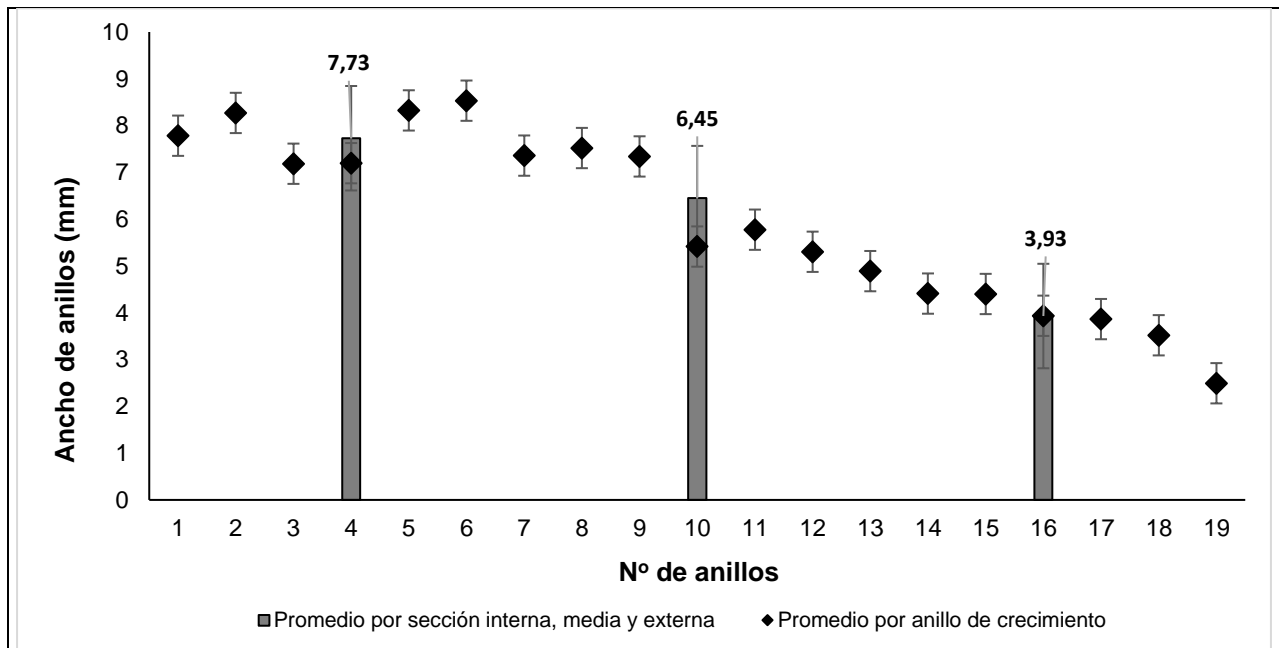
El ancho de anillos de crecimiento presentó un promedio general de 5,67 mm, con una gran variación radial, como lo expresa el rango estadístico encontrado ( $R = 12,18$ ), los valores menores se ubican en la sección externa (cerca de la corteza) y los valores mayores en la parte interna (cerca de la médula).

Así mismo, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las tres secciones (interna, media y externa) (**Cuadro 4**), por lo tanto, la tendencia radial fue la disminución a partir de la médula y en dirección de la corteza (**Figura 3**).

**Cuadro 4.** Valores generales del ancho de anillos de crecimiento y la variación radial de médula a corteza

Valores		Ancho de anillos (mm)
Mínimo		1,08
Máximo		13,26
Media general (n = 260)		5,67 ± 0,159
Sección dentro del árbol	interna (n=68)	7,73 ± 0,309 a
	Media (n=96)	6,45 ± 0,203 b
	Externa (n=96)	3,45 ± 0,158 c

± Error estándar de la media. Medias con letras distintas para una misma variable son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ )



**Figura 3.** Variación radial (médula-corteza) del ancho de anillos de crecimiento de 16 árboles

El análisis de varianza muestra que la ubicación del árbol no influye en el ancho de anillos de crecimiento, mientras que el árbol y anillo dentro del árbol si presentan una influencia en los resultados encontrados (**Cuadro 5**). El ancho de los anillos de crecimiento de los árboles del borde fue estadísticamente similar al presentado por los árboles del interior, de acuerdo con la prueba de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ); el valor promedio en árboles del borde fue de 5,736 mm, mientras que en los del interior fue de 5,598 mm.



**Cuadro 5.** Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para el ancho de anillos de crecimiento

Fuente de variación	Grados libertad	F calculado	Pr > F
Ubicación del árbol	1	0,44	0,5094
Árbol	15	3,33	< 0,0001
Anillo dentro del árbol	18	18,53	< 0,0001

### Correlación de la Densidad Básica con el Ancho de Anillos de Crecimiento

La densidad básica y el ancho de anillos de crecimiento presentó una correlación significativa y negativa ( $p < 0,05$  y  $r = - 0,51$ ), lo que indica que a menor densidad básica mayor amplitud de anillos de crecimiento.

### Propiedades Mecánicas

La clasificación de las propiedades mecánicas y la densidad básica se realizó con base en las tablas presentadas por Sotomayor (2005). Los resultados de las propiedades mecánicas en su mayoría se clasifican como bajas, con excepción del Módulo de elasticidad (MOE) en flexión estática que se clasifica como media, al igual que la densidad básica (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Comparación de los resultados de la densidad básica y propiedades mecánicas de la madera de *Pinus greggi* var. *australis* con trabajos con densidad básica similar

Especie	Densidad básica (g/cm <sup>3</sup> )	Flexión estática (kg/cm <sup>2</sup> )			Compresión paralela (kg/cm <sup>2</sup> )			Dureza Janka (kg)	
		MOE	ELP	MOR	MOE	ELP	MOR	L	T
<i>P. greggii</i> var. <i>australis</i>	0,466	87.601 c	321 b	571 b	87.487 b	174 b	246 b	288 b	319 b
<i>P. greggii</i> Engelm. <sup>1</sup>	0,480	90.395 c	333 b	594 b	90.612 b	181 c	257 b	301 b	337 b
<i>P. maximinoi</i> <sup>2</sup>	0,497	75.183 b	NR	291 a	NR	139 b	NR	185 a	234 b
<i>P. patula</i> <sup>3</sup>	0,508	81.699 c	734 d	1.121 d	86.196 b	193 c	254 b	NR	NR
<i>Juniperuss fláccida</i> var. <i>poblana</i> <sup>4</sup>	0,505	43.377 b	448 c	839 c	62.711 b	481 e	643 e	410 c	487 c
Clasificación	c	b c	b c d	a b c d	b	b c e	b e	a b c	b c

MOE = Módulo de Elasticidad, ELP = Esfuerzo al Límite de Proporcionalidad, MOR = Módulo de Ruptura, L = Cara lateral, T = Cara transversal, NR = No Reportado. (<sup>1</sup>Torres-Ceballos, 2020; <sup>2</sup>Campos, 2015; <sup>3</sup>Yoza et al., 2015, <sup>4</sup>Borja et al., 2010); a = Muy baja, b = baja, c = media, d = alta, e) muy alta.

## DISCUSIÓN

### Densidad Básica

La densidad básica presentó diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre árboles y en dirección radial (médula-corteza). El promedio de la densidad básica de los árboles evaluados de *Pinus greggii* var. *australis* fue 0,47 g/cm<sup>3</sup>, con una variación, de mayor a menor de la parte externa a la interna, lo anterior es atribuido a la edad de la plantación (19 años), que presenta una mayor proporción de madera juvenil (Moore & Cown, 2017) y a la disminución de ancho de anillos cercanos a la corteza (Goche-Télles et al., 2017). El promedio reportado fue similar al encontrado por López & Valencia (2001) y Torres-Ceballos (2020) en *Pinus greggii* Engelm., colectado en rodales naturales y edades superiores a 30 años; esto no coincide con lo reportado por García-Aguilar et al. (2017), quienes mencionan que existen diferencias en densidad básica cuando se obtienen muestras de diferentes condiciones de crecimiento y edad de los árboles.

La prueba de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) indica que existen diferencias estadísticas entre el valor de la densidad básica de los árboles provenientes de los bordes ( $0,47 \text{ g/cm}^3$ ), con el valor obtenido de los árboles del interior de la plantación ( $0,45 \text{ g/cm}^3$ ), lo que puede estar relacionado con el ancho de anillos, ya que estos fueron más angostos en los árboles del borde, lo que origina una densidad básica más alta (Goche-Télles *et al.*, 2017).

Estos resultados no coinciden con lo presentado por Nava-Cruz *et al.* (2007), quienes reportaron un crecimiento mayor en volumen y menor en peso en árboles del borde, lo que generaría una densidad básica menor, debido a que en el borde el ambiente es más cálido e iluminado y con menor competencia entre árboles (Rodríguez *et al.*, 2011).

La variación radial encontrada coincide con lo reportado en *P. oocarpa* por Gutiérrez-Vázquez & Flores-Montaño (2019) y *Pinus patula* por Goche-Télles *et al.* (2011), lo que es atribuido a la presencia de madera juvenil, a la disminución del ancho de anillos con respecto a la edad y a una mayor proporción de madera tardía en los anillos cercanos a la corteza.

Con respecto a la clasificación de la madera, se observa que fue similar (madera ligera) a *Picea glehnii* (Tanabe *et al.*, 2018), mientras que fue mayor a lo reportado para maderas provenientes de plantaciones con edades similares, siendo clasificadas como muy ligeras (Gryc *et al.*, 2011; Auty *et al.*, 2014), esto es atribuido a la especie, procedencia y a la mayor proporción de madera juvenil.

### Ancho de Anillos de Crecimiento

El ancho de anillos de crecimiento presentó un valor promedio de 5,67 mm, el cual fue inferior a *Pinus greggii* establecido en Michoacán (11,9 mm) de 10 años edad (Ramos, 2015), y a *Pinus patula* Schltl. *et* Cham. de Oaxaca (8,45 mm) de 21 años de edad (García *et al.*, 2017); la diferencia la atribuyen a la edad de la plantación y calidad de sitio, debido a que los árboles ubicados en sitios con mejor calidad muestran crecimiento más activo (Mora *et al.*, 2015).

Con respecto a la variación radial, los valores más bajos se encontraron en la parte externa (cerca de la corteza), lo que coincide con Goche-Télles *et al.* (2017), en *Pinus patula*; este comportamiento es atribuido a que los árboles presentan una etapa de rápido crecimiento inicial, que da como resultado madera de menor calidad conocida como madera juvenil, este tipo de madera presenta una mayor proporción de madera temprana, la cual va disminuyendo con la edad del arbolado (McLean, 2019); también, se atribuyen a los cambios en las condiciones climáticas (temperatura y precipitación) durante el período de crecimiento (Kiaei *et al.*, 2012).

El modelo de regresión lineal es un método que por su sencillez y buenos resultados ha sido utilizado para la determinación de las propiedades mecánicas (Torres-Ceballos, 2020; Saporiti *et al.*, 2014), encontrando correlaciones significativas entre la densidad y las propiedades mecánicas de la madera (Zhu *et al.*, 2015).

La correlación entre densidad básica y ancho de anillos ( $r = -0,51$ ), representa una dependencia negativa media entre ambas variables (Hernández-Sampieri *et al.*, 1997), el valor negativo indica que a medida que la densidad básica aumenta el ancho de anillos disminuye; coincidiendo con Zeller *et al.* (2017) en *Pinus sylvestris* y superior a lo reportado por Goche-Télles *et al.* (2017) en *Pinus patula* ( $r = -0,44$ ).

En las coníferas, el incremento de la tasa de crecimiento generalmente conduce a un mayor aumento en la madera temprana generando una densidad básica baja (Zeidler y Šedivka, 2015); la madera temprana presenta traqueidas con diámetros relativamente grandes y paredes celulares delgadas (Olivar *et al.*, 2015); un aumento en el ancho del anillo conduce a una proporción menor de madera tardía, lo cual está estrechamente relacionada con la disminución de la densidad de la madera (Gryc *et al.*, 2011).

El coeficiente de determinación entre densidad básica y ancho de anillos ( $R^2 = 0,25$ ) indica que solo el 25% del ancho de anillos fue explicado por la densidad básica, siendo similar a lo reportado por Goche-Télles *et al.* (2017), por lo que lleva a considerar que otros factores como edad del cambium, tasa de



crecimiento, y presencia de madera juvenil (Auty *et al.*, 2013), así como las condiciones del medio ambiente donde se desarrollan (Hara *et al.*, 2018), pudieron interactuar con el ancho de anillos. Por otro lado, Gogoi *et al.* (2020), utilizan un modelo de regresión lineal múltiple donde la edad y ancho de anillos, muestran ser mejores predictores de la densidad de la madera.

### Propiedades Mecánicas

Los resultados de las propiedades mecánicas estimadas en *P. greggii* var. *australis*, son similares a los reportados por Torres-Ceballos (2020), en *P. greggii*, con excepción de ELP en compresión paralela, la similitud en resultados puede estar relacionado con la densidad básica, ya que esta se clasifica como media en las dos especies. Los valores bajos en resistencia y dureza, indican que la madera de esta especie obtenida en esta plantación no es apta para uso estructural, no obstante, puede emplearse como madera redonda o en escuadrías (Letourneau *et al.*, 2014), así como en elementos no estructurales como: molduras, peldaños de escaleras, mangos de herramientas de trabajo ligero (Borja *et al.*, 2010).

Los resultados en compresión paralela resultaron ser inferiores en ELP encontrado en *Pinus patula* (Yoza *et al.*, 2015); así como, a los valores de MOR y ELP de *Juniperus fláccida* var. *poblana* (Borja *et al.*, 2010), (Cuadro 3). Por otro lado, fue superior al valor de ELP reportado en *Pinus maximinoi* (Campos, 2015) y el MOE en *Juniperus fláccida* var. *poblana* (Borja *et al.*, 2010), estas diferencias pueden ser atribuidas a la edad, la especie, presencia de madera juvenil y la densidad básica, características que fueron diferentes en las especies mencionadas.

En flexión estática (**Cuadro 3**) se obtuvieron valores inferiores a lo reportado por Yoza *et al.* (2015) en *Pinus patula* en MOR y ELP, así también en MOR y ELP encontrados en *Juniperus fláccida* var. *poblana* (Borja *et al.*, 2010) lo que puede ser atribuido a que la densidad básica de ambas especies fue superior a los valores encontrados en este trabajo. Por otro lado, fueron superiores en MOE y MOR con respecto a lo presentado por Campos (2015) en *Pinus maximinoi* lo que puede atribuirse a la edad de los árboles (11 años) y a una densidad básica menor en este trabajo.

Los resultados de dureza Janka fueron superiores a lo reportado por Campos (2015) en *Pinus maximinoi*, lo que puede ser atribuido a la edad del arbolado (11 años). Por otro lado, fueron inferiores a lo reportado en *Pinus greggii* (Torres-Ceballos, 2020), y en *Juniperus fláccida* var. *poblana* (Borja *et al.*, 2010), lo que puede estar relacionado con la densidad básica de las especies, que fue mayor a la encontrada en este estudio.

Los resultados muestran una clara relación de la densidad básica de la madera con las propiedades mecánicas (Walford y Chapman, 2010; Letourneau *et al.*, 2014), como lo muestran los coeficientes de correlación ( $r = 0,73 -0,95$ ) entre la densidad básica y las propiedades mecánicas (MOR, MOE, ELP y dureza) reportados por Villarino *et al.* (2020), Missanjo y Matsumura, (2016) y Zhu *et al.* (2015), reforzando lo encontrado es este trabajo.

### CONCLUSIONES

La ubicación radial del anillo de crecimiento dentro del árbol influyó en la densidad básica y ancho de anillos de crecimiento, mientras que el efecto de borde solo influyó en la densidad básica, encontrando valores inferiores en los árboles encontrados en el centro de la plantación comparados con los presentes en el borde.

La madera de *Pinus greggii* var. *australis* evaluada se clasifica como madera ligera con relación a la densidad básica, por lo que la madera de plantaciones de esta especie con edades de 19 años no es adecuada para darle un uso estructural dados los bajos valores de resistencia y dureza encontrados, sin embargo, puede ser utilizada en usos que no requieran de mayor resistencia, como pasamanos de escaleras, madera torneada y artesanías. Los anillos de crecimiento ofrecen una perspectiva precisa y confiable al ser aplicado a estudios con diversos fines, por ejemplo, estudios dendrocronológicos.

El uso de la densidad básica como variable utilizada para estimar las propiedades mecánicas puede ser utilizado como un método no destructivo, debido a la similitud encontrada en trabajos realizados con método destructivo en especies con densidades similares.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al dueño de la plantación por la información y todas las facilidades otorgadas para la toma de datos.

## REFERENCIAS

- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Pérez, MA., & Prieto-García, F. (2010).** Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*, 26(2): 137-150. En: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v26n2/v26n2a2.pdf>
- ASTM (2017).** D 2395-17. Standard Test Methods for Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Base Materials. Philadelphia. USA. 13 p. American Society for Testing and Materials.
- Auty, D., Gardiner, B.A., Achim, A., Moore, J.R. & Cameron, A.D. (2013).** Models for predicting microfibril angle variation in Scots pine. *Annals of Forest Science* 70(2): 209–218. <https://doi.org/10.1007/s13595-012-0248-6>
- Auty, D., Achim, A., Macdonald, E., Cameron, A.D. & Gardiner, B.A. (2014).** Models for predicting wood density variation in Scots pine. *Forestry*, 87(3): 1-10. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu005>
- Borja de la R., A., Machuca V.R., Fuentes, S.M., Ayerde, D.L., Fuentes L.M. & Quintero A.A. (2010).** Caracterización tecnológica de la madera de *Juniperus flaccida* var. *poblana* Martínez. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16(2): 261-280. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.083>
- Campos W, C.A. (2015).** Determinación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Pinus maximinoi* H. E. Moore; Cobán, Alta Verapaz. Tesis Lic. Universidad Rafael Landívar. San Juan Chamelco, Alta Verapaz, Guatemala. 227 p. En: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/22/Campos-Christian.pdf>
- CONAFOR (2020).** El Sector Forestal Mexicano en Cifras 2019. Comisión Nacional Forestal. Zapopán, Jalisco, México. 104 p. Comisión Nacional Forestal, México. En: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7749EI%20Sector%20Forestal%20Mexicano%20en%20Cifras%202019.pdf>
- Donahue, J.K. & López-Upton, J. (1999).** A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in México. *SIDA Contribution to Botany*, 18(4): 1083-1093. En: <https://www.jstor.org/stable/41967722>
- García Aguilar, J.A., Velazco, V.A., Rodríguez, G. & Enríquez del V., J.R. (2017).** Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schltld. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(44): 132-154. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i44.108>
- Goche Télles, J., Rodríguez, R., Palacios, C., Prieto, J.A., Capulín, J. & Razo, R. (2017).** Relación entre densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía de *Pinus patula* de Hidalgo, México. In Acevedo S., O. A. Tópicos Agropecuarios. Pachuca, Hidalgo, México, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 83-96 p.
- Goche Télles, J., Velázquez, A., Borja de la R., A., Capulín, J. & Palacios, C. (2011).** Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltld et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(7): 71-78. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i7.568>
- Gogoi, B.R., Sharma, M. & Sharma, C.L. (2020).** Radial variation of wood density in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon. *The Indian Forester*, 146(8): 730-735. <https://doi.org/10.36808/ifi/2020/v146i8/154858>
- González, H., Maiti, R., Kumari, A. & Sarkar, N. (2016).** Variability in wood density and wood fibre characterization of woody species and their possible utility in Northeastern Mexico. *American Journal of Plant Sciences*, 7(7): 1139-1150. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.77109>

- Gryc, V., Vavřík, H. & Horn, K. (2011).** Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species. Journal of Forest Science, 57(3): 123-130. <https://doi.org/10.17221/18/2010-JFS>
- Gutiérrez Vázquez, B.N. & Flores Montaña, A. (2019).** Patrón y magnitud de la variación de la densidad de la madera en rodales semilleros de *Pinus oocarpa*. Madera y bosques, 25(3). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531615>
- Hara, E., Mwabumba, L. & Missanjo, E. (2018).** Within and between-tree variation in growth ring width of *Pinus oocarpa* Wood. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 13(1): 21-26. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2018.13.555854>
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C. & Baptista Lucio, P. (1997).** Metodología de la investigación. McGraw-Hill, México. 497 p.
- Kiaei, M., Khademi, H., Hemmasi, A.H. & Samariha, A. (2012).** Ring width, physical and mechanical properties of Eldar Pine (Case Study on Marzanabad Site). Cellulose chemistry and technology, 46(1-2): 125-135. En: [https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT1-2\(2012\)/p.125-135.pdf](https://www.cellulosechemtechnol.ro/pdf/CCT1-2(2012)/p.125-135.pdf)
- Letourneau, J., Medina, A.A., Andia, R., Andenmatten, E., De Agostini, N. & Mantilaro, N. (2014).** Caracterización xilo-tecnológica de la madera de una plantación adulta de *Pinus ponderosa* de la Patagonia Argentina. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 40(2): 196-201. Disponible en <http://ria.inta.gov.ar/sites/default/files/trabajosenprensa/art.7letourneauxilo.pdf>
- López, M. & Valencia, S. (2001).** Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. Madera y Bosques, 7(1): 37-46. <https://doi.org/10.21829/myb.2001.711317>
- López Upton, J., Ramírez Herrera, C., Plascencia Escalante, O. & Jasso Mata, J. (2004).** Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. Agrociencia, 38(4):457-464. En: <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/338/338>
- McLean, P. (2019).** Wood properties and uses of Scots Pine in Britain. Forestry Commission Research Report. Forestry Commission, Edinburgh. Edinburgh Scotland. 36 p. En: [www.forestryresearch.gov.uk/publications](http://www.forestryresearch.gov.uk/publications)
- Missanjo, E. & Matsumura, J. (2016).** Wood density and mechanical properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. Forests, 7(7): 135. <https://doi.org/10.3390/f7070135>
- Moore, J.R. & Cown, D.J. (2017).** Corewood (juvenile wood) and Its Impact on wood utilization. Current Forestry Reports, N° 3. Pp: 107-118. <https://doi.org/10.1007/s40725-017-0055-2>
- Mora, F., Muñoz, R., Meza, V. & Fonseca, W. (2015).** Factores edáficos que influyeron en el crecimiento de *Vochysia guatemalensis* en la región Huetar Norte de Costa Rica. Agronomía Costarricense, 39(1): 71-89. <https://doi.org/10.15517/rac.v39i1.19547>
- Musalem Santiago, M.A. & Martínez Cantera, G. (2003).** Monografía de *Pinus greggii* Engelm. Chapingo, México. INIFAP. 230 p.
- Nava Cruz, Y., Maass, M., Briones, O. & Méndez, I. (2007).** Evaluación del efecto de borde sobre dos especies del bosque tropical caducifolio de Jalisco, México. Agrociencia, 41(1): 111-120. En: <https://agrocienciacolpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/522/522>
- Nowak, T., Patalas, F. & Karolak, A. (2021).** Estimating mechanical properties of wood in existing structures-selected aspects. Materials, 14(18) 1941. <https://doi.org/10.3390/ma14081941>
- Olivar, J., Rathgeber, C. & Bravo, F. (2015).** Climate change, tree-ring width and wood density of Pines in Mediterranean environments. IAWA Journal, 36(3): 257-269. <https://doi.org/10.1163/22941932-20150098>
- Panshin, A.J. & De Zeeuw, C. (1980).** Textbook of wood technology. 4a Ed. McGraw-Hill. New York, NY. USA. Pp: 249-281.
- Ramírez Herrera, C., Vargas, J. & López, J. (2005).** Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana, N° 72. Pp: 1-16. <https://doi.org/10.21829/abm72.2005.997>

- Ramos, A. (2015).** Evaluación del crecimiento en cuatro plantaciones de pino en el estado de Michoacán. Tesis Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 127 p. En: [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB\\_UMICH/204/1/FITECMA-M-2015-0618.pdf](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/jspui/bitstream/DGB_UMICH/204/1/FITECMA-M-2015-0618.pdf)
- Rodríguez, L., Lozada, R., Mora, A. & Lugo, L. (2011).** Efecto de borde en sistemas de enriquecimiento en fajas, Reserva Forestal Imataca, Venezuela. Revista Forestal Venezolana, 1(55): 61-73. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/33488>
- Rodríguez Laguna, R., Razo, R., Valencia, S. & Meza, J. (2013).** Características dasométricas de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. var. *greggii* de nueve procedencias en Galeana, Nuevo León. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 4(18): 116-124. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i18.394>
- Saporiti, J., Louzada, L., Santos, J.A., Nunes, L., Anjos, O., Rodrigues, J., Simões, R. & Pereira, H. (2014).** Variation of wood density and mechanical properties of Blackwood (*Acacia melanoxylon* R. Br.). Materials and Design, 56: 975-980. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.12.016>
- SAS (2002).** SAS/STAT Computer Software. User's Guide. Release 9.0. Statistical Analysis System) SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. s/p.
- SEMARNAT (2020).** Reglas de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2021 Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación, México. Ciudad de México, México. 204 p. En: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5609204&fecha=30/12/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5609204&fecha=30/12/2020)
- Sotomayor, J.R. (2005).** Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. Investigación e Ingeniería de la Madera, 1(1): 3-24. En: [https://www.researchgate.net/publication/260752809\\_Caracteristicas\\_mecanicas\\_y\\_clasificacion\\_de\\_150\\_especies\\_de\\_maderas\\_Mexicanas](https://www.researchgate.net/publication/260752809_Caracteristicas_mecanicas_y_clasificacion_de_150_especies_de_maderas_Mexicanas)
- Tanabe, J., Ishiguri, F., Tamura, A., Takashima, Y., Ohshima, J., Iizuka, K. & Yokota, S. (2018).** Within-tree radial and among-family variations in wood density, microfibril angle, and mechanical properties in *Picea glehnii*. Silva Fennica, 52(2) 9914. <https://doi.org/10.14214/sf.9914>
- Torres Ceballos, D.L. (2020).** Estimación y clasificación de las propiedades mecánicas de 149 especies mexicanas de importancia industrial con métodos no destructivos. Tesis Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 93 p.
- Villarino, A.; López Rebollo, J. & Antón, N. (2020).** Analysis of mechanical behavior through digital image correlation and reliability of *Pinus halepensis* Mill. Forests, 11, 1232. <https://doi.org/10.3390/f11111232>
- Walford, G. & Chapman, J.B. (2010).** Evaluation of the strength of shaved steamed *Pinus radiata* poles. New Zealand Journal of Forestry Science, 40: 83-90. En: [https://www.researchgate.net/publication/297142054\\_Evaluation\\_of\\_the\\_strength\\_of\\_shaved\\_steamed\\_Pinus\\_radiata\\_poles](https://www.researchgate.net/publication/297142054_Evaluation_of_the_strength_of_shaved_steamed_Pinus_radiata_poles)
- Yoza, L., Baradit, E. & Acevedo, M. (2015).** Caracterización de las propiedades físico-mecánicas de especies, pino (*Pinus patula*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas. Anales científicos, 76(1): 12-16. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.758>
- Zeidler, A. & Šedivka, P. (2015).** Influence of selected factors on wood density variability in grand fir (*Abies grandis* /Douglas/ Lindl.). Wood Research, 60(1): 33-44. En: <http://www.woodresearch.sk/wr/201501/04.pdf>
- Zeller, L.; Ammer, Ch.; Annigöfer, P.; Biber, P.; Marshall, J.; Schütze, G.; Del Río G., M. and Pretzsch (2017).** Tree ring wood density of Scots Pine and European Beech lower in mixed-species stands compared with monocultures. Forest Ecology and Management, 400: 363-374. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.018>
- Zhu, J. L.; Shi, Y.; Fang, L. Q.; Liu, X. E., and Ji, C. J. (2015).** Patterns and determinants of wood physical and mechanical properties across major tree species in China. Science China Life sciences, 58(6): 602-612. <https://doi.org/10.1007/s11427-015-4847-y>