



## Propiedades físicas y biomasa fustal de *Pinus engelmannii* proveniente de una plantación en Durango

### Physical properties and fustal biomass of *Pinus engelmannii* from a plantation in Durango

José Rodolfo Goche-Télles<sup>1\*</sup> ,  
Artemio Carrillo-Parra<sup>2</sup> ,  
Ramón Razo-Zarate<sup>3</sup> ,  
Rodrigo Rodríguez-Laguna<sup>3</sup> ,  
Celina Palacios-Mendoza<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Boulevard Durango s/n. Col. Valle del Sur CP. 34120. Durango, Durango, México.

<sup>2</sup>Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera, Universidad Juárez del Estado de Durango. Boulevard del Guadiana #501, Ciudad Universitaria, CP. 34160. Durango, Durango, México.

<sup>3</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Avenida Universidad Km. 1 s/n, Exhacienda Aquetzalpa, CP. 43600. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.

\*Autor de correspondencia:  
jgoche@ujed.mx

#### Artículo científico

Recibido: 07 de abril 2021

Aceptado: 26 de octubre 2022

**Como citar:** Goche-Télles JR, Carrillo-Parra A, Razo-Zarate R, Rodríguez-Laguna R, Palacios-Mendoza C (2023) Propiedades físicas y biomasa fustal de *Pinus engelmannii* proveniente de una plantación en Durango. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(1): e3004. DOI: 10.19136/era.a10n1.3004

**RESUMEN.** Las plantaciones forestales comerciales son una estrategia para proteger de la sobreexplotación a los bosques naturales, por lo que es importante, conocer las propiedades físicas de su madera. El objetivo del trabajo fue determinar la calidad de la madera con base en sus propiedades físicas, y la cantidad de biomasa en una plantación de *Pinus engelmannii* de 17 años. El diámetro normal y altura total se midió en todos los árboles encontrados en 20 sitios rectangulares de 3.0 x 6.0 m distribuidos en cuatro líneas. En cada sitio, con un taladro de Pressler se tomó un núcleo de crecimiento a 1.30 m de altura, en dos árboles dominantes. Las propiedades físicas, densidad básica (DB), contenido de humedad (CH), contracciones volumétricas totales (CVT), y punto de saturación de la fibra (PSF) se determinaron aplicando las fórmulas específicas de cada componente. La biomasa se estimó con los valores de volumen y densidad básica, además de tres ecuaciones alométricas. Los resultados indican que la DB fue de 0.379 g cm<sup>-3</sup>, CH de 199.37%, CVT de 13.63%, PSF de 39.28% y promedio de biomasa fustal de 22.79 kg. El ANOVA mostró que la sección dentro del árbol influyó de manera significativa (p < 0.05) en DB y CH, con correlación negativa (r = - 0.96). La madera de la plantación es homogénea con respecto a la DB, CH y CVT, mientras que las dos primeras variables presentaron variación radial. La biomasa presentó relación con la densidad básica y el diámetro normal.

**Palabras clave:** Contenido de humedad, contracciones volumétricas, densidad básica, ecuaciones alométricas, madera juvenil.

**ABSTRACT.** Commercial forest plantations are a strategy to protect natural forests from overexploitation, so it is important, to know the physical properties of the wood from these plantations. The objective of the work was to determine the quality of the wood based on its physical properties and wood biomass from a *Pinus engelmannii* plantation of 17 years. The normal diameter and total height were measured in all the trees found in 20 rectangular sites of 3.0 x 6.0 m distributed in four lines. At each site, with a Pressler drill, a growth core was taken at 1.30 m high, in two dominant trees. Physical properties, basic density (DB), moisture content (MC), total volumetric shrinkage (TVC), and fiber saturation point (FSP) were determined by applying the typical formulas. The biomass was estimated with the values of volume and basic density, in addition to three allometric equations. The results were: BD = 0.379 g cm<sup>-3</sup>, MC = 199.37%, SVT = 13.63%, FSP = 39.28% and an average stem biomass of 22.79 kg. The ANOVA showed that the section within the tree had a significant influence (p < 0.05) on BD and MC, with a high negative correlation (r = - 0.96). The plantation wood turned out to be homogeneous with respect to BD, MC, and SVT, while the first two variables showed radial variation. The biomass showed a close relationship with the basic density and the normal diameter.

**Key words:** Moisture content, volumetric shrinkage, basic density, allometric equations, juvenile wood.

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de las plantaciones comerciales en México, provienen de la iniciativa de campesinos con pequeñas propiedades que confían en obtener mejores dividendos de utilidades a los generados por algunos cultivos agrícolas (López-López y Caballero-Deloya 2018). En los últimos años el establecimiento de plantaciones forestales es una alternativa para recuperar terrenos degradados, disminuir las tasas de erosión y asegurar el abastecimiento de madera a la industria (Velázquez-Martínez et al. 2013). Ya que las plantaciones convierten la energía solar en productos útiles, además del secuestro de carbono que es de alrededor de  $113 \times 106 \text{ Mg año}^{-1}$  y la liberación de aproximadamente  $82 \times 106 \text{ Mg año}^{-1}$  de  $\text{O}_2$  (Greaves et al. 2015).

En el estado de Durango se establecen en promedio 3 674 ha año<sup>-1</sup> de plantaciones forestales, en donde *Pinus durangensis* Ehren., *Pinus engelmannii* Carr., *Pinus cooperi* Engelm., *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus cembroides* Zucc., y *Pinus chihuahuana* Engelm., son las especies más utilizadas, primordialmente en áreas con insuficiente regeneración natural, áreas bajo manejo forestal y con algún grado de alteración en los suelos (Mejía-Bojórquez et al. 2015). *Pinus engelmannii* Carr. es un pino típico de la Sierra Madre Occidental, se presenta en los estados de Chihuahua, Durango, Sinaloa y Zacatecas (Perry 1991), es una especie maderable de alto valor comercial, muy utilizada en reforestación para programas de conservación y restauración en el noroeste de México (Ávila-Flores et al. 2016).

Las plantaciones forestales adquieren relevancia como sistemas productivos que manejan de manera intensiva y con turnos cortos (20 años) producen mayor cantidad de madera de calidad por unidad de superficie (Romo-Guzmán et al. 2014). Por lo que la industria maderera promueve el establecimiento de plantaciones comerciales que favorezcan el aumento en la proporción de madera juvenil, debido a la intensificación de las prácticas forestales y al impulso de la producción de materia prima rentable (Moore y Cown 2017).

La madera juvenil se extiende a partir de la

médula y hasta un intervalo de 14 a 20 anillos de crecimiento, en *Pinus patula* Schl. Et Cham (Meza-Juárez et al. 2005) y *Pinus sylvestris* L. (Gryc et al. 2011). Las características y propiedades que presenta la madera juvenil son: anillos de crecimiento anchos, traqueidas cortas, pared celular delgada, grano espiralado y densidad básica clasificada como baja (Larson et al. 2001, Ilic et al. 2003, Jovanovski et al. 2005).

La densidad básica de la madera es una propiedad que permite inferir la calidad de los productos maderables que se pueden ofrecer a la industria (García-Aguilar et al. 2017). Mientras que, el contenido de humedad se relaciona con el transporte de materia prima, el secado de la madera y las etapas posteriores en el procesamiento de una variedad de productos (Moreno-Chan et al. 2012). Las contracciones de la madera afectan directamente la estabilidad dimensional de productos de madera y contribuye a la formación de grietas superficiales e internas, así como alabeos y deformaciones (Liu y Wang 2016).

La densidad básica de la madera también es importante para la conversión del volumen de las existencias reales ( $\text{m}^3$ ) a biomasa (t) y en particular para la estimación del contenido de carbono (C), ya que, permite obtener estimaciones precisas de ambos elementos (Ordóñez-Díaz et al. 2015); como lo sustentan investigaciones donde se obtiene la biomasa al multiplicar el volumen por la densidad básica (Barth et al. 2016, Rodríguez-Larramendi et al. 2016, García-García et al. 2019). Hay otras alternativas para la estimación de biomasa como las funciones alométricas basadas en muestreos destructivos que proporcionan estimaciones precisas de la biomasa individual y por unidad de superficie (Soriano-Luna et al. 2015).

En la actualidad, se tiene la necesidad de disponer de información eficiente sobre la cantidad de almacenamiento de biomasa y de los flujos de carbono forestal en los diferentes ecosistemas terrestres, debido a su influencia para mitigar el cambio climático global (Cuevas y Aquino 2020). Por lo que el conocimiento del desempeño de la especie en cuanto a la acumulación de biomasa y sus vincula-

ciones al crecimiento y calidad de madera obtenida es una herramienta fundamental para la toma de decisiones en la actividad silvícola (Barth *et al.* 2016).

A pesar de los trabajos realizados sobre *Pinus engelmannii* Carr., la información es escasa con respecto a las propiedades físicas de la madera proveniente de plantaciones. El objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad de la madera de una plantación de *P. engelmannii* de 17 años mediante la obtención de la densidad básica, contenido de humedad y contracciones volumétricas totales; además de estimar la biomasa de la plantación. La hipótesis formulada es: que existe diferencia en las propiedades físicas entre árboles y dentro de los árboles de la plantación; y existe diferencia entre las ecuaciones utilizadas y la clase diamétrica en el cálculo de biomasa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio se delimitó a una plantación de *P. engelmannii*, establecida en el Ejido El Encinal, municipio de Durango, México. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw), con precipitación media anual de 754.6 mm, exposición zenital, topografía plana, suelo profundo con textura fina de tipo Luvisol (INEGI 2018). La plantación se ubica en el polígono con las coordenadas geográficas 23° 42' 53.1" LN - 105° 03' 38.7" LO- 23° 42' 53.1" LN - 105° 03' 31.0" LO; 23° 42' 50.4" LN - 105° 03' 30.4" LO; 23° 42' 51.4" LN - 105° 03' 37.9" LO; con altitud de 2 597 m tomados con un GPS eTrex 10 marca Garmin. La superficie plantada fue de 15 ha con planta proveniente de vivero y previo al establecimiento en el año 2002 se realizó la roturación del terreno con maquinaria pesada, el diseño de plantación fue a marco real a la distancia de 1.5 x 1.5 m, dando una densidad de 4 444 árboles ha<sup>-1</sup>.

El trabajo de campo se realizó en el año 2019, en 20 sitios rectangulares de 3.0 x 6.0 m, a través de muestreo sistemático con separación de 30 m entre sitio sobre la misma hilera y separación de 15 m entre hileras (CONAFOR 2011). A cada árbol presente en el sitio se le tomó la altura total (At) en m con una Pistola Haga (altímetro), el diámetro normal (d) en cm

con una cinta diamétrica marca Weiss® modelo 283D de 5 m (Romahn y Ramírez 2010). Para la estimación de la biomasa en el fuste, se consideró un total de 113 árboles, con un intervalo de d entre 8 y 21.01 cm; mientras que la At estuvo entre 5.4 y 13.5 m.

Los cilindros de madera se colectaron de dos árboles dominantes por sitio con At entre 6.5 y 13.5 m, con d entre 12 y 21 cm, sin presencia de daños físicos o ataque de plagas, mediante un taladro de Pressler de 5 mm marca Haglöf®, en 40 árboles a una altura de 1.30 m. Los cilindros de madera, previamente identificados, se colocaron en un recipiente con agua, para mantener la muestra saturada y evitar la pérdida de humedad (Goche-Télles *et al.* 2011).

Los cilindros de madera de cada árbol en estado saturado se dividieron en cinco secciones a partir de la médula y en dirección de la corteza, en cada sección se midió el largo con un vernier digital marca Mitutoyo®, para el diámetro saturado se consideró un valor de 5 mm (diámetro del taladro); el peso saturado se obtuvo con la balanza analítica marca Velab® con aproximación de 10 milésimas de gramo (ASTM-D2395 2017). Posteriormente, las secciones se colocaron en cajas Petri y se introdujeron a la estufa de secado Grieve® modelo LW -201C, a temperatura de 100 ± 2°C, hasta obtener un peso seco constante (peso anhidro), el cual se logró a las 48 horas (Goche-Télles *et al.* 2011). A las muestras en estado anhidro se les midió el largo, diámetro y peso (Goche-Télles *et al.* 2011). Con los datos en estado saturado y anhidro se obtuvo la densidad básica mediante el método de máximo contenido de humedad (Smith 1954).

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

Dónde: DB densidad básica (g cm<sup>-3</sup>), Pi peso inicial (saturado) (g), Po peso anhidro (g), 1.53 densidad real de la madera.

El contenido de humedad se obtuvo de acuerdo con la fórmula propuesta por Millers (2013).

$$CH = \frac{P_i - P_o}{P_o} * 100$$

Dónde: CH es el contenido de humedad (%), Pi peso

inicial (saturado) (g), Po peso anhidro (g).

Las contracciones volumétricas totales se determinaron de acuerdo a la fórmula propuesta por Schönfelder (2018).

$$CVT = \frac{V_v - V_0}{V_v} * 100$$

Dónde: CVT contracciones volumétricas totales (%), Vv volumen verde (cm<sup>3</sup>), Volumen anhidro (cm<sup>3</sup>).

El punto de saturación de la fibra se obtuvo de acuerdo con la fórmula propuesta por Fuentes-Salinas (2000).

$$PSF = \frac{CVT}{(0.9 * DB)}$$

Dónde: PSF punto de saturación de la fibra, CVT contracciones volumétricas totales, DB densidad básica.

El volumen se obtuvo con la ecuación presentada por Mejía-Bojórquez et al. (2015) para *Pinus engelmannii* de Durango.

$$V = d^2 * At * 0.980899 * 0.33$$

Dónde: V es volumen en m<sup>3</sup>, d es el diámetro normal (m), At es la altura total (m) y los dos parámetros estimados. Mientras que la estimación de la biomasa del fuste se hizo mediante la ecuación  $Y = V * Db * 1000$ , donde Y es biomasa del fuste (kg), V volumen (m<sup>3</sup>) y Db densidad básica (g cm<sup>-3</sup>) (García-García et al. 2019); y tres ecuaciones alométricas, una determinada para *P. engelmannii* proveniente de rodales naturales del estado de Durango, otra para pinos y una última para *P. patula* (Tabla 1). Las ecuaciones alométricas utilizaron el modelo básico que relaciona diámetro normal y altura total como variables independientes (Lim et al. 2013). Con lo anterior, se busca fortalecer la importancia de la densidad básica en la determinación de la biomasa. Por otro lado, se clasificaron los árboles en clases diamétricas con una amplitud de 10 cm, encontrando tres categorías 10, 15 y 20 cm de diámetro.

El análisis de regresión lineal múltiple:  $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon_{ij}$  se realizó para descubrir si las variables independientes (X<sub>1</sub>) árbol y (X<sub>2</sub>) sección dentro del árbol, influyen en las propiedades físicas estudiadas (DB, CH y CVT), consideradas

variables dependientes (Y) (Kaya-Uyanik y Neşe 2013). El análisis de varianza se determinó con el procedimiento PROC GLM de las siglas en inglés Generalized Linear Models (modelo lineal generalizado) del sistema SAS<sup>®</sup> (SAS 2002), el cual se utiliza como una alternativa a la transformación de la variable dependiente/respuesta y a la falta de normalidad (McCullagh y Nelder 1989), en las variables que mostraron resultados significativos, se realizaron pruebas de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ). Adicional a lo anterior se efectuaron correlaciones de Pearson para mostrar la relación lineal entre la densidad básica con el contenido de humedad y las contracciones volumétricas totales, para la interpretación del nivel de la magnitud de la correlación se utilizó el cuadro de Cohen (Hernández-Lalinde et al. 2018). El efecto de la clase diamétrica sobre la cantidad de biomasa se analizó mediante un análisis de varianza, y la prueba de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ )

## RESULTADOS

### Propiedades físicas

La densidad básica, el contenido de humedad y las contracciones volumétricas totales de la madera de *Pinus engelmannii* en la plantación de 17 años presentaron amplia variación en los valores, como lo reflejan los valores mínimo y máximo reportados para cada una de las propiedades; que es congruente con los valores altos del coeficiente de variación (Tabla 2). Con base en los valores promedio de la densidad básica y las contracciones volumétricas totales se determinó el Punto de Saturación de la Fibra que fue de 39.28%.

El análisis de varianza muestra que la sección del árbol influye en la densidad básica y contenido de humedad ( $P < 0.0001$ ), lo que se confirma con la prueba de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), que muestra una diferencia significativa entre las secciones en que se dividió el cilindro de madera, presentando una variación dentro del árbol en sentido radial (médula-corteza) (Tabla 3).

La correlación entre la densidad básica y las contracciones volumétricas presentaron una correlación débil ( $r = -0.14$ ), mientras que con el contenido de humedad presentó una correlación negativa

**Tabla 1.** Ecuaciones alométricas utilizadas en la estimación de la biomasa del fuste (kg) de *Pinus engelmannii* proveniente de una plantación.

Nombre	Modelo	Ecuación	Autor (s)
EC-1	$B = Exp(-\beta_0) * (d^2 * At)^{\beta_1}$	$B = Exp(-4.682959) * (d^2 * At)^{1.033543}$	Soriano-Luna et al. (2015)
EC-2	$B = \alpha d^{\beta} At^{\gamma} + \varepsilon_i$	$B = 0.0291 * d^{1.74165} * At^{1.16614}$	Vargas-Larreta et al. (2017)
EC-3		$B = 0.09798 * d^{1.67370} * At^{1.02867}$	

Ec = Ecuación, B = biomasa del fuste, d = diámetro normal (cm), At = altura total (m),  $\varepsilon_i$  = error, y los parámetros estimados  $\alpha$ ,  $\beta$ .

**Tabla 2.** Valores generales de las propiedades físicas estudiadas de *Pinus engelmannii*.

Valores	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Contenido de humedad (%)	Contracciones volumétricas totales (%)
Mínimo	0.241	135.02	8.33
Promedio	0.379	199.37	13.63
Máximo	0.499	348.80	18.64
Desviación estándar	0.053	38.563	2.151
Coefficiente de variación (%)	14.785	19.527	16.195

**Tabla 3.** Variación dentro del árbol de las propiedades físicas de *Pinus engelmannii*.

Sección	Densidad Básica (g cm <sup>-3</sup> )	Contenido de Humedad (%)	Contracciones volumétricas totales (%)
1	0.343 ± 0.051 c	231.89 ± 40.75 a	13.66 ± 2.186 a
2	0.379 ± 0.055 b	204.56 ± 47.80 b	13.46 ± 2.081 a
3	0.389 ± 0.044 b	194.43 ± 25.48 b	14.14 ± 1.979 a
4	0.409 ± 0.059 a	185.08 ± 47.99 b	13.66 ± 2.241 a
5	0.418 ± 0.053 a	177.90 ± 37.86 b	13.21 ± 2.318 a

Letras iguales por columna indica que no existe diferencia estadística significativa entre secciones ( $\alpha = 0.05$ )

fuerte ( $r = -0.96$ ,  $P < 0.0001$ ), (Hernández-Lalinde et al. 2018). mostrando que a medida que la densidad básica aumenta el contenido de humedad saturado disminuye (Figura 1).

### Biomasa fustal

En la plantación cada árbol en promedio tuvo 22.79 kg de biomasa, con las características dasométricas promedio de 13.60 cm y 8.8 m de diámetro normal y altura total, respectivamente. La biomasa real del fuste no presenta diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) con los estimados por la EC-1 que fue desarrollada para *Pinus patula*, sin embargo, con las ecuaciones generadas para pinos (EC-2) y *Pinus engelmannii* (EC-3) si presenta diferencias significativas al estimar la biomasa con los mismos datos (Tabla 4).

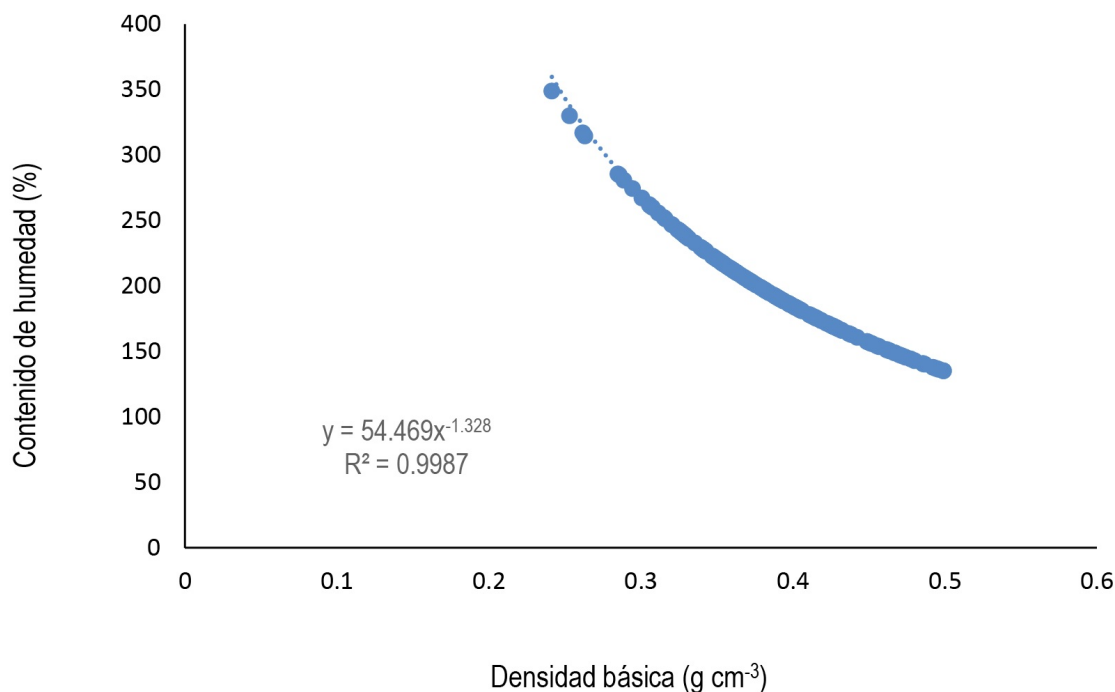
La densidad básica de la madera obtenida por categoría diamétrica de 10, 15 y 20 cm fue de 0.347, 0.383 y 0.396 g cm<sup>-3</sup>, respectivamente, con estos valores de densidad se calculó la biomasa real del fuste por categoría diamétrica. El promedio de la biomasa presentó diferencias significativas ( $P < 0.0001$ ) entre las categorías diamétricas presentadas

(10, 15 y 20), en cada una de las ecuaciones validadas (Tabla 5). La biomasa presentó la tendencia de incrementar con el aumento del diámetro normal en todas las ecuaciones utilizadas (Figura 2).

## DISCUSIÓN

### Propiedades físicas de la madera de la plantación

El monitoreo de la densidad básica en plantaciones es de suma importancia, puede ser un indicador de la calidad de la madera que se ofrecerá a la industria (García-Aguilar et al. 2017). La densidad básica promedio obtenida en este trabajo fue de 0.379 g cm<sup>-3</sup>, la cual se clasifica como baja de acuerdo a lo establecido por Sotomayor-Castellanos (2005), el valor fue menor a lo reportado de rodales naturales por Honorato-Salazar y Meraz-Alemán (2002) y Silva-Arredondo y Nívar-Cháidez (2012). Se considera que valores menores en la densidad de la madera proveniente de plantaciones respecto a rodales nativos es resultado de un aumento en la proporción de madera temprana por anillo de crecimiento (McLean 2019), así como de



**Figura 1.** Relación de la densidad básica con el contenido de humedad y modelo para estimar el CH en función de la densidad básica.

**Tabla 4.** Estadísticos generales de la biomasa estimada del fuste con las diferentes ecuaciones aplicadas.

	Biomasa Real (kg)	Ecuación 1	Ecuación 2	Ecuación 3
Promedio	22.79 ± 2.14 c	22.22 ± 2.20 c	40.06 ± 2.41 b	80.17 ± 4.65 a
Máximo	100.60	97.99	141.41	276.64
Mínimo	0.40	0.37	0.97	2.51

Letras diferentes en la misma fila indican una diferencia significativa entre las ecuaciones ( $\alpha = 0.05$ )

**Tabla 5.** Valores promedio de la biomasa del fuste (kg) encontrado por categoría diamétrica con las ecuaciones estudiadas.

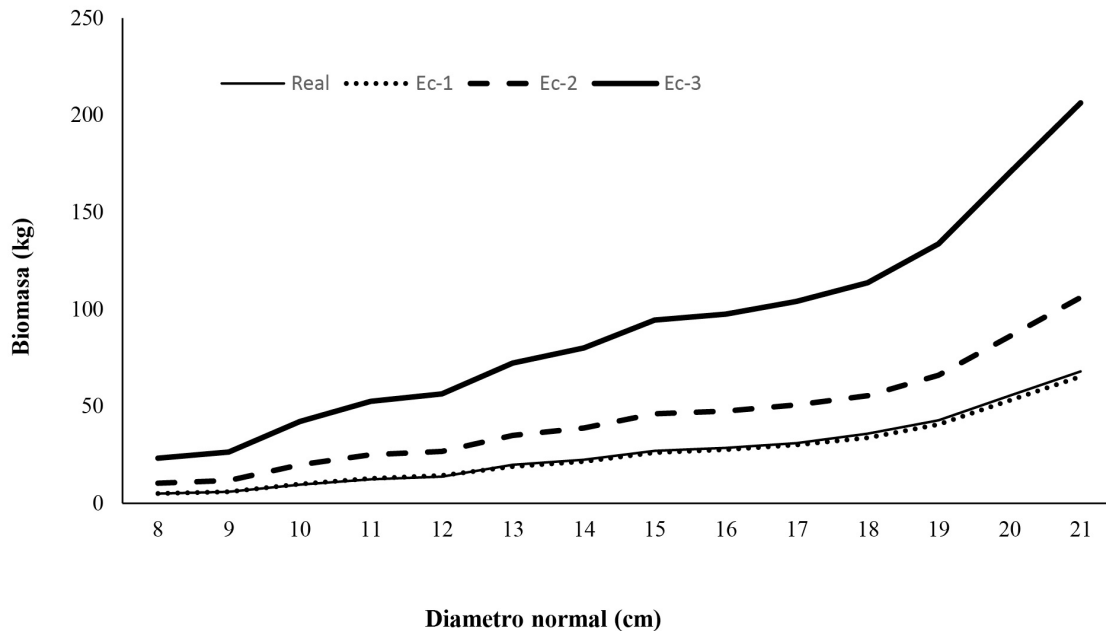
	Categoría diamétrica (cm)		
	10	15	20
Real	9.82 ± 7.05 c	25.80 ± 6.15 c	45.77 ± 18.68 c
Ecuación 1	12.09 ± 06.69 c	23.67 ± 6.15 c	43.47 ± 28.03 c
Ecuación 2	20.64 ± 10.06 b	35.20 ± 10.94 b	57.83 ± 21.31 b
Ecuación 3	48.95 ± 23.44 a	86.17 ± 16.18 a	142.26 ± 84.13 a

Letras diferentes por columna indican diferencias significativas entre las ecuaciones utilizadas (Tukey,  $\alpha = 0.05$ )

madera juvenil (Larson 2001), lo anterior propiciado por una mejor fertilidad del suelo (Watt y Trincado 2019).

En apoyo a lo anterior, se considera que suelos con menor calidad, propician una disminución en el crecimiento de los árboles favoreciendo la producción de madera madura (Sackser *et al.* 2018) y por conse-

cuencia madera con mayor densidad (Greaves *et al.* 2015). Esto también fue observado en madera de *Pinus elliottii* var. *elliottii* que presentó valores de 0.393 g cm<sup>-3</sup> en madera juvenil y 0.479 g cm<sup>-3</sup> en madera madura. Esto trae por consecuencia, un retraso en la edad a la que el arbolado alcanza el diámetro mínimo de corta (García-Aguilar *et al.* 2017), coincidiendo



**Figura 2.** Variación de la biomasa del fuste con las diferentes ecuaciones utilizadas.

con Reyes-Cuauro *et al.* (2012), quienes reportan que a 21 años se tienen densidades de  $0.504 \text{ g cm}^{-3}$  en *Pinus caribaea* var. *hodurensis*.

El contenido de humedad de la madera y su distribución es de interés técnico, su contenido puede variar entre piezas de madera obtenidas de un mismo árbol (Goche-Télles *et al.* 2000). Valores altos encarecen el transporte, reducen la velocidad y calidad en el secado, así como la facilidad de impregnación, también dificultan su transformación en diversos productos (Moreno-Chan *et al.* 2012). El CH promedio registrado en la madera de *Pinus engelmannii* en estado saturado fue de 199.37%, el cual se encuentra en el intervalo de 30 - 200% que presentan los árboles (Rodríguez-Abad *et al.* 2011). A su vez, Reyes-Cuauro *et al.* (2012) reportan para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de 21 años un C.H. de 133.79%, similar a 134% establecido por Dahlen *et al.* (2020) en *Pinus taeda*.

El contenido de humedad cambia con relación a la estación del año en que se obtiene la madera y se reduce a medida que se expone a medio ambiente seco (Visser *et al.* 2014), por lo que madera recién cortada presenta mayor peso (Ofori y Brentuo 2005). La diferencia en el CH entre árboles se puede atribuir

a factores del sitio en donde estos se desarrollan y factores intrínsecos de la especie como características anatómicas, por ejemplo, una fibra con pared celular delgada, su vez presentará mayor proporción de lumen lo que permite mayor captación de agua (Al-Sagheer y Prasad 2010).

Con relación a la contracción volumétrica total, para la madera de los árboles de *Pinus engelmannii* a la edad de 17 años fue de 13.63% en promedio, esto la clasifica como muy alta según Bárcenas-Pazos (1995). Los resultados coinciden con lo reportado por Riesco-Muñoz y Díaz (2007) en *Pinus pinaster* (13.8%) y Schönfelder *et al.* (2018) en madera de *Pinus sylvestris* L, proveniente de una regeneración de matarrasa (13.1%). En general, estas contracciones ocasionarían la presencia de rajaduras y fuertes deformaciones durante el secado (Vignote y Martínez 2006). En cambio, contracciones menores a las encontrados en este trabajo (12.51%) fueron reportadas por Greaves *et al.* (2015) en *Pinus caribaea* (12.9%) y Vega-Britez *et al.* (2019) en *Pinus taeda* L. de 25 años.

El punto de saturación de la fibra (PSF) se encuentra entre 28 y 32% para la madera de cualquier especie (Suirezs y Berger 2010). Se define como

el contenido de humedad en el momento en el cual la madera ha perdido teóricamente todo el vapor de agua y el agua libre contenida en los lúmenes, y las paredes celulares están saturadas de agua higroscópica (Fuentes-Salinas 2000). Pérdidas de humedad inferiores a éste, indica el inicio de las contracciones de la madera (Sotomayor-Castellanos et al. 2021).

El alto valor (39.28%) del PSF determinado en el presente trabajo, puede ser atribuido a la baja densidad de la madera, ya que a medida que la densidad básica disminuye el PSF aumenta (Sotomayor-Castellanos et al. 2021), lo anterior también fue observado por Riesco-Muñoz y Díaz (2007), cuando *Pinus radiata* con una densidad de  $0.34 \text{ g cm}^{-3}$  presentó un PSF de 51%, en contraste, Fuentes-Salinas (2000) reportó un PSF bajo (29.72%) para una densidad básica de  $0.42 \text{ g cm}^{-3}$  en madera de *Pinus montezumae* Lamb.

#### Variación radial de las propiedades físicas

La densidad básica de la madera no es homogénea dentro de un mismo árbol, dado que depende de la edad cambial (Riesco-Muñoz et al. 2019). En este trabajo se observó un incremento desde la médula hasta la corteza, lo anterior también fue reportado por Goche-Télles et al. (2011) en *Pinus patula* de Hidalgo, lo mismo encontró Weber (2005) en *Pinus caribaea* y Gutiérrez-Vázquez y Flores-Montaña (2019) en *Pinus oocarpa*. Estas tendencias se pueden atribuir a la existencia de madera juvenil en los anillos cercanos a la médula, ya que estos anillos muestran mayor proporción de madera temprana y menor proporción de pared celular, causadas por un crecimiento rápido (Gryc et al. 2011).

Por otra parte, el contenido de humedad es mayor en la médula y disminuye a medida que se aproxima a la corteza (Tomczak et al. 2021, Missanjo y Matsumura 2016). La mayor capacidad de almacenar agua puede atribuirse a que cerca de la médula existen anillos de crecimiento más anchos, con mayor proporción de madera temprana, paredes celulares más delgadas y lúmenes amplios (Gogoi et al. 2017).

Como se observa en este trabajo, el contenido de humedad está influenciado negativamente

por la densidad ( $r = -0.96$ ), es decir, a mayor densidad básica, se presenta menor humedad tal y como lo reafirma Rosales-Solórzano (2019) con una correlación ( $r = -0.98$ ,  $P < 0.05$ ) en su trabajo. En consecuencia, se puede considerar a la densidad básica como el factor principal que influye en la variabilidad del contenido de humedad de la madera (Millers 2013).

Contrario a las tendencias presentadas en el contenido de humedad y densidad, los resultados señalan que la contracción volumétrica total de *Pinus engelmannii* no presenta una relación definida con la densidad básica en dirección radial ( $r = -0.14$ ), coincidiendo totalmente con lo establecido por Zeidler (2013). Diferente tendencia fue reportada por Goche-Télles et al. (2000) en *Pinus ayacahuite* var. *veitchi*, mientras que en *Pinus sylvestris* Schönfelder et al. (2018) y Riesco-Muñoz et al. (2008) encontraron valores de  $r = 0.59$  y  $r = 0.62$ , respectivamente.

#### Biomasa del fuste

Los resultados de biomasa no presentaron diferencias estadísticas significativas al emplear la fórmula que utiliza la densidad básica y el volumen (Rodríguez-Larramendi et al. 2016, García-García et al. 2019, Rodríguez-Laguna et al. 2021) con la ecuación alométrica que relaciona el diámetro normal y la altura total (Soriano-Luna et al. 2015) (Tabla 5). Lo anterior alienta el uso de la densidad básica como variable fundamental en la estimación de la biomasa (Silva-Arredondo y Navar-Chaidez 2010). En esta investigación la biomasa de los árboles producidos en la plantación fue en promedio  $26.11 \text{ t ha}^{-1}$ , valor mayor a  $10.78 \text{ t ha}^{-1}$  encontrado en una regeneración de 15 años (Chávez-Pascual et al. 2017), y a los  $7.5 \text{ t ha}^{-1}$  reportados también en una regeneración de *Abies religiosa* (Razo-Zárate et al. 2013).

Por lo que se pudo observar, la biomasa del fuste incrementa con el aumento del diámetro normal, coincidiendo totalmente con Razo-Zárate et al. (2013), Boca et al. (2017) y Hernández-Moreno et al. (2020), quienes reportan incrementos en densidad básica en sentido radial (Tabla 4), corroborando la estrecha relación de la densidad básica con la



biomasa (Rodríguez-Laguna *et al.* 2021). Otros factores que influyen en la biomasa acumulada son las dimensiones de los árboles (Chávez-Pascual *et al.* 2017), así como la edad del arbolado (Rodríguez-Larramendi *et al.* 2016). La misma tendencia se presentó con las cuatro ecuaciones aplicadas (Figura 2), por el contrario, Magalhães *et al.* (2021) en *Pinus ellioti* y *Pinus taeda*, no encuentran diferencias entre las categorías diamétricas. Al respecto, Chávez-Pascual *et al.* (2017) manifiestan que la calidad del sitio, la densidad de plantación y las dimensiones de los árboles determinan la intensidad de acumulación y cantidad de biomasa aérea.

## CONCLUSIONES

La madera de *Pinus engelmannii* producida se clasifica como una madera de baja calidad al considerar la densidad básica, la contracción volumétrica alta la hace susceptible a rajaduras y de-

formaciones. El alto contenido de humedad la hace una madera pesada al momento de transportarla del bosque a la industria. Las características físicas de la madera como densidad básica, el contenido de humedad y las contracciones volumétricas son diferentes entre árboles y aún dentro del mismo árbol. El cálculo de la biomasa se puede realizar mediante ecuaciones que utilizan el volumen y la densidad básica de la madera, debido a que realizan estimaciones similares a las obtenidas por ecuaciones alométricas. La cantidad de biomasa incrementa con el aumento del diámetro normal, y la densidad básica, lo que fortalece la estrecha relación que tiene la biomasa con la densidad básica de la madera.

## AGRADECIMIENTOS

A las autoridades del Ejido El Encinal, municipio de Durango, Durango, México, por las facilidades para la colecta del material.

## LITERATURA CITADA

- Al-Sagheer NA, Prasad AG (2010) Variation in wood specific gravity, density and moisture content of *Dipterocarpus indicus* (Bedd). Among different populations in western Ghats of Karnataka, India. International Journal of Applied Agricultural Research 5: 583-599.
- Ávila-Flores IJ, Hernández-Díaz JC, González-Elizondo MS, Prieto-Ruíz JA, Wehenkel C (2016) *Pinus engelmannii* Carr. In Northwestern Mexico: A review. Pakistan Journal of Botany 48: 2159-2166.
- ASTM D2395-17 (2017) Standard test methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Wood and Wood-Based Materials. ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959 United States. 13p.
- Bárceñas-Pazos GM (1995) Caracterización tecnológica de veinte especies maderables de la Selva Lacandona. Madera y Bosques 1: 9-38.
- Barth SA, Giménez AM, Joseau MJ, Gauchat ME, Fassola HE (2016) Compartimentalización de la biomasa aérea de *Grevillea robusta* A. en función a la densidad inicial de plantación. Scientia Forestalis 44: 653-664.
- Boca T, Fassola H, Crechi E, Barth S, Kelle A, Winck R, Ferrere P (2017) Modelos aditivos de predicción de biomasa aérea de *Pinus elliotii* var. *elliotii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de Misiones Argentina. Quebracho Revista de Ciencias Forestales 25: 5-15.
- Chávez-Pascual EY, Rodríguez-Ortiz G, Enríquez-Del Valle JR, Velasco-Velasco VA, Gómez-Cárdenas M (2017) Compartimentos de biomasa aérea en rodales de *Pinus oaxacana* bajo tratamientos silvícolas. Madera y Bosques 23: 147-161.
- CONAFOR (2011) Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 140p.

- Cuevas CJC, Aquino RM (2020) Ecuaciones de aditividad para la estimación de biomasa aérea de *Pinus cembroides* Zucc. *Madera y Bosques* 26: e2611821. DOI: 10.21829/myb.2020.2611821.
- Dahlen J, Schimleck L, Schilling E (2020) Modeling and monitoring of wood moisture content using time-domain reflectometry. *Forests* 11: 479. DOI: 10.3390/f11040479.
- Fuentes-Salinas M (2000) Estimación del punto de saturación de la fibra (PSF) de las maderas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 6: 79-81.
- García-Aguilar JA, Velazco-Velasco VA, Rodríguez-Ortiz G, Enríquez-Del Valle JR (2017) Influencia de la calidad de sitio sobre el crecimiento de una plantación de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8: 132-154.
- García-García DA, Jiménez-Pérez J, Yerena Yamallel JI, Aguirre-Calderón OA, Alanís-Rodríguez E (2019) Evaluación de carbono almacenado en una plantación de teca (*Tectona grandis* L. F.) en Tizimín, Yucatán, México. *Ciencia UANL* 22: 97. DOI: 10.29105/cienciauanl22.97-2.
- Goche-Télles JR, Fuentes-Salinas M, Borja-De la Rosa A, Ramírez-Maldonado H (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: 83-92.
- Goche-Télles JR, Velázquez-Martínez A, Borja-De la Rosa A, Capulín-Grande J, Palacios-Mendoza C (2011) Variación radial de la densidad básica en *Pinus patula* Schltdl. et Cham. de tres localidades en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 2: 71-78.
- Gogoi BR, Sharma M, Sharma CL (2017) Intra-ring wood density variations in Khasi pine (*Pinus kesiya* Royle ex Gordon). *International Journal of Academic Research and Development* 2: 422-427
- Greaves ED, Marín Y, Visaez F, Hernández VE (2015) Forestry plantations of *Pinus caribaea* in Venezuela as a solar energy collector. *Interciencia* 40: 457-464.
- Gryc V, Vavrčik H, Horn K (2011) Density of juvenile and mature wood of selected coniferous species. *Journal of Forest Science* 57: 123-130.
- Gutiérrez-Vázquez BN, 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: e2531615. DOI: 10.21829/myb.2019.2531615.
- Hernández-Lalinde JD, Espinosa-Castro JF, Peñaloza-Tarazona ME, Rodríguez JE, Chacón-Rangel JG, Tolosa-Sierra CA, Arenas-Torrado MK, Carrillo-Sierra SM, Bermúdez-Pirela VJ (2018) Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*. 37: 587-595.
- Hernández-Moreno JA, Velázquez-Martínez A, Fierros-González AM, Gómez-Guerrero A, Reyes-Hernández VJ, Gil Vera-Castillo JA (2020) Estimación de biomasa aérea y carbono, en rodales con y sin manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Madera y Bosques* 26: e2611802. DOI: 10.21829/myb.2020.2611802.
- Honorato-Salazar JA, Meraz-Alemán R (2002) Caracterización tecnológica de algunas especies de coníferas de la región de el Salto P.N. (Durango). CONAFOR/INIFAP. México. 37p.
- Ilic J, Nortway R, Pongracic S (2003) Juvenile wood characteristics, effects and identification literature review. *Forest and Wood Products Research and Development Corporation*. Australia. 20p.
- INEGI (2018) Aspectos geográficos de Durango. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Durango, Durango. 35p.

- Jovanovski A, Davel M, Mohr-Bell D (2005) Densidad básica de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco en la Patagonia. *Investigaciones Agrarias: Sistemas de Recursos Forestales* 14: 153-160.
- Kaya-Uyanik G, Neşe G, (2013) A study on multiple linear regression analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 106: 234-240.
- Larson PR, Kretschmann DE, Clark III A, Isebrands JG (2001) Formation y properties of juvenile wood in Southern pines. General Technical Report. FPL-GTR-129. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI, USA. 42p.
- Lim H, Lee K-H, Lee KH, Park IH (2013) Biomass expansion factors and allometric equations in an age sequence for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) in southern Korea. *Journal Of Forest Research* 18: 316-322
- Liu J, Wang X (2016) Effects of drying temperature and relative humidity on contraction stress in wood. *BioResources* 11: 6625-6638.
- López-López M, Caballero-Deloya M (2018) Análisis financiero de una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schtdl. et Cham. de pequeña escala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9: 186-206.
- Magalhães TM, Cossa VN, Guedes BS, Monguela-Fanheiro AS (2021) Species specific biomass allometric models and expansion factors for indigenous and planted forests of the Mozambique highlands. *Journal of Forestry Research* 32: 1047-1065.
- McCullagh P, Nelder JA (1989) Generalized linear models. 2da edition. Chapman and Hall, London, United Kingdom. 511p.
- McLean P (2019) Wood properties and uses of Scots pine in Britain. Forestry Commission Research Report. London, UK. 36p.
- Mejía-Bojórquez JM, García Rodríguez LG, Muñoz Flores HJ (2015) Evaluación de plantaciones de cuatro especies forestales en el estado de Durango. *Reaxion Ciencia y Tecnología Universitaria* 2: 1-19.
- Meza-Juárez DJ, Vargas-Hernández JJ, López-Upton J, Vaquera-Huerta H, Borja-De la Rosa A (2005) Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ra Ximhai* 1: 305-324.
- Millers M (2013) The proportion of heartwood in conifer (*Pinus sylvestris* L., *Picea abies* [L.] H. Karst.) trunks and its influence on trunk wood moisture. *Journal of Forest Science* 59: 295-300.
- Missanjo E, Matsumura J (2016) Radial variation in tracheid length and growth ring width of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry* 3: 13-21
- Moreno-Chan J, Walker JCF, Raymond CA (2012) Variation in green density and moisture content of radiata pine trees in the Hume region of New South Wales. *Australian Forestry* 75: 31-42
- Moore JR, Cown DJ (2017) Corewood (juvenile wood) and Its Impact on wood utilization. *Current Forestry Reports* 3: 107-118.
- Ofori J, Brentuo B (2005) Green moisture content, basic density, shrinkage, and drying characteristics of the wood of *Cedrela odorata* grown in Ghana. *Journal of Tropical Forest Science* 17: 211-223.
- Ordóñez-Díaz JA, Galicia-Naranjo BA, Venegas-Mancera NJ, Hernández-Tejeda T, Ordóñez-Díaz MJ, Dávalos-Sotelo R (2015) Densidad de las maderas mexicanas por tipo de vegetación con base en la clasificación de J. Rzedowski: compilación. *Madera y Bosques* 21: 77-216.
- Perry JP (1991) The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, USA. 231p.

- Razo-Zárate R, Gordillo-Martínez AJ, Rodríguez-Laguna R, Maycotte-Morales CC, Acevedo-Sandoval OA (2013) Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19: 73-86.
- Reyes-Cuauro EC, Molina-Caldera M, Will-Valero S, Molina-Lobo YC, Betancourt-Moreno JR (2012) Propiedades físicas de la madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, resinado y no resinado de las plantaciones de Uverito (Monagas, Venezuela). *Revista Forestal Venezolana* 56: 21-28.
- Riesco-Muñoz G, Díaz GJ (2007) Características físicas de la madera de pino procedente de raleos en el Noroeste de España. *Maderas Ciencia y Tecnología* 9: 233-244.
- Riesco-Muñoz G, Imaña-Encinas J, De Paula JE (2019) Densidad de la madera de 59 especies del orden Sapindales procedentes de bosques naturales brasileños. *Madera y Bosques* 25(2): e2521817. DOI: 10.21829/myb.2019.2521817.
- Riesco-Muñoz G, Soilán-Cañas MA, Rodríguez-Soalleiro R (2008) Physical properties of wood in thinned scots pines (*Pinus sylvestris* L.) from plantations in northern Spain. *Annals of Forest Science* 65: 507. DOI: 10.1051/forest:2008026.
- Rodríguez-Abad I, Martínez-Sala R, Capuz Lladro R, Díez Barra R, García-García F (2011) Estudio de la variación del contenido de humedad en el *Pinus pinaster* Ait por medio de la técnica no destructiva del georradar. *Materiales de Construcción* 61: 143-156.
- Rodríguez-Laguna R, Palacios-Romero A, Razo-Zarate R, Delgado-Corral SJ, Goche-Télles R (2021) Ciclo del carbono en un bosque con aprovechamiento forestal en Zacualtipán, Hidalgo. *Ciencia Latina* 5: 3989-3998.
- Rodríguez-Larramendi LA, Guevara-Hernández F, Reyes-Muro L, Ovando-Cruz J, Nahed-Toral J, Prado-López M, Campos-Saldaña RA (2016) Estimación de biomasa y carbono almacenado en bosques comunitarios de la región Frailesca de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7: 77-94.
- Romahn de la Vega CF, Ramírez Maldonado H (2010) *Dendrometría*. Texcoco, Estado de México, Universidad Autónoma Chapingo. 294p.
- Romo-Guzmán D, Navarro Garza H, De los Santos-Posadas HM, Hernández Romero O, López Upton J (2014) Crecimiento maderable y biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Zacualpan, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5: 78-91.
- Rosales-Solórzano ER (2019) Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* 16: 33-42
- Sackser MR, Valdés PA, Grance L, Bohren AV, Aguilera A, Andrade NY, Grance J (2018) Densidad de la madera de *Pinus elliotii* var. *elliotii* Engelm de 21 años de edad, a distintas alturas desde la medula a la corteza; estimación del límite madera juvenil madura. *Revista Forestal Yvyrareta* 26: 29-37.
- Schönfelder O, Zeidler A, Borůvka V, Bílek L, Lexa M (2018) Shrinkage of Scots pine wood as an effect of different tree growth rates, a comparison of regeneration methods. *Journal of Forest Science* 64: 271-278.
- Silva-Arredondo FM, Návar-Cháidez JJ (2012) Estimación de la densidad de madera en árboles de comunidades forestales templadas del norte del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18: 77-88.
- Silva-Arredondo FM, Návar-Cháidez JJ (2010) Factores de expansión de biomasa en comunidades forestales templadas del norte de Durango, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1: 55-62.
- Smith MD (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. 8p.

- Soriano-Luna MA, Ángeles-Pérez G, Martínez-Trinidad T, Plascencia-Escalante FO, Razo-Zarate R (2015) Estimación de biomasa aérea por componentes estructurales en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia* 49: 423-438.
- Sotomayor-Castellanos JR (2005) Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 1: 1-24
- Sotomayor-Castellanos JR, Macedo-Alquicira I, Mendoza-González E (2021) Características higroscópicas de ocho maderas mexicanas. *Revista Ingenierías* 24: 49-63
- Statistical Analysis System (SAS) (2002) SAS/STAT Computer Software. User's Guide. Release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 112p.
- Suirezs TM, Berger G (2010) Descripciones de la propiedades físicas y mecánicas de la madera. EdUNaM, Posadas, Misiones, Argentina. 58p.
- Tomczak K, Arkadiusz T, Naskrent B, Jelonek T (2021) The radial gradient of moisture content of silver birch wood in different seasons. *Silva Fennica* 55: 1-13. DOI: 10.14214/sf.10545.
- Vargas-Larreta B, López-Sánchez CA, Corral-Rivas JJ, López-Martínez JO, Aguirre-Calderón CG, Álvarez-González JG (2017) Allometric equations for estimating biomass and carbon stocks in the temperate forests of North-Western Mexico. *Forests* 8: 269. DOI: 10.3390/f8080269.
- Vega-Britez GD, Elias-Dacosta LP, Velázquez-Duarte JA, Lesmo-Duarte ND, Agüero-Ferreira MA (2019). Propiedades físicas de la madera de *Pinus taeda* en el Distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay. *Quebracho* 27: 37-46.
- Velázquez-Martínez A, Fierros-González AM, Aldrete A, Gómez-Guerrero AMJ, Fernández-Cázares S, De Los Santos- Posadas HM, Llanderal-Ocampo T, González-Guillén MJ, López-Upton J (2013) Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales en México. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 448p.
- Vignote PS, Martínez RI (2006) Tecnología de la Madera. 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 685p.
- Visser R, Berkett H, Spinelli R (2014) Determining the effect of storage conditions on the natural drying of *Radiata pine* logs for use energy. *New Zealand Journal of Forest Science* 44: 3. DOI: 10.1186/1179-5395-44-3.
- Watt MS, Trincado G (2019) Modelling the influence of environment on basic density of the juvenile wood for *Pinus radiata* grown in Chile. *Forest Ecology and Management* 448: 112-118.
- Weber EM (2005) Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina. *Floresta* 35: 487-494.
- Zeidler A. (2013) Shrinkage of Turkish hazel (*Corylus colurna* L.) wood and its within-stem variation. *Forestry Research Reports* 58: 10-16