

Modelos de existencias volumétricas para *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. en el norte de México

Volumetric stock models for *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. in northern México

Luis Manuel Valenzuela-Núñez*, Julio César Ríos-Saucedo**✉, Edwin Amir Briceño-Contreras***, Cristina García-De la Peña*, Enrique Melo-Guerrero****, Juan Hernández-Ortiz*****, Miriam Susana Hernández-Valdivia*****

Valenzuela-Núñez, L. M., Ríos-Saucedo, J. C., Briceño-Contreras, E. A., García-De la Peña, C., Melo-Guerrero, E., Hernández-Ortiz, J., & Hernández-Valdivia, M. S. (2024). Modelos de existencias volumétricas para *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. en el norte de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 32(93), e4491, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2024934491>

RESUMEN

Los estudios de volumen de madera y productividad de mezquite *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. son muy importantes debido a que es una de las pocas especies de las zonas semiáridas del norte de México con potencial de aprovechamiento forestal. Los programas de manejo y esquemas de comercialización de madera de mezquite deben sustentarse en estudios realizados de campo para ajustar modelos y estimar el volumen de madera con métodos no destructivos. El objetivo de esta investigación es proponer una metodología rápida y confiable para desarrollar modelos de volumen aplicados a las poblaciones silvestres de mezquite en el norte de México considerando variables de fácil medición como la altura del árbol y el área de la copa. Las ecuaciones desarrolladas en dos sitios de Chihuahua, México resultaron con un alto grado de confiabilidad que pueden servir como base para la generación de modelos específicos para cada sitio y al mismo tiempo representa una estrategia para la conservación de los recursos forestales de zonas áridas, con la ventaja de que son técnicas no destructivas.

Recibido: 1 de noviembre de 2023 Aceptado: 29 de julio de 2024 Publicado: 30 de septiembre de 2024

*Laboratorio de Biología y Ecología Forestal, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez del Estado de Durango. Av. Universidad s/n, Fracc. Filadelfia, C. P. 35010, Gómez Palacio, Durango, México. Correo electrónico: luisvn70@hotmail.com; cristina.g.delapena@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3385-3005>; <https://orcid.org/0000-0003-0937-4466>

**Campo Experimental Valle del Guadiana, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Durango-Mezquital Km 4.5, C. P. 34170, Durango, México. Correo electrónico: labef.investigacion@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9820-6346>

***Universidades para el Bienestar Benito Juárez García Sede Educativa Francisco I. Madero. Francisco I. Madero, C. P. 27900, Coahuila, México. Correo electrónico: edwinamir320@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9712-2164>

****Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Rancho Universitario. Av. Universidad Km. 1, Ex-Hacienda de Aquetzalapa, C. P. 43600, Tulancingo, Hgo., México. Correo electrónico: emelogro@yahoo.com.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5360-3142>

*****Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco Km. 38.5, C. P. 56230, Texcoco, Edo. de Mex., México. Correo electrónico: jhernandez@chapingo.mx; miriamhernandez0406@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5957-594X>; <https://orcid.org/0000-0002-7608-0276>

✉ Autor para correspondencia

Palabras clave: madera; ecuaciones; zonas áridas; dasometría; conservación.

ABSTRACT

Studies of mesquite *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. wood and productivity are very important because it is one of the few species with potential for forest use in the semi-arid areas of northern Mexico. Management programs and marketing schemes for mesquite wood should be based on field studies to establish models to calculate the volume of timber wood with non-destructive methods. The objective of this research is to provide a methodology the development of mesquite wood estimation models in natural populations of northern Mexico taking into account the tree and the crown area, so that they can be used fast and reliable way. In addition, the ecological characterization of the stands was studied. The equations developed in two sites in Chihuahua, Mexico, resulted with a high degree of reliability. They can serve as a basis for the development of site-specific models. Therefore, they present a strategy for the conservation of forest resources in arid zones, having the advantage of being non-destructive techniques.

Keywords: timber wood; equations; arid zones; dasometry; conservation.

INTRODUCCIÓN

Los rodales de mezquite *Neltuma juliflora* (Sw.) Raf. forman parte de los elementos arbóreos y arbustivos de las zonas áridas y semiáridas de México (Briones & Villarreal, 2001; Jurado-Guerra et al., 2021; Valenzuela-Núñez, Trucios-Caciano, Ríos-Saucedo, Flores-Hernández, & González-Barrios, 2011). Los estudios de caracterización de biomasa y productividad de esta especie son muy importantes por varias razones; entre ellas, porque es una de las pocas especies con potencial de aprovechamiento forestal en las zonas áridas y semiáridas del norte de México (Hernández-Herrera, Valenzuela-Núñez, Flores-Hernández, & Ríos-Saucedo, 2014; Villanueva-Díaz, Hernández-Reyna, & Ramírez-García, 2000; Villanueva-Díaz, Jasso-González, Sánchez-Cohen, & Potisek-Talavera, 2004).

Neltuma juliflora es una especie con alta productividad en condiciones limitantes como son la baja disponibilidad de humedad (Carevic, Delatorre-Herrera, & Delatorre-Castillo, 2017; Villalón-Mendoza, Hernández-Hernández, & Manzanares-Miranda, 2023) y baja disponibilidad de nitrógeno (Baldarelli, Collins, & Ward, 2021; Dudley, Hughes, & Ostertag, 2014). Su importancia en las zonas áridas y semiáridas de México se ve reflejada en la producción de fruto como alimento, tanto para humanos como para el ganado (Fernandes-Soares-Junior et al., 2022; Shackleton, Shackleton, & Kull, 2019), así como en la producción de madera (Wise, vanWilgen, & LeMaitre, 2012).

El aprovechamiento de la madera de *Neltuma juliflora* se ha llevado a cabo a lo largo del tiempo por sus características idóneas para su uso como recubrimiento de pisos, según el National Research Council (NRC, 2002); materia prima para celulosa (Houëtchégnon, Gbèmavo, Ouinsavi, & Sokpon, 2015; Walter & Armstrong, 2014);

elaboración de carbón (Prasad & Tewari, 2016; Walter & Armstrong, 2014) y madera como fuente de combustión por su alto poder calorífico (Kamaleswaran et al., 2016; Shackleton, LeMaitre, van Wilgen, & Richardson, 2015).

Los planes de manejo y programas de comercialización de la madera de *Neltuma juliflora* deben sustentarse en estudios de biomasa realizados directamente en campo con el fin de crear fórmulas que faciliten el cálculo de la producción real de madera en los rodales (Hernández-Herrera et al., 2014). Además, estos estudios podrán servir como base para la predicción de la producción de madera (Alvarez, Villagra, Villalba, Cony, & Alberto, 2011; Aslan, Samberg, Dickson, & Gray, 2018; Hernández-Herrera et al., 2014); así como los estudios de los ciclos de nutrientes (Muturi, Villagra, Villalba, Cony, & Alberto, 2013) y de flujos de energía (LeMaitre, Gush, & Dzikiti, 2015).

Los estudios que se han realizado en la actualidad con el fin de determinar el volumen de madera de los árboles forestales incluyen la estimación de la relación del diámetro del tallo con la densidad de la madera (Ngangyo-Heya et al., 2017), siendo el mismo método para determinar el volumen de madera en arbustos (Alshahrani, 2017).

En México no existe un método universal que se utilice actualmente para obtener volúmenes de madera aprovechable en mezquite, ya que los responsables técnicos por lo general utilizan metodologías distintas (Hernández-Herrera et al., 2014). Es importante el desarrollo de metodologías confiables en la estimación del volumen de madera en las zonas rurales en las que se tienen autorizados los planes y programas de manejo de mezquite y con ello el uso eficiente del recurso (Meza & Osuna, 2003).

El objetivo de la presente investigación fue desarrollar modelos para la estimación volumétrica de madera aprovechable en dos rodales de mezquite en Chihuahua, México, tomando en cuenta los parámetros dasométricos de altura del árbol y área de la copa; de tal forma que se puedan utilizar en los planes y programas de manejo desarrollados en la actualidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en los rodales puros de mezquite *Neltuma juliflora* ubicados en los municipios de Aldama y Satevó del estado de Chihuahua. Al momento de realizar el estudio se contaba con el permiso de aprovechamiento respectivo ante las autoridades gubernamentales. El municipio de Aldama se encuentra a una altitud de 1,270 m y cuenta con un clima de tipo seco templado, según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2000); la temperatura media anual es de 12.8 °C; la precipitación media anual es de 334.2 mm, el régimen de lluvias se presenta de junio a septiembre; la tasa anual de evapotranspiración es de 2,298 mm anuales según el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2016). El municipio de Satevó se encuentra una altitud de 1,378 m, el clima es seco templado (INEGI, 2000) con una temperatura media anual de 12.1 °C, una precipitación promedio anual de 467.3 mm con régimen de lluvias de junio a septiembre y la evapotranspiración anual acumulada promedio es de 2,532.6 mm (IMTA, 2016).

Cálculo de la superficie de los rodales puros de mezquite

Se conformó una base de datos con la información de la Serie VI de Uso de Suelo y Vegetación en escala 1:250,000 (INEGI, 2015). Con base en los datos resultantes se calculó la superficie cubierta por mezquite a escala estatal y regional.

Determinación de la densidad poblacional

El muestreo de la población de mezquite se realizó mediante la técnica de muestreo de vegetación por cuadrante de punto central en cuadrículas de 500 m en los rodales puros de mezquite en cada uno de los sitios de muestreo (Mostacedo & Fredericksen, 2000). En cada punto de muestreo se estableció un punto cuadrante central a partir del cual se tomó la distancia al individuo más cercano en cada uno de los cuadrantes (Sánchez-Velásquez et al., 2002). La información obtenida se utilizó para estimar la densidad de población por hectárea en función de la distancia media estimada (Franco et al., 1995; Meza & Osuna, 2003). Para estimar la densidad absoluta de individuos por hectárea (DAT) fue necesario obtener la distancia media (DM) y el área media (AM) utilizando la siguiente ecuación (Franco et al., 1995; Meza & Osuna, 2003):

$$DM = \frac{\text{Sumatoria de las distancias de los individuos al centro del cuadrante (m)}}{\text{No. de cuadrantes muestreados}}$$

$$AM = (DM)^2$$

$$DAT = \frac{10,000}{AM}$$

Caracterización dasométrica

La caracterización dasométrica se realizó midiendo de cada individuo la altura, los diámetros mayor y menor de la copa, el diámetro de tallo, y el número de tallos de cada árbol tomando en cuenta todo el rango de diámetros, alturas y coberturas. A continuación se estimó el volumen de la madera midiendo los troncos y ramas aprovechables. El criterio para ello fue que los troncos y ramas con diámetro superior a 5 cm y una longitud superior a 100 cm se consideraban madera comercial según lo establecido por Villanueva-Díaz et al. (2004). Las alturas se determinaron utilizando un clinómetro a una distancia horizontal conocida de acuerdo con la siguiente ecuación (Meza & Osuna, 2003):

$$H = (A + B) * C$$

donde:

H = Altura del árbol

A = Lectura a la parte superior de la copa

B = Lectura a la base del tallo

C = Distancia del visor al fuste

Los diámetros de copa (A) se calcularon con los valores del diámetro mayor (DM) y diámetro perpendicular (Dm) con la siguiente ecuación (Meza & Osuna, 2003):

$$A = DM * Dm * 0.7854$$

Determinación del volumen de madera

Los fustes del mezquite no son muy largos y tienen una forma casi cilíndrica, por lo que varios autores (Born & Chojnacky, 1985; Meza & Osuna, 2003; Romahn de la V., Ramírez, & Treviño, 1994) proponen calcular el volumen de madera comercializable mediante el método de Huber. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = Am * L$$

donde:

V = Volumen del fuste

Am = Área de la sección media

L = Longitud del fuste

Análisis estadístico

Se realizó la prueba de homogeneidad de varianza de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos. Al no presentar normalidad, se utilizaron pruebas de Mann-Whitney para la comparación de medianas de las variables altura, área de copa y cantidad de madera por árbol entre áreas de estudio. Se aplicó una prueba de Chi cuadrada para probar diferencia en el número de árboles potencialmente aprovechables

por área y se aplicaron análisis de correlación y regresión lineal simple para la obtención de las ecuaciones de predicción de madera aprovechable. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa PASW Statistics 18 (IBM SPSS) con $P < 0.05$.

RESULTADOS

Densidad poblacional y caracterización dasométrica

La densidad de los rodales de mezquite en Satevó es de 500 individuos por hectárea, mientras que en Aldama de 599. La altura de los individuos en los sitios fue diferente ($U= 2535.5$, $p<0.001$); en Satevó se presentaron los individuos con mayor altura ($x= 3.73$ m) y en Aldama se observaron las alturas menores ($x= 2.94$ m).

Los valores de área de copa de los individuos mostraron diferencias significativas entre sitios ($U= 2030.5$, $p<0.001$). Los árboles en Satevó presentaron áreas de copa más grandes ($x= 24.34$ m²) en relación a los árboles de Aldama ($x= 11.56$ m²). Igualmente los resultados del área basal mostraron diferencias significativas comparando los dos sitios ($U= 1845.00$, $p<0.001$). En Satevó los individuos presentaron los valores de área basal superiores ($x= 0.130$ m²); mientras que en Aldama se presentaron valores de $x= 0.118$ m².

Por tanto, el número de individuos potencialmente cosechable depende del sitio ($\chi^2= 12.786$, g. I.= 1, $p<0.001$). El 64.5% de los individuos en Aldama presentaron características aptas para su aprovechamiento frente a 35.5% de los individuos cosechables de Satevó. La correlación entre el sitio y el número de individuos cosechables fue significativamente baja ($\Phi= 0.267$, $p<0.001$).

Volumen de madera

La cantidad de madera aprovechable estimada resultó ser igual en los dos sitios ($U= 761.50$, $p= 0.384$). La media de la cantidad estimada de madera aprovechable en Aldama fue de 0.805 m³, mientras que en Satevó fue de 0.856 m³.

En Aldama se encontró que existe una correlación positiva buena y significativa entre la altura ($r= 0.860$, $p<0.001$) y la cantidad de madera aprovechable, mientras que para el área del dosel existe una correlación moderada y no significativa ($r= 0.640$, $p= 0.223$) con la cantidad de madera aprovechable. El coeficiente de determinación fue de 0.76, lo que indica que 76% de la variabilidad en la cantidad de madera aprovechable puede explicarse por la altura y el área de copa de los individuos, mientras que 24% restante puede atribuirse a otros factores. La ecuación de regresión múltiple es la siguiente:

$$MA = 0.022(H) + 0.001(AC)$$

donde:

MA= Madera aprovechable

H= Altura del individuo

AC= Área de copa del individuo

La ecuación anteriormente descrita resultó ser altamente significativa ($F= 25.85$, g. I.= 2, $p<0.001$). La gráfica de dispersión con el ajuste lineal e intervalos de confianza de la media a 95% se muestra en la figura 1.

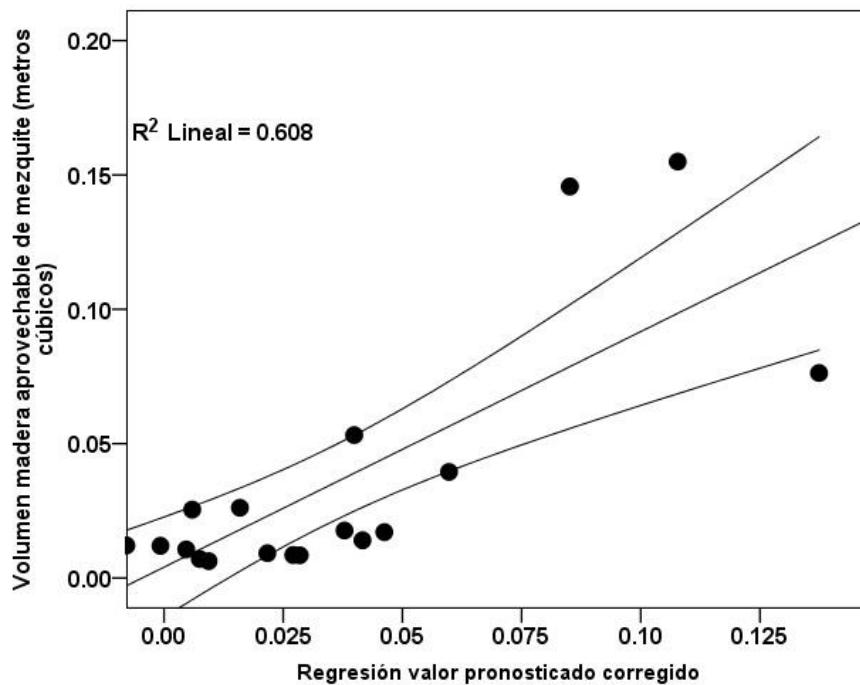


Figura 1. Gráfica de dispersión del volumen cosechable (m^3) de mezquite con ajuste lineal e intervalos de confianza de la media de 95% de la media en Aldama, Chihuahua, México.

En comparación hubo una correlación significativa y moderadamente positiva entre la altura ($r= 0.683$, $p<0.05$) y la cantidad de madera cosechable en Satevó. El coeficiente de determinación fue de 0.81, lo que indica que 81% de la variabilidad en la cantidad de madera aprovechable puede explicarse por la altura y el área de copa de

los individuos; mientras que 19% restante puede atribuirse a otros factores. La ecuación de la regresión múltiple se describe a continuación:

$$MA = 0.013(H) + 0.002(AC)$$

donde:

MA= Madera aprovechable

H= Altura del individuo

AC=Área de copa del individuo

La ecuación descrita con anterioridad resultó ser altamente significativa ($F= 85.548$, g. l.= 2, $p<0.001$). La gráfica de dispersión con el ajuste lineal e intervalos de confianza de la media a 95% se muestra en la figura 2.

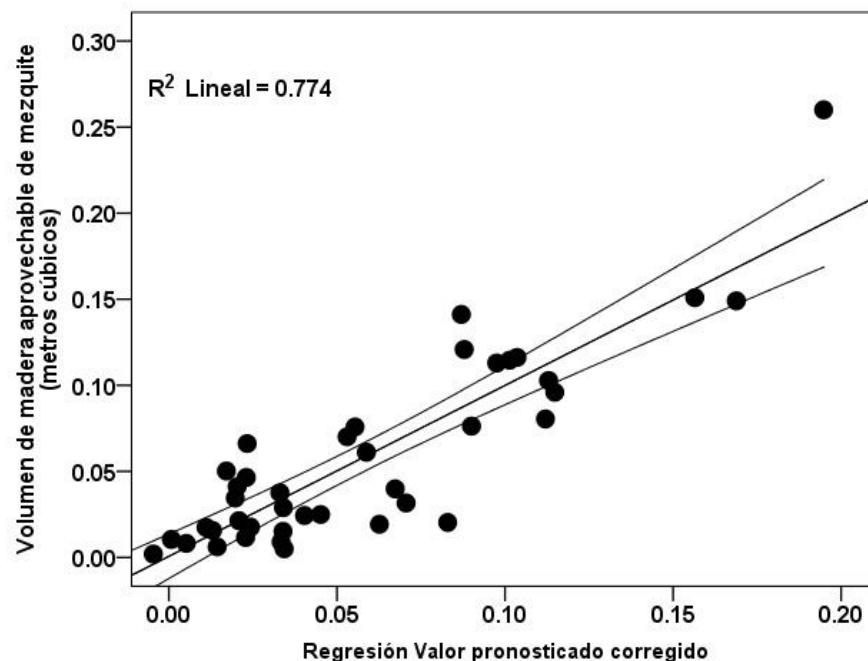


Figura 2. Gráfica de dispersión del volumen cosechable (m^3) de mezquite con ajuste lineal e intervalos de confianza de 95% de la media en Satevó, Chihuahua, México.

DISCUSIÓN

Los parámetros de estructura de la vegetación de la presente investigación coinciden con lo reportado por Meza y Osuna (2003), Valenzuela- Núñez et al. (2011) y Villanueva-Díaz et al. (2000) en otras áreas cubiertas con mezquite en el norte de México. Se asumió que estas ecuaciones pueden utilizarse con un amplio margen de seguridad. Villanueva-Díaz et al. (2004) consideraron el volumen de copa y la altura del árbol en lugar del área del dosel para determinar el volumen de madera comercial; pero el cálculo del volumen de la copa es difícil en la práctica debido a las limitaciones de tiempo y económicas.

En cambio, el modelo hallado en el presente estudio es fácil de aplicar en la práctica. Meza (2002) consideró el diámetro basal para el cálculo de madera en árboles muertos, en este estudio se consideraron los árboles vivos utilizando un método no destructivo. Hernández-Herrera et al. (2014) crearon ecuaciones para el cálculo de existencias volumétricas incluyendo el diámetro de copa mayor y la altura del árbol, en el presente estudio se incluyó el área de la copa y se obtuvieron resultados similares a dicho estudio.

Los resultados del presente estudio presentan dos modelos de ecuaciones alométricas para árboles de *Neltuma glandulosa* a escala local en el estado de Chihuahua. Las variables dasométricas que son necesarias para utilizar estos modelos son la altura y el área de copa de los árboles, que son casi siempre medidas en los inventarios forestales (Navar, Rodríguez-Flores, & Ríos-Saucedo, 2019).

Návar (2010) propone un sistema de clasificación de ecuaciones que toma en cuenta el método de estimación de los parámetros y las divide en empíricas (aquellas que derivan coeficientes de escala mediante análisis de regresión), teóricas (relaciones deterministas) y semiempíricas (una combinación de las dos anteriores). Navar et al. (2019), Ter-Mikaelian y Korzukhin (1997) y Zianis y Mencuccini (2004) reportan que la ecuación alométrica empírica con mayor uso es un modelo logarítmico en el que las existencias volumétricas se determinan con una función logarítmica lineal que involucra el diámetro del tronco a 1.30 m. En el presente estudio se presenta una ecuación producto de una correlación múltiple que toma en cuenta dos variables dasométricas: la altura y el área de la copa.

CONCLUSIONES

Las ecuaciones resultantes del estudio se refieren a características dasométricas de mezquite que se determinan fácilmente en el campo y no requieren la destrucción de especímenes. La metodología propuesta en este estudio para generar ecuaciones de predicción de las existencias volumétricas de madera de mezquite puede utilizarse como base para calcular las existencias volumétricas específicas para cada predio. La metodología permite seleccionar los árboles que pueden ser aprovechados, lo que a su vez es una medida para conservar los recursos maderables en zonas áridas y semiáridas.

REFERENCIAS

- Alshahrani, T. S. (2017). Biomass allocation in *Ziziphus spina-christi* and the invasive species *Prosopis juliflora*. *Bioscience Journal*, 33(2), 390-400. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20173127694>
- Alvarez, J. A., Villagra, P. E., Villalba, R., Cony, M. A., & Alberto, M. (2011). Wood productivity of *Prosopis flexuosa* D. C. woodlands in the central Monte: Influence of population structure and tree-growth habit. *Journal of Arid Environments*, 75(2011), 7-13. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.09.003>
- Aslan, C. E., Samberg, L., Dickson, B. G., & Gray, M. E. (2018). Management thresholds stemming from altered fire dynamics in present-day arid and semi-arid environments. *Journal of Environmental Management*, 227(2018), 87-94. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.079>
- Baldarelli, L. M., Collins, S. L., & Ward, D. (2021). How encroaching shrubs and nutrients affect N₂-fixation in the Chihuahuan desert. *Plant and Soil*, 466, 545-556. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05072-y>
- Born, D. J., & Chojnacky, D. C. (1985). Woodland tree volume estimation: A visual segmentation technique (16 pp.). Research Paper INT-344. USDA - Forest Service.
- Briones, O., & Villarreal, J. A. (2001). Vegetación y flora de un ecotono entre las provincias del Altiplano y la Planicie Costera del Noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*, 55, 39-67. <https://doi.org/10.21829/abm55.2001.875>
- Carevic, F. S., Delatorre-Herrera, J., & Delatorre-Castillo, J. (2017). Inter- and intrapopulation variation in the response of tree seedlings to drought: physiological adjustments based on geographical origin, water supply and species. *AoB Plants*, 9(5), plx037. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plx037>
- Dudley, B., Hughes, R., & Ostertag, R. (2014). Groundwater availability mediates the ecosystem effects of an invasion of *Prosopis pallida*. *Ecological Applications*, 24(8), 1954-1971. <https://doi.org/10.1890/13-1262.1>
- Fernandes-Soares-Junior, M. S., Alves-de Souza, K., Almeida, B. J., Lana-de Araújo, J., Simplício-da Silva, C., David de Oliveira, A. P.... Bagaldo, A. R. (2022). Mesquite pod (*Prosopis juliflora*) meal on meat quality of pasture-finishing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 54(7). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-03015-4>
- Franco, F., De la Cruz, G., Rocha, A., Navarrete, N., Flores, G., Kato, E.... Bedia, C. (1995). *Manual de Ecología* (3a. reimpresión). Editorial Trillas.
- Hernández-Herrera, J., Valenzuela-Núñez, L., Flores-Hernández, A., & Ríos-Saucedo, J. (2014). Análisis dimensional para determinar volumen y peso de madera de mezquite (*Prosopis* L.). *Madera y Bosques*, 20(3), 155-161. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5118041>
- Houètchégnon, T., Gbèmavo, D. S. J. C., Ouinsavi, C. A. I. N., & Sokpon, N. (2015). Structural characterization of *Prosopis africana* populations (Guill., Perrott., and Rich.) Taub in Benin. *International Journal of Forestry Research*, 2015, 101373. <https://doi.org/10.1155/2015/101373>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua [IMTA]. (2016). Extractor Rápido de Información Climatológica IV (Versión en línea). IMTA.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2015). Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua 2015 (508 pp.). Autor. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2015/702825076191.pdf
- Jurado-Guerra, P., Velázquez-Martínez, M., Sánchez-Gutiérrez, R. A., Álvarez-Holguín, A., Domínguez-Martínez, P. A., Gutiérrez-Luna, R.... Chávez-Ruiz, M. G. (2021). Los pastizales

- y matorrales de zonas áridas y semiáridas de México: Estatus actual, retos y perspectivas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(Extra 3), 261-285.
- Kamaleswaran, K., Harinath, P., Prabhakaran, S., Rajakumaran, V., Damini, M., & Kirubakaran, V. (2016). Comparative analysis of combustion Vs auto-gasification of *Prosopis juliflora* sticks for rural household application. *Procedia Environmental Sciences*, 35(2016), 860-868. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.103>
 - LeMaitre, D. C., Gush, M. B., & Dzikiti, S. (2015). Impacts of invading alien plant species on water flows at stand and catchment scales. *AoB Plants*, 7(1), plv043. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv043>
 - Meza, R. (2002). Metodología para evaluar las poblaciones de mezquite (*Prosopis spp.*) (46 pp.). Folleto Técnico No. 6. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Todos Santos.
 - Meza, R., & Osuna, E. (2003). Estudio dasométrico del mezquite en la zona de Las Pocitas, Baja California Sur (56 pp.). Folleto Científico No. 3. INIFAP-CIRNO-Campo Experimental Todos Santos.
 - Mostacedo, B., & Frederickson, T. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal (Vol. 87, pp. 1-92). Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). <http://www.bio-nica.info/Biblioteca/Mostacedo2000EcologiaVegetal.pdf>
 - Muturi, G. M., Poorter, L., Mohren, G. M. J., & Kigomo, B. N. (2013). Ecological impact of *Prosopis* species invasion in Turkwel riverine forest, Kenya. *Journal of Arid Environments*, 92, 89-97. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.01.010>
 - National Research Council (NRC). (2002). *Tropical Legumes: Resources for the future* (340 pp.). Books for Business.
 - Návar, J. (2010). Measurement and assessment methods of forest aboveground biomass: A literature review and the challenges ahead. *Biomass*, 27-64.
 - Navar, J., Rodríguez-Flores, F. J., & Ríos-Saucedo, J. (2019). Biomass estimation equations for mesquite trees in the Americas. *PeerJ* 7, e6782 <https://doi.org/10.7717/peerj.6782>
 - Ngangyo-Heya, M., Foroughbakhch-Pournavab, R., Carrillo-Parra, A., Salas-Cruz, L. R., Alvarado-Vazquez, M. A., & Bustamante-Garcia, V. (2017). Foliar biomass production and litterfall pattern of five timber species in forest plantations of semiarid lands of the northeastern Mexico. *Botanical Sciences*, 95(2), 295-305. <https://doi.org/10.17129/botsci.770>
 - Prasad, M. N. V., & Tewari, J. C. (2016). *Prosopis juliflora* (Sw) DC: Potential for Bioremediation and Bioeconomy. En M. N. V. Prasad (Ed.), *Bioremediation and Bioeconomy* (Capítulo 3, pp. 49-76). Elsevier. https://www.researchgate.net/publication/313651776_PROSOPIS_JULIFLORA_SW_DC_POTENTIAL_FOR_BIOREMEDITION_AND_BIOECONOMY
 - Romahn de la V., C. F., Ramírez, H., & Treviño, J. L. (1994). *Dendrometría* (354 pp.). Universidad Autónoma de Chapingo.
 - Sánchez-Velásquez, L., Hernández-Vargas, G., Carranza-M., M., Pineda-López, M., Cuevas-G., R., & Aragón-C., F. (2002). Estructura arbórea del bosque tropical caducifolio usado para la ganadería extensiva en el norte de la Sierra de Manantlán, México. Antagonismo de usos. *Polibotánica*, 13, 25-46.
 - Shackleton, R. T., LeMaitre, D. C., van Wilgen, B. W., & Richardson, D. M. (2015). Use of non-timber forest products from invasive alien *Prosopis* species (mesquite) and native trees in South Africa: implications for management. *Forest Ecosystems*, 2, número de artículo 16. <https://doi.org/10.1186/s40663-015-0040-9>
 - Shackleton, R. T., Shackleton, C. M., & Kull, C. A. (2019). The role of invasive alien species in shaping local livelihoods and human well-being: A review. *Journal of Environmental Management*, 229, 145-157. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.007>

- Ter-Mikaelian, M. T., & Korzukhin, M. D. (1997). Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97(1), 1-24. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00019-4](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00019-4)
- Valenzuela-Núñez, L. M., Trucios-Caciano, R., Ríos-Saucedo, J. L., Flores-Hernández, A., & González-Barrios, J. L. (2011). Caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite (*Prosopis* sp.) en el estado de Coahuila. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(esp. 2011), 87-96. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.067>
- Villalón-Mendoza, H., Hernández-Hernández, E. E., & Manzanares-Miranda, N. (2023). Presence and importance of mesquite *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) MC Johnst in Northeastern Mexico. En A. Negm, T. Chaplina, & P. Maciel de Paula Garcia (Eds.), *Earth and Environmental Sciences Library: Vol. Sustainable Management of Natural Resources: Diversity, Ecology, Taxonomy and Sociology* (pp. 115-129). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33394-1_8
- Villanueva-Díaz, J., Hernandez-Reyna, A., & Ramírez-García, J. A. (2000). Mesquite: A multi-purpose species in two locations of San Luis Potosí, Mexico. En P. F. Ffolliott, J. Baker, B. Malchus, C. B. Edminster, M. C. Dillon, & K. L. Mora (Coords.), *Land Stewardship in the 21st Century: The Contributions of Watershed Management*; 2000 March 13-16; Tucson, AZ. Proc. RMRS-P-13. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station (Vol. 13, pp. 268-272). https://www.fs.fed.us/rm/pubs/rmrs_p013.pdf
- Villanueva-Díaz, J., Jasso-González, R., Sánchez-Cohen, I., & Potisek-Talavera, M. C. (2004). *El mezquite en la Comarca Lagunera: Alternativa de producción integral para ecosistemas desérticos*. Folleto Científico No. 14 (36 pp.). INIFAP CENID-RASPA.
- Walter, K. J., & Armstrong, K. V. (2014). Benefits, threats and potential of *Prosopis* in South India. *Forests, Trees & Livelihoods*, 23(4), 232-247. <https://doi.org/10.1080/14728028.2014.919880>
- Wise, R. M., vanWilgen, B. W., & LeMaitre, D. C. (2012). Costs, benefits and management options for an invasive alien tree species: the case of mesquite in the Northern Cape, South Africa. *Journal of Arid Environments*, 84, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.03.001>
- Zianis, D., & Mencuccini, M. (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187(2-3), 311-332. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.007>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material
La licenciatte no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciatte.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.