



ESTIMACIÓN DE BIOMASA Y CARBONO ALMACENADO EN LA VEGETACIÓN Y SUELO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DE LA PRESA “LA PURÍSIMA”, ESTADO DE GUANAJUATO, MÉXICO †

[ESTIMATION OF BIOMASS AND CARBON STORED IN VEGETATION AND SOIL IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE “LA PURÍSIMA” DAM, STATE OF GUANAJUATO, MEXICO]

Miguel Acosta-Mireles¹, Fernando Carrillo-Anzures^{1*},
Matilde Hernández-Santiago², Ramiro López-Miranda³
and Martín Enrique Romero-Sánchez³

¹ Campo Experimental Valle de México, Centro de Investigación Regional Centro, CIRCE, Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 13.5 Carretera Los Reyes Texcoco, Col. Coatlinchan, Texcoco, Estado de México, México. CP.56250. Email:

*carrillo.fernando@inifap.gob.mx, acosta.miguel@inifap.gob.mx

² Consultora independiente. Privada Azucenas no. 40 B, Colonia Netzahualcoyotl, Texcoco, Estado de México, México. Email:

ema_hdz@hotmail.com

³ Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales. Progreso 5, Barrio de Santa Catarina, Coyoacán, Ciudad de México, México. C.P. 04010. Email:

perez.ramiro@inifap.gob.mx, romero.martin@inifap.gob.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Determining carbon in forest ecosystems is essential to estimate its influence on climate change mitigation. **Objective.** To determine the carbon stored in the vegetation and soil of the Protected Natural Area of the “La Purísima” Dam and its influence zone in Guanajuato, Mexico. **Methodology.** The study area was classified according to its tree density as high, medium, low, and grassland. In each sampling site, tree species were identified, and total height and normal diameter were measured. In the shrub layer, crown diameter and height were measured. Species biomass was estimated using documented allometric equations, except for *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) generated in this study. In the herbaceous layer, the percentage of coverage in the sites was considered, for which eight random samples of 0.25 m² were taken. Carbon estimation stored in MgC ha⁻¹ was obtained by multiplying the biomass by the factor 0.5. Carbon was measured in the soil by extracting 12 random samples at a depth of 20 cm. **Results.** In the 263.3 ha of the studied area, 16,627.7 MgC were estimated. The soil contributed 71.21%, the tree layer 24.6%, the shrub 1.86%, grass 0.75 and the herbaceous layer 1.57%. **Implications.** Even the species that develop in low deciduous forests have a reduced photosynthetic capacity; they significantly contribute to carbon stores. **Conclusions.** The difference in carbon storage varies according to the densities of the wood species; high densities have a greater amount of stored carbon in the aerial stratum and the soil. The carbon contributed by the grassland was barely perceptible.

Key words: allometry; Climate Change; *Myrtillocactus geometrizans*; *Prosopis laevigata*; scrub.

RESUMEN

Antecedentes. Determinar el carbono en los ecosistemas forestales es fundamental para estimar su influencia en mitigación ante el cambio climático. **Objetivo.** Determinar el almacén de carbono en la vegetación y suelo del Área Natural Protegida Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia, en Guanajuato, México. **Metodología.** El área geográfica bajo estudio se clasificó de acuerdo con su densidad arbórea en alta, media, baja y pastizal. En cada sitio de muestreo, se identificaron las especies del estrato arbóreo y se midieron las variables altura total y diámetro normal; en el estrato arbustivo se midieron el diámetro de copa y altura de los individuos. La biomasa de las especies se estimó mediante ecuaciones alométricas obtenidas de fuentes bibliográficas, para el caso de *Myrtillocactus geometrizans* (Mart. ex Pfeiff.) se generó en este estudio. Para el estrato herbáceo se consideró el porcentaje de cobertura en los sitios, para ello se tomaron ocho muestras aleatorias de 0.25 m². La estimación de carbono almacenado en MgC ha⁻¹ se obtuvo multiplicando la biomasa por el factor por defecto 0.5. La medición

† Submitted March 24, 2023 – Accepted September 5, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4854>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID= F. Carrillo-Anzures: <http://orcid.org/0000-0003-3453-0483>; M. Acosta-Mireles: <http://orcid.org/0000-0003-2103-1992>; M. Hernández-Santiago: <http://orcid.org/0000-0003-4972-4475>; R. Pérez-Miranda: <http://orcid.org/0000-0001-8449-8894>; M.E. Romero-Sánchez: <http://orcid.org/0000-0002-1682-6603>

del carbono en el suelo se realizó mediante la extracción de 12 muestras aleatorias a una con profundidad de 20 cm. **Resultados.** En las 263.3 ha de la superficie estudiada, se estimaron 16,627.7 MgC: el suelo aportó 71.21%, el estrato arbóreo 24.6%, el arbustivo 1.86%, pastos 0.75 y el herbáceo 1.57 %. **Implicaciones.** Aun cuando las especies que se desarrollan en selva baja caducifolia presentan una capacidad fotosintética reducida, representan un gran aporte para los almacenes de carbono. **Conclusiones.** La diferencia en el almacén de carbono varía de acuerdo con las densidades de la vegetación; el estrato aéreo y suelo presentan la mayor cantidad de carbono almacenado. El carbono aportado por el pastizal fue apenas perceptible.

Palabras clave: Alometría; Cambio climático; matorral; *Myrtillocactus geometrizans*; *Prosopis laevigata*.

INTRODUCCIÓN

La determinación de la biomasa en los ecosistemas forestales es fundamental para estimar el almacén de carbono de la vegetación aérea, así como también es importante conocer las reservas que existen en el suelo, con ello se permite destacar la capacidad de los bosques en la mitigación ante el cambio climático (CC) Avendaño *et al.*, 2009). En la actualidad, el principal reto ambiental que enfrenta la humanidad es el CC global, causado por la desmedida producción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Caballero *et al.*, 2007). Estos favorecen al calentamiento del planeta de aproximadamente 1 °C con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de 0.8 a 1.2 °C, con probabilidad que el calentamiento global llegue a 1.5 °C entre 2030 y 2052 (IPCC, 2018).

La mitigación al CC es el proceso de aplicación de acciones dirigidas a reducir las emisiones de GEI que provienen de actividades industriales, energéticas, forestales y agrícolas, así como potenciar y mejorar los sumideros de carbono (CONAFOR, 2013). Las estrategias de mitigación en el sector forestal se pueden agrupar en cuatro categorías principales: limitar las emisiones derivadas de la deforestación, disminuir las emisiones derivadas de la degradación forestal, fortalecimiento de los sumideros forestales de carbono y sustitución de productos (FAO, 2013). La disminución de la cantidad de GEI presente en la atmósfera se puede lograr mediante la reducción de emisiones antropogénicas o con la creación y/o incremento de los sumideros de carbono en la biosfera (IPCC, 2014).

Un sumidero de carbono es un depósito que retiene (secuestra) carbono de la atmósfera en forma de dióxido de carbono (CO₂). De los ecosistemas terrestres, los bosques y selvas tienen la capacidad natural para fijar y absorber el CO₂ de la atmósfera y lo convierten en carbono que se almacena en su fuste, raíces, hojas y frutos (Comisión Nacional Forestal, 2017). El stock de carbono a nivel mundial fue de 662 Gt en 2020, de los cuales 44% se encuentran en biomasa viva, 4% en madera muerta, 6% en hojarasca y 45% en la materia orgánica del suelo (FAO, 2020). El conocimiento de la cantidad de biomasa de las especies arbóreas es fundamental para estimar el carbono (C) en el bosque. En la actualidad, el hecho de cuantificar la biomasa puede ser considerado como un servicio ambiental y podría constituir una alternativa de obtención de recursos

económicos para los dueños o poseedores de los terrenos forestales esto ya ha quedado demostrado, de alguna manera, con experiencias en México y América Latina (Flores 2018).

La biomasa de los componentes del árbol ubicados por encima del suelo se denomina biomasa aérea y los asociados al sistema radicular del árbol se llama biomasa subterránea (Rodríguez, 2013). Para determinar la biomasa y cantidad de carbono almacenado en un bosque y suelo, constituye una alternativa importante el uso de ecuaciones alométricas, según el método planteado por Acosta *et al.* (2002) y Carrillo *et al.* (2016),

En México existen diversos tipos de áreas naturales protegidas: federales, estatales, municipales, comunitarias, ejidales y privadas (CONANP, 2023). Todas ellas tienen la característica común de ser espacios físicos naturales en donde, los ambientes originales no han sido alterados significativamente por actividades antropogénicas, que requieren ser preservadas o restauradas, por su estructura y función para los servicios ambientales y la preservación de la biodiversidad (SEDEMA, 2019), de esta forma representan ecosistemas de gran importancia por la protección que se les proporciona por parte de autoridades gubernamentales y por lo mismo mantienen su conservación en cuanto a la biodiversidad, conservación del suelo y de la vegetación en general.

En el estado de Guanajuato existen 23 áreas naturales protegidas (ANP) y “Presa la Purísima” y su Zona de Influencia, es una de ellas de gran relevancia en la zona centro de la entidad. El propósito fundamental de su protección es la producción de bienes y servicios con base en el aprovechamiento sustentable y conservación de los recursos naturales, principalmente la vegetación y como fuente de carbono almacenado. Determinar la cuantificación del contenido de carbono en los ecosistemas forestales de las ANP proporcionan un parámetro aproximado de su contribución a la mitigación del cambio climático.

Se ha determinado en general, que en los ecosistemas forestales la mayor parte del contenido de carbono se encuentra en el suelo. No obstante, es necesario cuantificar esa diferencia de acuerdo al tipo de vegetación específica. Por lo anterior, el objetivo del trabajo fue estimar la biomasa y carbono almacenado en la parte aérea y del suelo en el ANP

Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia, municipio de Guanajuato, Guanajuato. La hipótesis establecida asegura que el uso forestal representado por la selva baja caducifolia contiene mayor cantidad de carbono en el suelo que en los componentes del sistema arbóreo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

La ANP “Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia” se localiza en la región centro del estado de Guanajuato, México, ubicada en las coordenadas 20° 53' 30" latitud Norte y 101° 16' 30" de longitud Oeste a una altitud de 1 800 msnm. La vegetación dominante es selva baja caducifolia, comprende una superficie de 2 728 ha, el área de trabajo donde se realizó el muestreo fue la parte que rodea el embalse que cubre una superficie de 263.3 ha. La poligonal de la Zona de Influencia de la presa La Purísima quedó definida en un documento que generó el INANPEG (2020) (Figura 1).

Definición de sitios de muestreo

En un mapa del ANP Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia, se generó una cuadrícula a cada 200 m de distancia entre líneas, los sitios circulares de

muestreo de 500 m² se ubicaron en el cruce de cada línea. Para un registro adecuado, se asignó un identificador a cada sitio de muestreo y su ubicación geográfica. Con los datos obtenidos, se clasificaron estratos por densidad de vegetación que fue con base en el número de árboles por unidad de superficie en alta (de 620 a 1800 árboles por ha), media (de 340 a 600 árboles por ha), baja (de 0 a 322 árboles por ha) y pastizal. Se seleccionó una muestra de 36 sitios representativos en cada unidad de superficie. De antemano se clasificó la vegetación por estratos de densidad para aplicar una proporción adecuada al tamaño de las superficies, de esa manera correspondió al 1.86% de muestreo para la densidad alta, 1.34% para la densidad media, 0.43% para la densidad baja y 2.46% para el área de pastizal. Para llegar a cada sitio de muestreo se utilizó un GPS convencional marca Garmín, modelo Map 64sx.

Registros de datos dasométricos

En cada sitio de muestreo se registró la altitud y pendiente para el estrato el estrato arbóreo se registraron datos de diámetro normal (DN) en centímetros y altura total en metros; se consideraron sólo los árboles que tenían un DN mayor a 7.5 cm; además se registraron el nombre común y nombre científico de cada especie. Esta información fue anotada en un formato de campo.



Figura 1. Área natural protegida “Presa La Purísima y su Zona Influencia” en el estado de Guanajuato. (Elaboración propia.)

En el estrato arbustivo fueron consideradas todas las especies con DN menor a 7.5 cm. Las medidas dasométricas levantadas en campo fueron diámetro de copa y altura total (en metros), además del nombre común y científico de cada especie inventariada. Para el caso de las hierbas, se tomaron dos muestras de 0.25 m² en cada sitio de manera regular una con dirección al norte a la mitad de la distancia del centro a la orilla del sitio y la otra hacia el sur, independientemente de la cobertura de hierbas en cada sitio (Figueroa et al., 2005 y Acosta et al., 2009). Respecto al muestreo en pastizales se siguió el mismo criterio que para obtener la información de hierbas y arbustos en los sitios con arbolado.

Determinación de biomasa y carbono aéreo

Estrato arbóreo especies leñosas

Los datos dasométricos tomados en campo fueron estructurados en una base de datos en el programa ExcelTM 2016. Estos se clasificaron por estratos: arbóreo y arbustivo, y por condición de densidad: alta, media, baja y pastizal. Después se identificó y cuantificó el número de especies muestreadas en cada condición de densidad. Se realizó una consulta bibliográfica para determinar la ecuación alométrica a utilizar para la mayoría de las especies, esta fue la de Chave et al. (2005): $AGB(WI)=WD*[Exp[-1.239]+[1.98*\ln[DBH]]+[[0.207*\ln[DBH]^2]+[-0.0281*\ln[DBH]^3]]]$.

Dónde: AGB=biomasa aérea en Kg; WI=Tronco individual; WD=Densidad de la madera; $Exp=e$ de Euler; DBH=diámetro a la altura del pecho (1.3 m); \ln =logaritmo natural.

Para conocer la densidad de la madera de las especies del área de estudio, se realizó mediante una revisión bibliográfica de diferentes fuentes, las cuales se pueden observar en la Tabla 1.

Estrato arbóreo de especies suculentas

Myrtillocactus geometrizans (Mart. ex Pfeiff.) es una especie de importancia económica y ecológica (con alta densidad poblacional y biomasa) en el área de estudio. Para esta planta no se encontró ecuación alométrica documentada, por lo cual se tuvo que generar.

Para ello, se utilizó la metodología de Acosta et al., (2002), esta consiste en aplicar el método destructivo para obtener datos. Primero se localizaron 17 ejemplares de diferente tamaño, representativos de la población de la especie (Figura 2a). Luego se procedió a hacer mediciones de diámetro de la base (en cm), diámetro de la copa en cm y altura total (en m), posteriormente se cortaron y se pesaron para obtener el peso total de cada ejemplar (Figura 2b). Se obtuvieron muestras aleatorias de 3 a 5 cm de grosor de diferentes partes de la planta (tronco y ramas), estas fueron colocadas en bolsas de papel y transportadas a laboratorio para su registro y secado.

En laboratorio las muestras se etiquetaron para su fácil identificación, se pesaron en una báscula granataria Scaut® Pro y se registraron sus pesos húmedos en gramos (Figura 2c).

Las muestras fueron secadas en la estufa de flujo de aire horizontal marca Blue M®, Stabil Therm a una temperatura de 125°C, y se pesaron cada 24 horas hasta alcanzar un peso constante y se registró el peso final.

Tabla 1. Densidad básica de la madera de especies arbóreas del ANP Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia, Guanajuato.

Nombre científico de la especie	Densidad g cm-3	Referencia
<i>Acacia farnesiana</i> (L.) Willd.	0.73	Ordóñez et al. (2015)
<i>Hesperalbizia occidentalis</i> (Brandege) Barneby & J.W.Grimes	0.52	Ordóñez et al. (2015)
<i>Bursera palmeri</i> S. Watson	0.33	Zanne et al. (2009)
<i>Ceiba aesculifolia</i> Britten y Baker f	0.25	Echenique (1970)
<i>Celtis pallida</i> Torr	0.66	Ordóñez et al. (2015)
<i>Condalia velutina</i> IM Johnst.	0.63	Ordóñez et al. (2015)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	0.55	MAE Y FAO (2014)
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (Ortega) Sarg	0.70	Ordóñez et al. (2015)
<i>Heliocarpus terebinthinaceus</i> (DC.) Hochr.	0.30	Sotomayor (2005)
<i>Ipomoea murucoides</i> roem schult	0.30	Ordóñez et al. (2015)
<i>Lysiloma acapulcense</i> (Kunth) Benth	0.52	Sotomayor (2005)
<i>Lysiloma microphylla</i> Benth.	0.88	Ordóñez et al. (2015)
<i>Prosopis laevigata</i> Humb. & Bonpl. exWilld.)	0.70	Ordóñez et al. (2015)
<i>Schinus molle</i> L.	0.68	Ordóñez et al. (2015)



Figura 2. a) ejemplares de diferente tamaño, b) pesaje de ejemplares, c) pesaje de submuestras.

La ecuación alométrica para obtener la biomasa aérea de ejemplares arbóreos de *Myrtillocactus geometrizans*, fue generada mediante una regresión logarítmica, con un coeficiente de determinación de 0.91 lo que le da una alta confiabilidad de estar utilizando un modelo adecuado para la base de datos. El modelo obtenido fue:

$$B = 8.662 * \ln(DB^2 * H) - 39.31$$

donde: B=biomasa en kg, DB=diámetro de la base en cm y H=altura en metros. Puesto que en el área de estudio también se encontraron algunos individuos de *Isolatocereus dumortieri* (Scheidw.) Backeb., se procedió a estimar biomasa utilizando la ecuación de *M. geometrizans*, esto debido a su gran similitud morfológica.

Para ejemplares que se clasificaron como arbustos se generó otro modelo mediante una regresión lineal, con un coeficiente de determinación de 0.81, aunque el valor de r^2 es menor que la anterior, aun así, presenta buena confiabilidad. El modelo fue:

$$B = 0.0001 (DC2 * H) + 0.8388$$

donde: B=biomasa en Kg, DC=Diámetro de copa en cm y H= altura en m. Para el caso de los arbustos no se utiliza el DB, debido a que muchos de los arbustos carecen de una base propiamente dicha, porque desde la base tiene ramificaciones, es la razón por la que se utilizó el diámetro de copa en lugar del DB.

Estrato arbustivo

Se consideraron como arbustos todos aquellos ejemplares que tienen un diámetro de la base menor a 7.5 cm, debido a la morfología de los arbustos que presentan en su base ramificaciones y no poseen una base propiamente dicha, se utilizó el diámetro de copa en lugar del diámetro basal. En campo sólo se tomaron mediciones del diámetro de la copa (m) y altura total (m) de cada individuo. Para determinar su biomasa, se utilizó principalmente la ecuación de Búrquez *et al.* (2010):

$$B = [340.308] * [[[3.1416] * RC1 * RC2 * HC]^1.115]$$

Dónde: B= Biomasa (g), RCI y RC2 = Radios de dos diámetros ortogonales de la copa (en m); HC= Altura de la copa (en m).

En el caso de las ecuaciones que proporcionaron la biomasa en gramos (g), se hizo la conversión a kilogramos (kg). Una vez obtenida la cantidad en kg de biomasa de cada árbol y arbusto, se realizó la conversión de la biomasa total (BT) por sitio en (Mg ha⁻¹). Para obtener la cantidad de carbono total (CT) del estrato arbóreo y arbustivo por sitio, se realizó una estimación multiplicando la biomasa total (BT) por el factor por defecto 0.5 (IPCC, 1996; Acosta *et al.*, 2002; Díaz, 2007 y Carrillo *et al.*, 2016.

$$CT = BT * 0.5$$

donde: CT= Carbono total por sitio en MgC ha⁻¹; BT= Biomasa total por sitio en Mg ha⁻¹, 0.05= Factor por defecto.

Estrato herbáceo

Con el fin de determinar la cantidad de carbono en este estrato, se utilizó la metodología empleada por Acosta *et al.*, (2001); del cuarto de m² se colectó todo material vegetal (hierbas y pastos) y pastizal localizados en la superficie de muestreo, se etiquetaron de acuerdo con la condición y número del sitio al que pertenecían para su traslado al laboratorio.

En laboratorio las muestras fueron pesadas y a cada una se le tomó una submuestra o alícuota. Estas también se pesaron en una balanza granataria de la marca Scout® Pro, para obtener su peso fresco, y se etiquetaron. Las alícuotas se ingresaron a la estufa de secado Blue M Stabil-Therm, donde permanecieron a una temperatura de 50 °C hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, se determinó el porcentaje de humedad de cada alícuota, para calcular la cantidad de biomasa.

$$\% \text{ de humedad submuestra} = \frac{P_0 - P_1}{P_0} \times 100$$

Donde:

P₀=Peso inicial o peso fresco (g).

P₁=Peso final o peso seco (g).

$$\text{Biomasa} = P_m - (P_m * \% \text{ de humedad}_{\text{subm}}).$$

Donde:

P_m = peso de la muestra (kg).

% de humedad_{subm} = porcentaje de humedad de la submuestra.

Al obtener la cantidad de biomasa en kg se hizo la conversión a Mg ha⁻¹. Para estimar la cantidad de carbono se multiplicó por el factor 0.5. Finalmente, se obtuvo un promedio de carbono capturado, en Mg C ha⁻¹, este valor se utilizó para multiplicarlo por el porcentaje de cobertura en cada sitio muestreado, determinando así el carbono capturado por sitio en Mg C ha⁻¹.

Determinación de carbono en el suelo

Para determinar el carbono en el suelo, se extrajeron 12 muestras en diferentes sitios, de manera proporcional al número de sitios por estrato, las muestras de suelo se obtuvieron con ayuda de una barrena Soil Sampling Equipment (AMS), que consta de un cilindro de aproximadamente 20 cm de largo y 4.17 cm de diámetro. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico, se etiquetaron registrando el número de sitio, profundidad y coordenadas geográficas, para llevarlas al laboratorio. En laboratorio, las muestras fueron secadas al aire libre, se disgregaron las estructuras y separaron las raíces y piedras visibles. Luego se pesaron por separado tanto las piedras como el suelo, posteriormente, el suelo se pulverizó con ayuda de un martillo, para tamizarlos en una malla calibre 100. Ya homogeneizada el material muestreado, se tomaron alícuotas de 5 g por cada muestra y se enviaron al laboratorio, para determinar carbono total mediante el método de digestión seca a 900°C, en el determinador automático de Carbono, TOC SSM 5050A Shimadzu, del Colegio de Postgraduados, en el Campus de Montecillo, Estado de México; con objetivo de determinar la cantidad de carbono en el suelo.

Para la determinación de la cantidad de carbono almacenado en el suelo, fue necesario realizar una medición exacta de la densidad aparente del suelo (al no considerar el volumen de raíces y piedras en el volumen del suelo muestreado), se corrigió considerando el factor de volumen de piedras con una densidad promedio de 2.4 g cm⁻³. Al suponer que el volumen que ocuparon las raíces en cada muestra de suelo fue tan pequeño, considerado inapreciable, se empleó la siguiente fórmula para obtener la densidad aparente del suelo (Acosta, 2002):

$$D_{Ap} = \frac{P_{ss}}{0.7854 * DB^2 * pm - Voe}$$

Donde:

D_{Ap} = Densidad aparente del suelo (g cm⁻³).

P_{ss} = Peso de suelo seco (g).

DB = Diámetro de la barrena (cm).

P_m = Profundidad de la muestra (longitud del cilindro en cm).

Voe = Volumen ocupado por material diferente al suelo mineral (raíces, piedras, etc. en cm³).

0.7854 = Factor que resulta de dividir $\pi/4$.

Una vez determinada la densidad aparente de suelo, se calculó la cantidad de carbono acumulado por sitio, para ello se utilizó la fórmula siguiente:

$$CC = P_m * D_{Ap} * \%C$$

Donde:

CC = Cantidad de carbono (MgC ha⁻¹);

P_m = Profundidad de la muestra (cm);

D_{Ap} = Densidad aparente del suelo (g cm⁻³);

% C = Porcentaje de carbono de la muestra de suelo.

Una vez calculado la cantidad de carbono capturado en el suelo por sitio, se obtuvo el promedio en cada condición de densidad.

Estimación de carbono total

Para determinar el carbono total capturado, primero se obtuvieron los promedios de carbono capturado por estratos (arbóreo, arbustivo, herbáceo, pastizal y suelo) de cada condición de densidad (alta, media, baja o pastizal), luego se sumaron para obtener el almacén de carbono promedio por cada condición de densidad. Este valor fue multiplicado por la superficie de cada condición y finalmente se sumaron los almacenes de carbono. No se realizó un análisis estadístico debido a que el objetivo no fue comparar los almacenes de carbono por cada condición de cobertura de vegetación, sino que fue para medir el carbono total almacenado en la ANP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área muestreada cubrió una superficie de 263.3 hectáreas, de las cuales se clasificaron de densidad alta con 21.46 ha, media 29.94 ha, baja 207.84 ha y pastizal 4.07 ha. Los 36 sitios muestreados fueron clasificados en cuatro categorías por su condición de densidad: ocho sitios de densidad alta, ocho de densidad media, 18 de densidad baja y dos de pastizal, representando el 22, 22, 50 y 6 %, respectivamente.

El número de especies observadas dentro del área de estudio fueron 29 de un total de 1,272 individuos muestreados en 1.7 ha, de los cuales el 56 % fueron árboles y 44 % arbustos; las familias con mayor representación son fabácea, cactácea y convolvulácea. La diversidad de especies en el ANP "La Purísima" y su Zona de Influencia es mayor que el reportado por Becerril, *et al.* (2014) en la cuenca de Dolores Hidalgo, Guanajuato, y similar a lo registrado en el bosque tropical caducifolio del municipio de Querétaro. La abundancia y riqueza de especies de los bosques tropicales caducifolios pueden ser un indicador del estado de conservación de un bosque (Soto-Correa *et al.*, 2019), al tener un

número superior de especies por área, es indicador de biodiversidad del bosque tropical caducifolio del ANP “La Purísima” y su Zona de Influencia, Guanajuato.

Las especies arbóreas con mayor presencia en el ANP bajo estudio son los siguientes: *Prosopis laevigata* (Mezquite) con 18.3 %, *Opuntia streptacantha* (Nopal) con 16.3 %, *Acacia farnesiana* (Huizache) con 10.2 %, *Ipomoea murucoides* (Cazahuate) con 9.1 %, *Lysiloma microphylla* (Quebracho) con 7.5 %; de las especies arbustivas son: *Mimosa aculeaticarpa* (Uña de gato) con 11.1, *Hyptis albida* (la Comadre) con 6.0 % y *Verbesina serrata* con 5.0 % (Vara blanca) (Figura 3).

Por categoría se distribuyeron de la siguiente manera (Figura 4): en densidad alta las especies con mayor frecuencia fueron *Prosopis laevigata* (Mezquite) con 25.8%, *Lysiloma microphylla* (Quebracho) 23.6%, *Opuntia streptacantha* (Nopal) 23.3% e *Ipomea murucoides* (Cazahuate) 9.1%, *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo) 4.4%; cabe resaltar que en esta categoría más del 90.0% pertenecen al estrato arbóreo.

En densidad media, las especies con mayor frecuencia fueron *Prosopis laevigata* (Mezquite) con 37.8 %, *Opuntia streptacantha* (Nopal) 17.6%, *ipomea murucoides* (Cazahuate) 15.5%, *Myrtillocactus geometrizans* (Garambullo) 6.4%. En

esta categoría el estrato arbóreo representa el 75.0%. En densidad baja, las especies con mayor frecuencia fueron *Mimosa aculeaticarpa* (Uña de gato) 20.2%, *Acacia farnesiana* (Huizache) 19.1%, *Opuntia streptacantha* (Nopal) 11.4%, *Verbesina serrata* (Vara Blanca) 10.6%, *Hyptis albida* (La Comadre) 9.5%. En esta categoría el estrato predominante fue el arbustivo con 74%.

Biomasa y carbono almacenado

Las especies con mayor biomasa aérea y carbono almacenado, fueron *Prosopis laevigata* con 66%, seguido de *Acacia farnesiana* en 7%, *Lysiloma microphylla* en 6%, *Ipomoea murucoides* en 5 %, *Albizia occidentalis* en 4% y *Myrtillocactus geometrizans* en 3% (Tabla 2).

Es importante resaltar que el aporte que da *Prosopis laevigata* se debe a su presencia mayoritaria en la población, sobre todo en el estrato arbóreo, aunado a las dimensiones más amplias en cuanto a su diámetro a la altura de pecho y su altura (Soto-Correa *et al.*, 2019). En el estrato arbustivo la especie que mayor presencia tiene es *Mimosa aculeaticarpa*, pero el aporte de biomasa y carbono es mínimo; sin embargo, *Myrtillocactus geometrizans* aportó la mayor cantidad de biomasa y carbono con sólo 4% de la población, esto se puede atribuir al gran tamaño de los ejemplares, seguido de *Prosopis laevigata* y *Opuntia streptacantha* (Tabla 2).

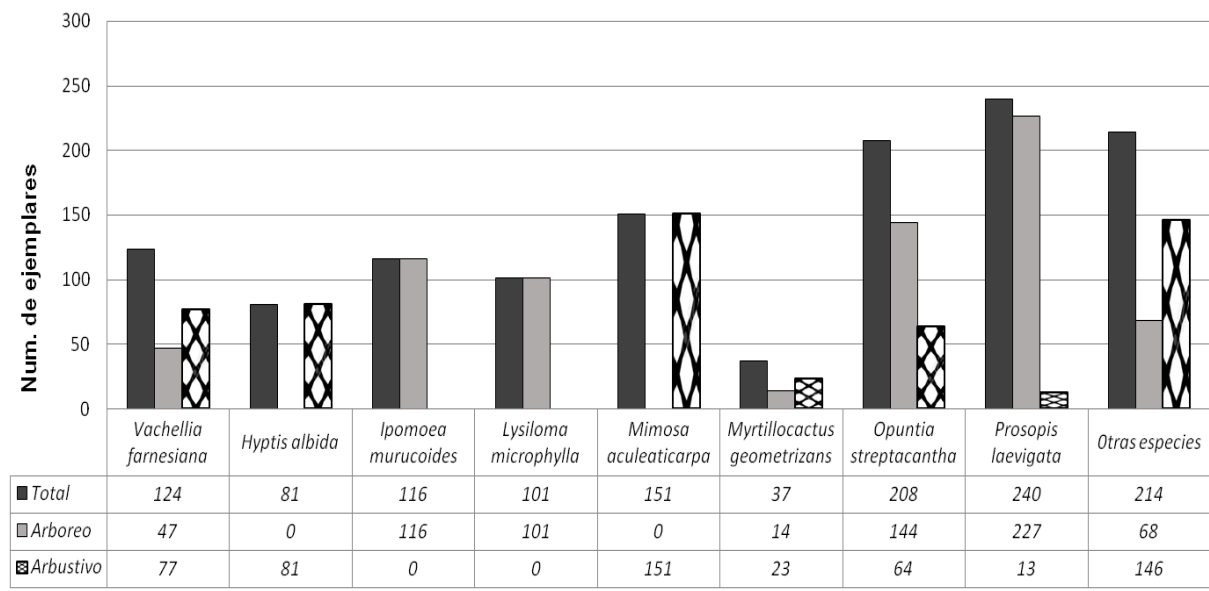


Figura 3. Representación gráfica de las principales especies encontradas en los sitios muestreados en el ANP Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia.

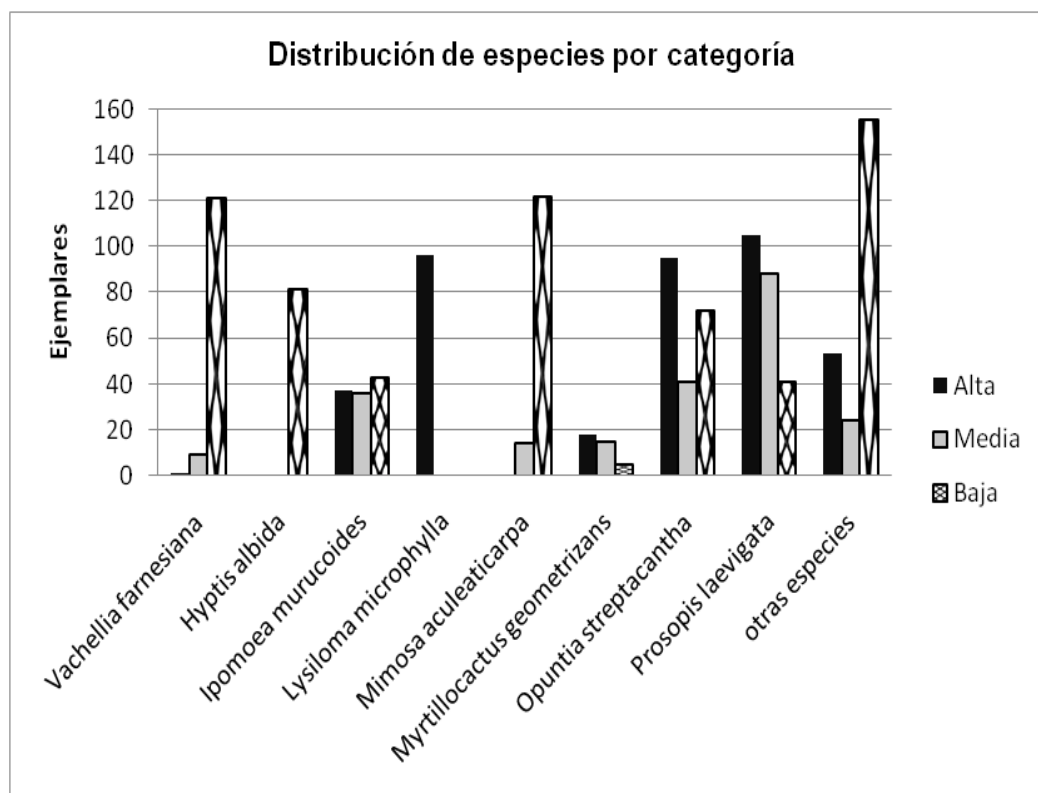


Figura 4. Distribución de especies en densidad alta del área de influencia del ANP Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia.

Carbono almacenado por estratos y por condición en la vegetación

La cantidad promedio de carbono almacenado en el estrato arbóreo varió dependiendo de la densidad en la vegetación, en condición alta fue de 58.48, en media 34.42 y en la baja de 8.98 Mg C ha⁻¹ (Tabla 3). Estos valores son mayores que 21.2 Mg C ha⁻¹ en superficie con cobertura vegetal cerrada, 12.6 Mg C ha⁻¹ semiabierto y 2.4 Mg C ha⁻¹ abierta, presentadas en la región semiárida de la cuenca de Dolores Hidalgo, Guanajuato, mencionado por Becerril-Piña *et al.* (2014). La superioridad de los valores de este estudio se puede justificar debido a que el trabajo se realizó en la zona de influencia de la presa y seguramente las condiciones climáticas y de suelo son mejores que la cuenca de Dolores Hidalgo; además en este caso falta incluir la cantidad de carbono aportado por los estratos arbustivo, herbáceo y el carbono almacenado por las cactáceas. Sin embargo, fue menor 58.3 Mg C ha⁻¹ del bosque tropical seco de Chamela, Jalisco (Jaramillo *et al.*, 2003); a 52.86 Mg C ha⁻¹ en el ANP de Zicuירan-Infiernillo, Michoacán (Calvo, 2019) y a 68.5 Mg C ha⁻¹ en la Reserva de la Biosfera “El Cielo” (Rodríguez- Laguna *et al.*, 2008). El promedio de carbono aéreo almacenado de 34.6 Mg C ha⁻¹ en este estudio es similar a 35 Mg C ha⁻¹ reportado por Bernal (2015) en selva baja caducifolia de 10 años en Tlatlaya, Estado de México.

Los estratos arbustivos y herbáceo también aportan una cantidad considerable de carbono en las

diferentes densidades que se muestrearon (Tabla 3) y el carbono almacenado en el área de pastizal tuvo un promedio de 2.47 Mg C ha⁻¹, la cual fue similar a 2.25±1.7 en la selva baja caducifolia de 40 años en la Reserva de la Biósfera “Sierra de Huautla”, Morelos (Gómez, 2008) y mayor que 1.63 Mg C ha⁻¹ en pastura mejorada con baja densidad de árboles (Yerena, 2013).

El almacén de carbono en el suelo a una profundidad de 0-20 cm, en las densidades alta y media fue muy similar con un valor promedio de 61 y 67 Mg C ha⁻¹, respectivamente (Tabla 3). Estos valores son afines a 62.4±19.0 Mg C ha⁻¹ a una profundidad de 0-95 cm en suelo de selva baja caducifolia de la Reserva de la Biósfera Sierra de Huautla, Morelos, en una condición de 40 años (Gómez, 2008); menores a 76.2±7.6 Mg C ha⁻¹ a 60 cm en Chamela, Jalisco (Jaramillo *et al.*, 2003) y a 97.75 Mg C ha⁻¹ a de 50 cm en selva baja caducifolia de Zacazonapan, Estado de México (Espinoza y Rivera, 2013). En los estratos de densidad baja y pastizal, el reservorio de carbono promedio varió de 31.30 a 52.87 Mg C ha⁻¹ (Tabla 4) valores similares a 38 y 39 Mg C ha⁻¹, reportados para suelos de selva baja caducifolia en Tlatlaya, Estado de México (Bernal, 2015).

La reserva de carbono promedio en densidad alta y media resultaron casi similares con 121.44 y 105.43 Mg C ha⁻¹, respectivamente, los cuales fueron menores a 128.63 Mg C ha⁻¹ en selva baja caducifolia de la Reserva de la Biosfera “Sierra de Huautla”, Morelos (Gómez, 2008) y a 141 Mg C ha⁻¹

¹ reportado por Jaramillo (2003) en el bosque tropical seco de Chamela Jalisco. El carbono almacenado promedio en densidad baja y pastizal fue menor con los valores de 52.87 y 31.30 Mg C ha⁻¹, respectivamente (Tabla 4).

Carbono almacenado en el ANP “La Purísima” y su zona de influencia

El carbono almacenado que se estimó en las 263.3 ha de la ANP “La Purísima” y su Zona de Influencia,

resultó de 16,627.7 Mg C, siendo la vegetación en condición de densidad baja el que mayor reserva de carbono aporta, esto se debe a la mayor superficie que cubre en el área de estudio esta densidad. Por otro lado, el pastizal el que menor almacén de carbono aporta (Tabla 4).

Si se comparan los reservorios de carbono por estratos, se observa que el suelo contiene el mayor contenido seguido del estrato arbóreo, después los arbustos y finalmente el herbáceo (Tabla 3).

Tabla 2 Distribución y aporte de biomasa por especie en el estrato arbóreo y arbustivo en el ANP “La Purísima” y su zona de influencia.

Especie	Individuos	A	a	Biomasa A (kg)	Biomasa a (kg)	Biomasa Total (kg)
<i>Acacia farnesiana</i>	124	47	77	6136.0	343.9	6479.9
<i>Hesperalbizia occidentalis</i>	2	2	-	3403.4	-	3403.4
<i>Bursera palmeri</i>	19	17	2	1992.3	3.7	1996.0
<i>Hyptis albida</i>	81	-	81	-	288.2	288.2
<i>Ipomoea murucoides</i>	116	116	-	4600.3	-	4600.2
<i>Lisosoma microphylla</i>	101	101	-	5254.9	-	5254.9
<i>Mimosa aculeaticarpa</i>	151	-	151	-	400.7	400.7
<i>Myrtillocactus geometrizans</i>	37	14	23	304.6	2159.5	2464.1
<i>Opuntia streptacantha</i>	208	144	64	1984.6	441.1	2425.7
<i>Prosopis laevigata</i>	240	227	13	56903.2	1668.0	58571.2
Otras especies	193	49	144	2166.5	325.6	2492.0

A: arbóreo, a: arbustivo.

Tabla 3. Carbono almacenado por condición de densidad en el ANP “La Purísima” y su zona de influencia.

Almacén de carbono o tipo de vegetación	Valores obtenidos	Almacenes de carbono Mg C ha ⁻¹		
		Densidad alta	Densidad media	Densidad baja
Arbóreo	Máximo	202.49	88.05	33.05
	Mínimo	13.73	9.66	0
	Promedio	58.48	34.42	8.98
	Desviación Estándar	63.8	30.19	9.96
Arbustivo	Máximo	8.44	16.19	2.46
	Mínimo	0	0	0
	Promedio	1.63	3.54	0.84
	Desviación Estándar	3.11	5.62	0.68
Herbáceo	Máximo	1.08	0.95	2.43
	Mínimo	0.05	0	0.27
	Promedio	0.25	0.46	1.18
	Desviación Estándar	0.34	0.36	0.55
Suelo	Máximo	86.14	71.47	51.34
	Mínimo	37.06	62.57	31.3
	Promedio	61.08	67.02	41.87
	Desviación Estándar	14.03	2.38	3.84
Pastizal	Máximo		3.75	
	Mínimo		1.19	
	Promedio		2.47	
	Desviación Estándar		1.81	

Tabla 4. Carbono total almacenado en el ANP “La Purísima” y su zona de influencia.

Condición de densidad	Superficie hectáreas	Carbono total promedio Mg C ha ⁻¹	Error Estándar	Carbono almacenado Mg C
Alta	21.46	121.44	22.54	2,606.10
Media	29.94	105.43	10.43	3,156.57
Baja	207.84	52.87	2.53	10,988.50
Pastizal	4.07	31.30	1.28	127.39
Total	263.31	311.04		81,899.94

CONCLUSIONES

El Área Natural Protegida La Presa “La Purísima” y su Zona de Influencia tiene una reserva estimada de carbono de 81,899.94 Mg C ha⁻¹, al momento de hacer el muestreo. La diferencia en el almacén de carbono varía de acuerdo con las densidades de la vegetación. La mayor cantidad de carbono almacenado en este ecosistema, se encontró en la capa del suelo de 0 a 20 cm de profundidad.

Funding. Gobierno del estado de Guanajuato, through de la Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial. Áreas Naturales Protegidas. Presa la Purísima.

Conflict of interests. The authors hereby declare that they have no conflict of interest.

Compliance with ethical standards. The research presents original data that is not sent to another journal at the same time. In addition, the investigation was carried out according to the procedures established by the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Data availability. The data presented in this contribution is available in its entirety, upon reasonable request from the corresponding author.

Author contribution statement (CRediT). M. Acosta-Mireles, funding acquisition, conceptualization, methodology, visualization; F. Carrillo-Anzures, funding acquisition, investigation and formal analysis, M. Hernández-Santiago, formal analysis, writing of the original draft; R. López-Miranda, map making, validation, writing –review & editing y M. E. Romero-Sanchez, validation, writing –review & editing

REFERENCIAS

- Acosta, M.M., 2002. Diseño y aplicación de una metodología para medir los almacenes de carbono en sistemas con vegetación natural y agrícolas de ladera en México. Tesis doctoral, Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México, México. 74 p
- Acosta-Mireles, M., Carrillo-Anzures, F. and Díaz-Lavariega, M., 2009. Determinación del carbono total en bosques mixtos de *Pinus*

patula Schl. et Cham. *Terra Latinoamericana*, 27(2), pp. 105-114. <https://www.terralatinoamericana.org/index.php/terra/article/view/1297/1512> (Consultado 4 de abril de 2023)

Acosta M., M., Vargas H., J., Velázquez M., A. and Etchevers B., J.D., 2002. Estimación de biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia*, 36 (6), pp. 725-736. [Consultado 6 de enero de 2020]. <https://www.colpos.mx/agrociencia/Bimestral/2002/nov-dic/art-10.pdf>

Avendaño, H.D.M., Acosta, M.M., Carrillo, A.F. and Etchevers B.J.D., 2009. Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 32 (3), pp. 233-238. https://www.redalyc.org/pdf/610/6101173_9008.pdf

Becerril-Piña, R., González-Sosa, E., Mastachi-Loza, C.A., Díaz-Delgado, C. and Ramos-Salinas, N.M., 2014. Contenido de carbono en un ecosistema semiárido del centro de México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 1 (1), pp. 9-17. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3586/358633237002>

Bernal, G.I., 2015. Estimación de los almacenes de carbono en los suelos forestales y uso agropecuario en la localidad El Suchual de Santa Ana, Municipio de Tlatlaya, Estado de México. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Facultad de Planeación Urbana y Regional, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. Estado de México. 100 p.

Caballero, M., Lozano S. and Ortega, B., 2007. Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. Instituto de Geofísica, Instituto de Geología Universidad Nacional Autónoma de México. 8 (10) [Consultado 7 de enero de 2020] ISSN: 1607-6079. http://ru.tic.unam.mx/bitstream/handle/123456789/1315/oct_art78_2007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Calvo, H.F., 2019. Estimación del contenido y captura potencial de carbono en biomasa aérea y valoración económica en el área natural protegida Zicuirán-Infiernillo, Michoacán, México. Tesis de Licenciatura en Biología. Ciudad Universitaria, CDMX. Universidad Nacional Autónoma de México. 83 p.
- Carrillo, A.F., Acosta, M.M., Jiménez, C.C. Del R., González, M.L. and Etchevers, B.J.D., 2016. Ecuaciones alométricas para estimar la biomasa y el carbono de la parte aérea de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Iztapopopo. México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (3), pp. 681-69. [Consultado 10 de enero de 2020]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2631/263145554017>
- Chave J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, A., Chambers, Q., Eamus, D., Fülster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. and Yamakura, T., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, pp. 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). 2023. Áreas Naturales Protegidas de México.. Disponible en: http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/mapas/serie/mapa_actualizado_anps.pdf [Consultado 10 enero de 2023]
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR)., 2013 Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía básica; elaborada por el Área de Proyectos y Mercados Forestales de Carbono adscrita a la Coordinación General de Producción y Productividad de la Comisión Nacional Forestal. Segunda edición: 2013. Comisión Nacional Forestal. [Consultado 5 de enero 2020]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment_data/file/121242/Guia-Basica-de-Bosques-Cambio-Climatico-y-REDD.pdf
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2017. Bosques y cambio climático. [Consultado en diciembre de 2019]. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/bosques-y-cambio-climatico-23762>
- Díaz, F.R., Acosta, M.M., Carrillo, A.F., Buendía, R.E., Flores, A.E. and Etchevers, B.J.D. 2007. Determinación de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revista Madera y Bosques*, 13 (1), pp. 25-34. <https://doi.org/10.21829/myb.2007.131123>
- Echenique M. R., 1970. Descripción, características y usos de 25 maderas tropicales mexicanas. Biblioteca del Constructor 5. Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. (Serie Maderas de México). 237 p.
- Espinoza, Z.M.A. and Rivera, V.J.A., 2013. Estimación de carbono en suelos de selva baja caducifolia en el municipio de Zacazonapan, México. Tesis de Licenciatura en Ciencias Ambientales. Toluca, Estado de México. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/58578>
- Figueroa-Navarro, C., Etchevers-Barra, J.D., Velásquez, M.A. and Acosta-Mireles, M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*, 23(1), pp. 57-64. <https://www.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/70/15>
- Flores A.A., Aguilar R.M., Reyes H.H. and Guzmán Ch.M.G., 2018. *Sociedad y Ambiente*, No. 16, pp. 7-31.
- Gómez D., J.D., 2008. Determinación de los almacenes de carbono en los compartimentos aéreo y subterráneo de dos tipos de vegetación en la Reserva de la Biosfera "Sierra de Huautla", Morelos, México. Tesis de Doctorado. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 210 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)., 1996. Cambio de uso de la tierra y silvicultura. Directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático para los inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero. 2. 58 p. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/pdffiles/spnch5-1.pdf>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza, 157 p. (Consultado diciembre de 2019) https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response

- to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3-24. <http://doi.org/10.1017/9781009157940.001>
- Inventario de Áreas Naturales Protegidas del Estado de Guanajuato (INANPEG)., 2020. (Consultado en septiembre de 2020). <https://smaot.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protegidas>
- Jaramillo, V.J., Kauffman, J.B., Rentería-Rodríguez, L., Cummings, D.L. and Ellingson, L.J., 2003. Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscape. *Ecosystems*, 6(7), pp. 609-629. <https://doi.org/10.1007/s10021-002-0195-4>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)., 2014. Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales. Quito, Ecuador. 105 p. <http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>
- Ordóñez, D.J.A., Galicia, N.A., Venegas, M.N., Hernández, T.T., Ordóñez, D.M. and 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*, 2(1), pp. 77-126. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000400006&lng=es&nrm=iso&tln_g=es
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)., 2020. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020-Principales resultados. Roma, Italia. 16 p. (Consultado agosto de 2020). <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)., 2013. Directrices sobre el cambio climático para los gestores forestales. Estudio FAO Montes N° 172. Roma, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 130 p. (Consultado diciembre de 2019). <http://www.fao.org/3/a-i3383s.pdf>
- Rodríguez-Laguna, R., Jiménez-Pérez, J., Meza-Rangel, J., Aguirre-Calderón, O. and Razo-Zarate, R., 2008. Carbono contenido en un bosque tropical subcaducifolio en la reserva de la biosfera el cielo, Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 4(2), pp. 215-222. <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/Documentos/v4-n2-24-Carbono%20contenido%20en%20un%20bosque%20tropical%20subcaducifolio.pdf>
- Rodríguez, S.N., 2013. Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR Subdirección de Administración de los Recursos Naturales y Áreas Protegidas Bogotá D.C. Colombia. 56 p. [Consultado diciembre de 2029] <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ade19e5bcb8e.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA)., 2019. Gobierno de la Ciudad de México. (Consultado mayo de 2020.) <https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/areas-naturales-protegidas>
- Soto-Correa J.C., Cambrón-Sandoval, V.H. and Renaud-Rangel, R., 2019. Atributos de las especies arbóreas y su carbono almacenado en la vegetación del municipio de Querétaro, México. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Ciencias Naturales. Juriquilla, Querétaro, Qro., México. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2511699>
- Sotomayor C., J.R., 2005. Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. Laboratorio de Mecánica de la Madera de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México. 24 p.
- Yerena Y., J.I., 2013. Dinámica de la captura de carbono derivada de los impactos antropogénicos en ecosistemas del noreste de México. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma de Nuevo León. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/3753>
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C. and Chave, J., 2009. Data from: Global wood density database. Dryad Digital Repository. <https://doi.org/10.5061/dryad.234>