



Reservorio de carbono en necromasa y sotobosque en un ecosistema forestal templado de Guerrero, México

Carbon pool in necromass and understory in a temperate forest ecosystem of Guerrero, Mexico

José Navarro-Martínez^{1*}, Flaviano Godínez-Jaimes², José Luis Rosas-Acevedo³ y Jorge Méndez-González⁴

¹ Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria y Ciencias del Mar. Brigada de Educación para el Desarrollo Rural No. 37. Acapulco, Guerrero, México.

² Universidad Autónoma de Guerrero. Facultad de Matemáticas. Chilpancingo, Guerrero, México. fgodinezj@uagro.mx

³ Universidad Autónoma de Guerrero. Centro de Ciencias de Desarrollo Regional. Acapulco, Guerrero, México. jlrosas@uagro.mx

⁴ Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. jmendezg@hotmail.com

* Autor de correspondencia. josenavarro037@dgetaycm.sems.gob.mx

RESUMEN

En la evaluación del papel de los bosques en la captura de carbono, la necromasa y la biomasa del sotobosque han sido minimizadas. La presente investigación tuvo como propósito estimar la biomasa y el carbono de la necromasa y del sotobosque del ecosistema templado ubicado en la microcuenca del río Hueyapa. Se realizó un inventario forestal en 2761.9 ha de bosque templado bajo la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México. Se midieron los árboles muertos en pie (AMP), material leñoso caído (MLC), sotobosque (S) y hojarasca del piso forestal (H). Durante el periodo febrero 2017 a enero 2018, se colectó la caída de follaje y otros órganos vegetales en trampas de un 1 m². El carbono almacenado se calculó usando factores de conversión de biomasa en cada compartimento. El carbono estimado, expresado en megagramos por hectárea, fue de 0.89, 1.25, 0.61 y 4.52 en AMP, MLC, S y H, respectivamente. La caída de follaje y otros órganos vegetales aportan 4.52 Mg ha⁻¹ año⁻¹ ± 0.44 Mg ha⁻¹ año⁻¹ de carbono. Estas estimaciones representan una línea base para futuras investigaciones en la mitigación de cambio climático global y productividad de los bosques templados del estado de Guerrero, México.

PALABRAS CLAVE: árboles muertos en pie, biomasa, bosque de encino, bosque de pino-encino, caída de follaje, material leñoso caído.

ABSTRACT

The forest's role in carbon sequestration in the evaluation of necromass and understory biomass has been minimized. The purpose of this research, located in the Hueyapa River microwatershed, was to estimate the biomass and carbon of the necromass and undergrowth of the temperate ecosystem. A forest inventory was carried out in 2761.9 ha of temperate forest in the microwatershed using the methodology of the National Forest and Soil Inventory of Mexico. Standing dead trees (SDT), fallen woody material (FWM), understory and leaf litter on the forest floor were measured. From February 2017 to January 2018, the fall of foliage and other plant organs were collected in one-square-meter traps. Stored carbon was calculated using biomass conversion factors in each compartment. The estimated carbon, expressed in megagrams per hectare, was 0.89, 1.25, 0.61 and 4.52 in SDT, FWM, understory and litter, respectively. The fall of foliage and other plant organs provided 4.52 Mg ha⁻¹ year⁻¹ ± 0.44 Mg ha⁻¹ year⁻¹ of carbon. These estimates represent a baseline for future research on global climate change mitigation and the productivity of temperate forests in the state of Guerrero, Mexico.

KEYWORDS: standing dead trees, biomass, oak forest, pine-oak forest, foliage fall, fallen woody material.

INTRODUCCIÓN

La superficie forestal de México está constituida por 54 agrupaciones vegetales que representan 70.5% (138.7 millones de hectáreas) de la superficie nacional. De esa superficie cubierta, 47.0% es arbolada y, de esta última, 13.24×10^6 ha (9.5%) corresponden a bosque de pino y latifoliadas (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2023). El estado de Guerrero, México, posee 4.34×10^6 ha, de las cuales, 28.0% corresponden a coníferas y latifoliadas (Conafor, 2014; Conafor, 2023).

Un componente del bosque es la necromasa (biomasa en material vegetal muerto) que incluye: árboles muertos, en pie o caídos; trozos de madera esparcidas sobre el piso forestal; raíces muertas expuestas, generalmente con un diámetro superior a 2 cm; menores a este, se incluyen dentro de la hojarasca, junto con el follaje y órganos reproductivos (Navarrete et al., 2011). El carbono orgánico atmosférico es almacenado en la biomasa aérea y subterránea, destacando en jerarquía el carbono almacenado en la biomasa aérea viva (árboles y sotobosque) y en el suelo, pero también son importantes los almacenes de carbono en los árboles muertos en pie, mantillo y material leñoso caído, que en su conjunto pueden representar hasta 19% del carbono almacenado en bosques de oyamel y 14% en bosques de ciprés (Bolaños González et al., 2017).

La mayoría de las investigaciones (Bolaños González et al., 2017; Mendoza-Cariño et al., 2022; Schindler et al., 2023) se enfocan principalmente en el estrato arbóreo, minimizando la aportación de la necromasa, el sotobosque, las hierbas y los pastos. La información sobre la dinámica de la masa foliar y el ciclo del carbono en estos compartimentos del bosque es escasa (Torres-Duque et al., 2022), e inexistente para los bosques de Guerrero, México. Pero tiene importancia en la productividad primaria neta aérea (PPNa) de los ecosistemas forestales (Landuyt et al., 2020). La PPNa es la suma del incremento en biomasa aérea, más la biomasa de hojarasca, ramillas finas y órganos reproductivos durante un tiempo determinado (Clark et al., 2001), lo anterior refleja la productividad del ecosistema forestal (Jin et al., 2022).

La necromasa, además de capturar carbono, mantiene la transferencia y retorno gradual y estacional de nutrientes al suelo (Torres-Duque et al., 2022). La hojarasca, ayuda a regular la acumulación de materia orgánica del suelo (Giweta, 2020) y ofrece un sumidero de carbono a corto plazo, que posteriormente es transferido al suelo. La acumulación de hojarasca en el piso forestal está influenciada por condiciones climáticas (precipitación, viento y temperatura), edad de los bosques, densidad de árboles y composición de especies (Gutiérrez et al., 2012; Vendrami et al., 2012; López-López et al., 2013). La mayor producción ocurre en época de secas y, con mayor abundancia, bajo arbolado joven. El follaje es el componente de mayor contribución, seguido de las ramas y por último los órganos reproductivos (Rivera et al., 2013).

Por otro lado, los árboles muertos en pie mantienen secuestrado el carbono y conservan la biodiversidad (Chávez-León, 2016). Sin embargo, la dinámica y disponibilidad de árboles muertos en pie es variable a escala de paisaje y fases de sucesión vegetal, con mayor abundancia en bosques maduros, pero no existen datos sobre el potencial de carbono secuestrado en estos ejemplares.

OBJETIVOS

El objetivo de esta investigación fue estimar el reservorio de biomasa, necromasa (material leñoso caído, árboles muertos en pie, hojarasca) y carbono secuestrado en el sotobosque de un bosque templado mixto pino-encino en el estado de Guerrero, al sur de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio (Fig. 1) es un bosque templado mixto de 2761.9 ha, ubicado dentro de los municipios de Juan R. Escudero y Chilpancingo de los Bravo, en la zona centro del estado de Guerrero, México (Navarro Martínez, 2019). La precipitación anual fluctúa entre 1300 mm y 2000 mm, con temperatura media anual de 24.0 °C, clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2010).

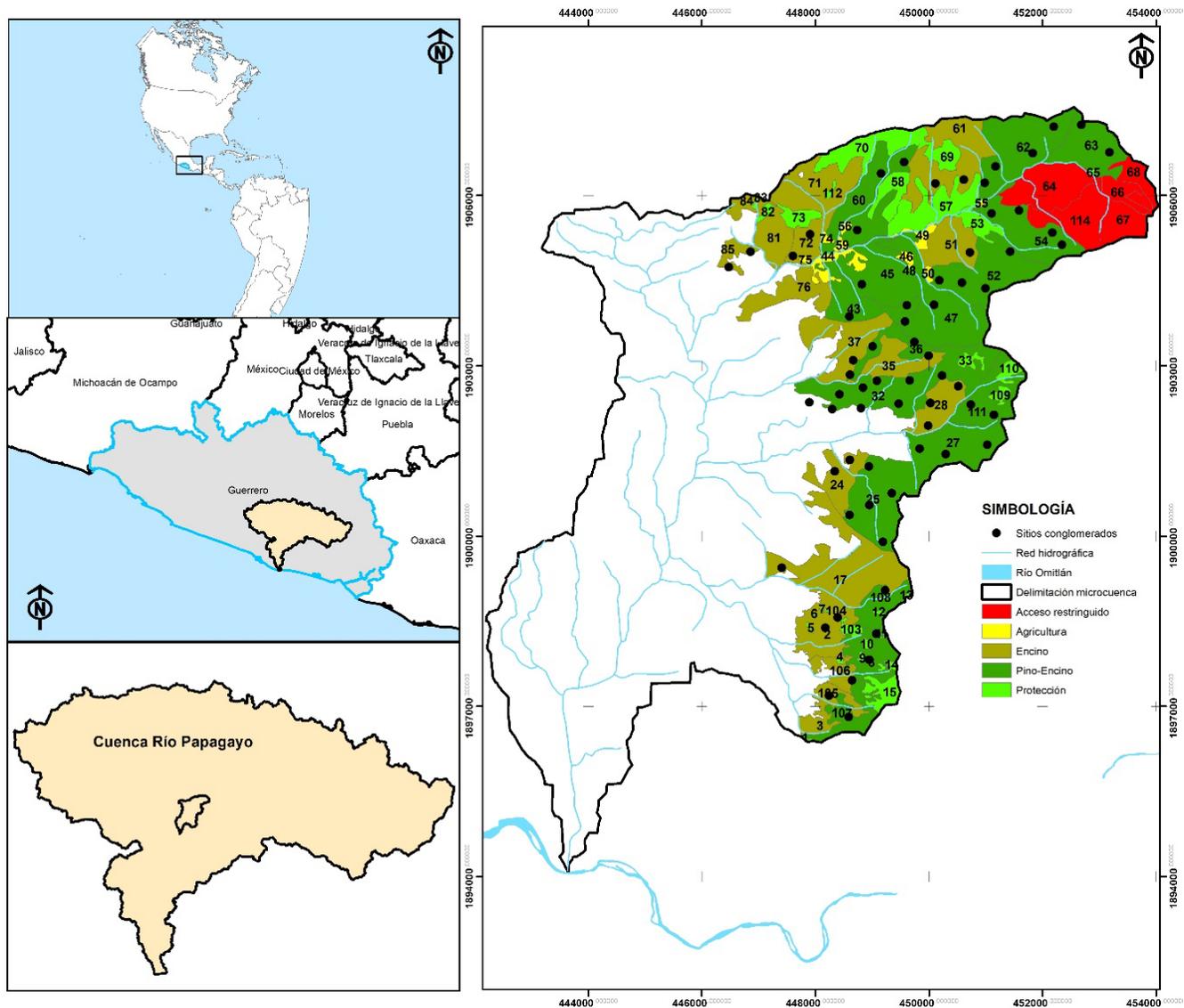


FIGURA 1. Localización del área de estudio: bosque templado de la microcuenca Hueyapa, en Guerrero, México.

Estimación de parámetros y tamaño de muestra

Los parámetros de interés: necromasa de árboles muertos en pie (AMP), material leñoso caído (MLC), hojarasca (H) y biomasa de sotobosque (S) fueron estimados a partir de datos del inventario forestal realizado en el área de estudio, ejecutado bajo la metodología del Inventario Nacional Forestal y de Suelos de México, establecido bajo un diseño de muestreo estratificado aleatorio por conglomerados (Comisión Nacional Forestal – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Conafor-Semarnat], 2011).

El área de interés está formada por dos estratos: 1) bosque de pino - encino (P - Q, 1601.8 ha) y 2) bosque de encino (Q, 1160.1 ha). El primer estrato fue subdividido en 16 rodales y el segundo en 17. Al interior de cada rodal, se ubicaron aleatoriamente, como mínimo, dos unidades primarias de muestreo (UPM) de una hectárea, cada UPM contiene cuatro unidades secundarias de muestreo (USM) de 400 m² cada una, dispuestas en forma de “Y” invertida respecto al Norte (Fig. 2).

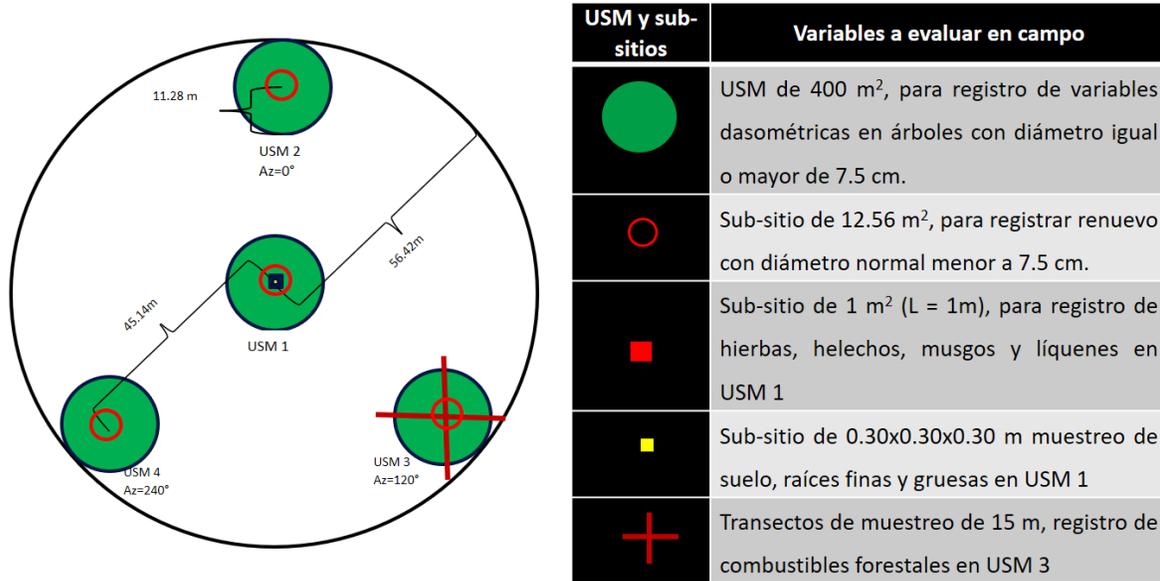


FIGURA 2. Unidad primaria de muestreo (UPM) para el inventario forestal, modificado de Conafor – Semarnat (2011).

El tamaño de muestra (n) se calculó considerando una población estratificada. El número de UPM se asignó de forma proporcional a la superficie del estrato y los rodales (Scheaffer et al., 1987), considerando una precisión de 1 Mg ha⁻¹ de biomasa aérea viva y muerta, con 95% de confianza. La estimación de biomasa del sotobosque, necromasa y carbono por estrato y total se llevó a cabo usando estimadores de razón para el total y la media poblacional (Velasco Bautista et al., 2003).

Estimación de necromasa y carbono en componentes forestales

El cálculo de biomasa aérea (\hat{B}_i) en AMP, se realizó con los modelos señalados por Navarro-Martínez et al. (2020) para *P. oocarpa* y *Quercus spp.* y Soriano-Luna et al. (2015) para especies de latifoliadas, según las ecuaciones 1, 2 y 3. Se realizó un descuento de 2.7% y 1.5% para *P. oocarpa* y *Quercus spp.*, respectivamente, correspondiente a la biomasa del follaje (Navarro-Martínez et al., 2020).

$$\hat{B}_i = 0.10012 * D^{2.4589} \quad (1)$$

$$\hat{B}_i = \sqrt[0.212]{0.212 * \left[-2.3949 + 0.4905 * \left(\frac{(D_i^2 H_i)^{0.217} - 1}{0.217} \right) \right]} + 1 \quad (2)$$

$$\hat{B}_i = \exp(-3.109407 * (D^2 H)^{0.952688}) \quad (3)$$

donde:

\hat{B}_i = biomasa aérea (kg)

D = diámetro normal (cm)

H = altura total (m)

La conversión de necromasa a carbono de AMP en coníferas fue de 51.4% y 48.9% para encinos y otras latifoliadas, respectivamente (Navarro Martínez, 2019).

El cálculo de la necromasa en MLC se realizó con la metodología propuesta por Van Wagner (1982); en la tercera USM se trazaron líneas de 15 m hacia los cuatro puntos cardinales y se midió longitud (cm), diámetro (cm), frecuencia y grado de deterioro (ramas con follaje; ramas sin follaje, pero con corteza íntegra; trozos sin corteza, pero con madera íntegra; madera con indicios de pudrición) de



troncos, ramas y ramillas que cruzan esta línea (Conafor, 2014). Además, se colectaron muestras de estos componentes para determinar su densidad específica y, con ella, calcular biomasa y carbono para el MLC fino (≤ 7.5 cm de diámetro), MLC grueso (> 7.5 cm de diámetro) y total. La conversión de necromasa a carbono en este compartimento fue de 50.4% para *P. oocarpa* y 48.3% para encino y otras latifoliadas (Navarro Martínez, 2019).

El cálculo de biomasa y carbono del sotobosque (S) se realizó colectando muestras mixtas (hierba, lianas, arbustos y pastos), en 1 m², al centro de las cuatro USM. Las muestras se pesaron en estado húmedo, para posteriormente en laboratorio, secar en estufa a 60°C hasta lograr peso seco constante (Galicia et al., 2015). Se utilizó 44% como factor de conversión de biomasa a carbono orgánico para sotobosque (Jain et al., 2010).

La deposición y flujo de carbono a través de la deposición de follaje y otros órganos vegetales, se realizó acorde con la metodología de López Hernández et al. (2015); colocando 12 trampas de forma cuadrada de 1 m², distribuidas aleatoriamente en cada estrato, realizando colectas mensualmente durante un año. Después de secar las muestras en estufa (60 °C) hasta peso constante, se estimó la biomasa, para enseguida ser convertida a carbono utilizando el factor 52.2% y 49.6% obtenidos en este estudio de hojas de *P. oocarpa* y de *Quercus* sp. y otras latifoliadas.

Los porcentajes de carbono contenidos en la necromasa de AMP, MLC y H se obtuvieron de 15 muestras de *P. oocarpa* y 30 muestras de *Quercus spp.* provenientes de este estudio, a través de digestión seca a 900 °C en el autodeterminador automático de Carbono (TOC SSM modelo 5050A marca Schimadzu) en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.

Los datos de precipitación y temperatura para el área de estudio se obtuvieron de la estación climatológica más cercana: 00012156 “El Ocotito”. La distribución normal de las variables de estudio (producción de hojarasca, precipitación, temperatura promedio, máxima, mínima y evaporación) se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk con

un nivel de significancia del 0.05. Cuando ambas variables tuvieron distribución normal, se usó la correlación de Pearson (ρ) y su intervalo de confianza de 95% (IC 95%) para determinar la asociación entre ellas y, cuando alguna de las variables de interés no tuvo distribución normal, se usó la correlación de Spearman (ρ_S) y su IC 95%.

RESULTADOS

Acorde con el diseño de muestreo, el tamaño de muestra fue de 105 UPM; 57 en el estrato de P - Q y 48 en el estrato Q. El bosque se compone en su mayoría (69.7%) por árboles de seis especies del género *Quercus*, destacando por orden de abundancia *Q. resinosa* Liebm., *Q. crispifolia* Trel., *Q. subespatulata* Trel., *Q. conspersa* Benth., *Q. elliptica* Née y *Q. planipocula* Trel.; seguidas de *Pinus oocarpa* Schiede (21.1%) y, en menor proporción, de otras latifoliadas (9.2%). La distribución diamétrica de los árboles de otras latifoliadas fue positiva (Fig. 3a), casi uniforme en el género *Pinus* (Fig. 3b) y también sesgo positivo en el género *Quercus*; es decir, marcada y abundante presencia de árboles jóvenes principalmente en categorías diamétrica menores, mostrando un comportamiento de “J” invertida (Fig. 3c).

Necromasa y carbono en componentes forestales

La mayoría de los AMP ocurre en *Quercus spp.* (IC 95%: 3.4 ha⁻¹ y 7.8 ha⁻¹), seguido de *P. oocarpa* (IC 95%: 1.4 ha⁻¹ y 3.3 ha⁻¹) y muy pocos en otras latifoliadas (IC 95%: 0.4 ha⁻¹ y 2.0 ha⁻¹). En 88.7% de la superficie del estrato P - Q se registraron AMP; mientras que en el estrato Q se presentó en 77.6% de la superficie. El reservorio de carbono en AMP en el estrato P - Q es de 1.20 Mg ha⁻¹ \pm 0.69 Mg ha⁻¹ y de 0.46 Mg ha⁻¹ \pm 0.21 Mg ha⁻¹ en el estrato Q (Tabla 1).

De los componentes evaluados, la hojarasca, presenta los mayores almacenes de carbono, alrededor de 4.52 Mg ha⁻¹ (Tabla 1), muy similares tanto al estrato P - Q (4.48 Mg ha⁻¹) como al estrato Q (4.58 Mg ha⁻¹). Le sigue MLC total con 1.3 Mg ha⁻¹; después AMP representando en promedio 0.89 Mg ha⁻¹. Finalmente, el carbono en S representa menos de una tonelada (0.61) por hectárea en ambos estratos (0.46 Mg ha⁻¹ y 0.71 Mg ha⁻¹ para estrato Q y P - Q, respectivamente).

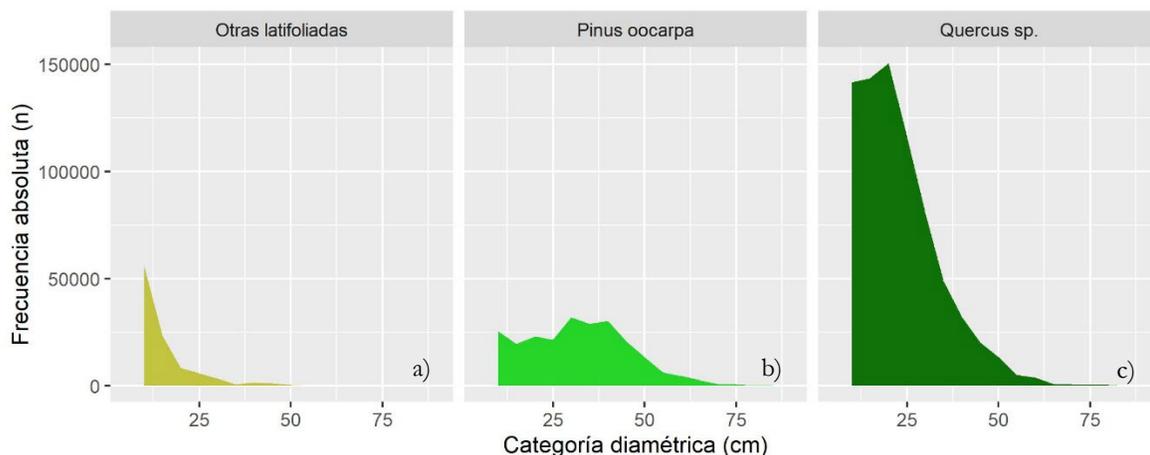


FIGURA 3. Distribución de la estructura diamétrica de la vegetación arbórea del bosque templado de microcuenca del río Hueyapa, en el estado de Guerrero, México.

TABLA 1. Promedio de reservorio de carbono por estrato en el bosque templado de la microcuenca del río Hueyapa.

Estrato	Unidades	P-Q		Q		Bosque templado	
		Media	Desv. est.	Media	Desv. est.	Media	Desv. est.
Superficie	ha	1601.8		1160.1		2761.9	
Número de árboles	ha ⁻¹	376.2	± 35.31	427.31	± 35.21	397.61	± 25.23
Área Basal	m ² ha ⁻¹	23.22	± 1.30	22.41	± 1.23	22.88	± 0.92
Carbono AMP	Mg ha ⁻¹	1.2	± 0.69	0.46	± 0.21	0.89	± 0.42
Carbono MLC fino	Mg ha ⁻¹	0.22	± 0.04	0.34	± 0.06	0.27	± 0.03
Carbono MLC grueso	Mg ha ⁻¹	1.24	± 0.85	0.89	± 1.84	1.09	± 0.86
Carbono MLC total	Mg ha ⁻¹	1.28	± 0.34	1.21	± 0.28	1.25	± 0.23
Carbono S	Mg ha ⁻¹	0.71	± 0.08	0.46	± 0.10	0.61	± 0.06
Carbono H	Mg ha ⁻¹	4.48	± 0.46	4.58	± 0.84	4.52	± 0.44
Biomasa F	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹	6.27	± 1.49	7.55	± 1.16	6.91	± 1.01
Carbono F	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹	3.26	± 0.77	3.70	± 0.57	3.48	± 0.51

P-Q = estrato pino-encino, Q = estrato encino, AMP = árboles muertos en pie, MLC = material leñoso caído, MLC fino (≤ 7.5 cm de diámetro), MLC grueso (> 7.5 cm de diámetro), S = sotobosque, H = hojarasca del piso forestal, F = deposición anual de follaje y otros órganos vegetales arbóreos.



La variación más importante, según los IC de la media (95%), ocurre en el carbono de AMP, y es de entre 45.6% y 57.5% en los estratos Q y P – Q, respectivamente (Tabla 1). En MLC, esta variación es del orden de 24.8%, mientras que la menor variación ocurre al estimar hojarasca (14.3%) y sotobosque (16.5%), considerando ambos estratos (Tabla 1).

Deposición de biomasa por la hojarasca y otros órganos vegetales

La densidad de árboles (376 ha^{-1} y 427 ha^{-1}) y el área basal ($23.22 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y $22.41 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$) difieren muy poco entre los estratos P - Q y Q (Tabla 1). Considerando ambos estratos, la mayor deposición de biomasa por la hojarasca ocurre en el mes de marzo con 1.22 Mg ha^{-1} , y es tres veces más que lo que se deposita en septiembre (0.41 Mg ha^{-1}) y hasta siete veces más que lo que se deposita en agosto (0.17 Mg ha^{-1}), como se observa en la figura 4. Las hojas de pino (36.3%), encino (34.0%), ramillas y corteza (19.8%) contribuyen con más de 90% de la hojarasca total; el resto está represado por órganos reproductivos de ambos grupos (Tabla 2).

Acorde con la estación climatológica más cercana: 00012156 “El Ocotito”, durante el periodo de colecta, se

registraron 1833.3 mm de lluvia, temperatura media anual de $20.1 \text{ }^\circ\text{C}$, las máximas (entre $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y $26 \text{ }^\circ\text{C}$) ocurrieron entre marzo y abril mientras que las mínimas ($< 14 \text{ }^\circ\text{C}$) entre noviembre y enero. Con base en ello, el periodo evaluado es considerado como el más lluvioso y con temperatura más baja entre 1970 y 2015.

La producción de hojarasca cumplió el supuesto de distribución normal ($p = 0.529$) al igual que algunas de las variables climáticas como la temperatura promedio mensual ($p = 0.321$) y mínima mensual ($p = 0.292$); pero no así la precipitación promedio mensual ($p = 0.002$) y la temperatura máxima mensual ($p = 0.006$).

En esta región, la producción de hojarasca (Mg ha^{-1}) se correlaciona negativa y significativamente con la precipitación mensual (mm) ($n = 12$; $\rho_s = -0.732$; $p = 0.007$; IC 95%: $-0.920, -0.273$). Por otro lado, la producción de hojarasca (Mg ha^{-1}) no se correlaciona significativamente con la temperatura promedio ($n = 12$; $\rho = -0.153$; $p = 0.636$; IC 95%: $-0.668, 0.462$), temperatura máxima ($n = 12$; $\rho_s = 0.207$; $p = 0.519$; IC 95%: $-0.417, 0.698$), ni temperatura mínima ($n = 12$; $\rho = -0.570$; $p = 0.053$; IC 95%: $-0.862, 0.005$).

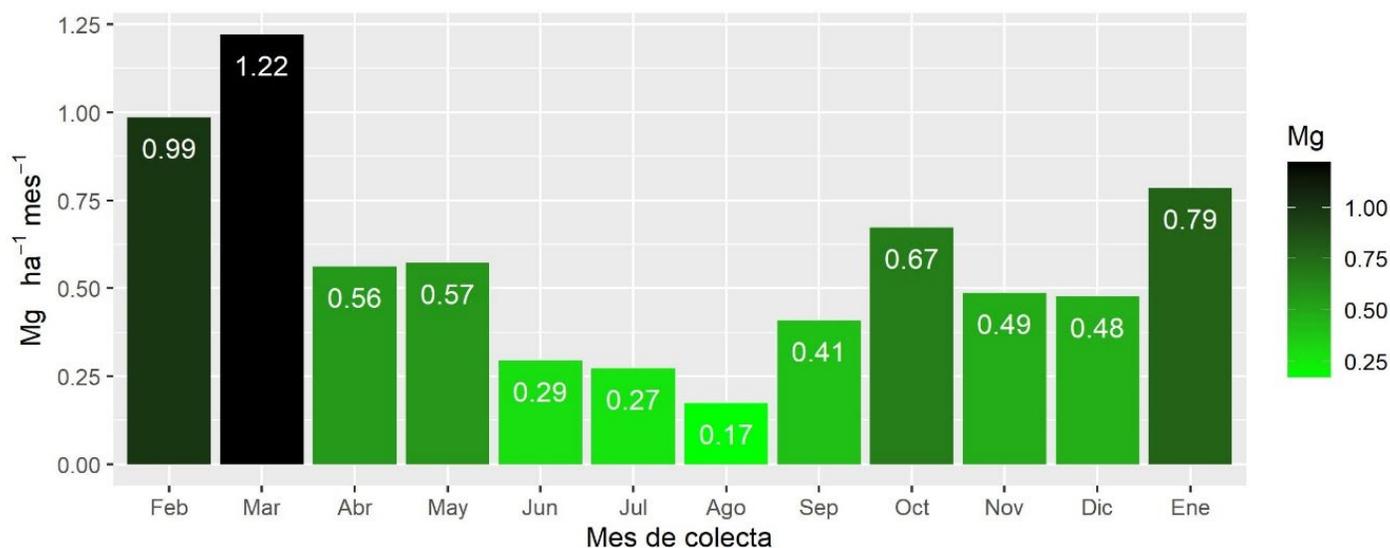


FIGURA 4. Deposición de biomasa por hojarasca y otros órganos vegetales en el bosque templado de la microcuenca Hueyapa, en el estado de Guerrero, México.

TABLA 2. Producción anual de biomasa y carbono por deposición de hojarasca y otros componentes arbóreos en el bosque templado de la microcuenca Hueyapa.

	<i>Biomasa</i>	<i>Carbono</i>	<i>Contribución</i>
	(Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	(%)
Follaje de <i>P. oocarpa</i>	2.51	1.31	36.3
Follaje de <i>Quercus spp.</i>	2.35	1.15	34.0
Follaje de otras latifoliadas	0.14	0.07	2.0
Ramillas y corteza	1.37	0.67	19.9
Órganos reproductivos <i>P. oocarpa</i>	0.49	0.25	7.1
Órganos reproductivos <i>Quercus spp.</i>	0.05	0.02	0.8

DISCUSIÓN

La información disponible en la literatura sobre el carbono secuestrado en el compartimento de AMP es reducida, con valores bajos y muy variables. Por ejemplo, el carbono capturado por los ecosistemas agroforestales con *Theobroma cacao* L., como cultivo principal en la necromasa de AMP, va desde 1.9 Mg ha⁻¹ (Paz et al., 2022) y 2.4 Mg ha⁻¹ (Concha et al., 2007) hasta 46.6 Mg ha⁻¹ (Surco-Huacachi y Garate-Quispe, 2022). Asimismo, el carbono almacenado en AMP en cafetales bajo sombra de bosque pino-encino, manejados bajo sistemas agroforestales es de 1.9 Mg ha⁻¹ en la Sierra Madre de Chiapas (Paz et al., 2022); 8.18 Mg ha⁻¹ en bosque naturales andinos en Colombia (Navarrete et al., 2011); mientras que, para los bosques de oyamel-pino-encino en el Parque Nacional El Chico en Hidalgo, México, Razo-Zárate et al. (2013) estimaron 18.5 Mg ha⁻¹ (Tabla 3); así, el resultado promedio de este compartimento para el área de estudio (0.89 Mg ha⁻¹, Tabla 1) fue más bajo con respecto a los encontrados en la literatura.

De igual forma, el MLC varía entre 0.8 Mg ha⁻¹ y 8.8 Mg ha⁻¹ (Gough et al., 2007) para bosques con arbolado adulto (con aplicación de quemadas controladas) y joven (sin manejo forestal), respectivamente; mientras que para el

bosque de este estudio el promedio fue de 1.25 Mg ha⁻¹, lo cual puede deberse a que se trata de un área no sujeta a aprovechamiento forestal comercial que genere desperdicios leñosos. Además, se observaron vestigios de incendios forestales recientes que disminuyeron el carbono almacenado en este compartimento.

Por otro lado, el carbono en la hojarasca en los bosques de México y el mundo se ha estimado en un intervalo muy amplio, desde 0.7 Mg ha⁻¹ (Gough et al., 2007), en sitios con aprovechamiento forestal y aplicación de quemadas controladas, hasta 38.6 Mg ha⁻¹ en bosque de pino-encino sin manejo forestal (Leyva-Pablo et al., 2021) (Tabla 3), mientras que el carbono promedio estimado para el área de estudio fue de 4.52 Mg ha⁻¹ (Tabla 1).

En el compartimento del sotobosque, el carbono almacenado fluctúa entre 0.01 Mg ha⁻¹, en bosques tropicales perennifolios de China (Liu et al., 2021), hasta 4.13 Mg ha⁻¹, en pastizales de diez años en ecosistemas de matorrales en el noreste de México (Yerena et al., 2014). En este último intervalo es en el que se ubica el compartimento en el bosque templado de la microcuenca del río Hueyapa (0.61 Mg ha⁻¹, Tabla 1), en donde la densidad de copa influye negativamente sobre el almacén de carbono de este componente forestal.



TABLA 3. Biomasa y carbono orgánico secuestrado por diversos ecosistemas forestales.

<i>Biomasa</i> (Mg ha ⁻¹)	<i>Carbono</i> (Mg ha ⁻¹)	<i>Componente</i>	<i>Ecosistema</i>	<i>Fuente</i>
16.3	8.2	AMP	Bosques naturales	Navarrete et al. (2011)
41.2	18.5	AMP	Bosque de oyamel	Razo-Zárate et al. (2013)
136.0		MLC	Bosque templado	Galicia et al. (2015)
126.8		MLC	Selvas	Barrios-Calderón et al. (2018)
124.6		MLC	Manglar	Barrios-Calderón et al. (2018)
19.5		MLC	Bosque de P-Q	Bonilla et al. (2012)
	2.9	MLC	Bosque de Q	Leyva-Pablo et al. (2021)
	3.5	MLC	Bosque de P-Q	Leyva-Pablo et al. (2021)
	4.8	MLC	Latifoliadas y bosque boreal	Gough et al. (2007)
17.5		H	Bosque templado	Galicia et al. (2015)
	1.6	H y MLC	Latifoliadas y bosque boreal	Gough et al. (2007)
	22.6	H	Bosque Q	Leyva-Pablo et al. (2021)
	38.6	H	Bosque de P-Q	Leyva-Pablo et al. (2021)
	1.57	H	Varios	Liu et al. (2021)
7.5		S	Bosques de China	Jin et al. (2022)
	0.6	S	Latifoliadas y bosque boreal	Gough et al. (2007)
	4.1	S	Pastizal y matorral	Yerena et al. (2014)
	2.8	S	Varios	Liu et al. (2021)

AMP = árboles muertos en pie, MLC = material leñoso caído, H = hojarasca del piso forestal, S = sotobosque.

En el bosque umbrófilo montano, con precipitación y temperatura promedio similares a las del área en estudio, los periodos de pérdidas de follaje están armonizados con la precipitación (Vendrami et al., 2012). Los valores máximos de biomasa por caída de follaje y otras estructuras vegetales en este trabajo se presentaron entre los meses de octubre y mayo (marzo con 1.22 Mg ha⁻¹), que coincide con la temporada de secas en la región, con un promedio de 0.72

Mg ha⁻¹ (Fig. 4); valor similar al observado por Lopez-Escobar et al. (2018) (1.3 Mg ha⁻¹) en el mismo periodo para bosques de *Pinus montezumae* Lamb. en Tlaxcala, México; contrario a la temporada con mayor precipitación (junio-septiembre), periodo en que inicia el crecimiento y madurez del follaje y el desarrollo de órganos reproductivos con una caída promedio de 0.29 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

El promedio ($6.91 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1} \pm 1.01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) de biomasa de follaje, ramillas, corteza y órganos reproductivos en la vegetación de los estratos Q fue superior al registrado en P - Q, (Tabla 1). Estos valores que casi duplican lo registrado por Vendrami et al. (2012), fluctuando entre $3.23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $4.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; a pesar de que el estudiado por dichos autores es un bosque maduro ombrófilo perennifolio, situado en la zona de transición entre las planicies costeras del Atlántico y los bosques mesófilos semidecíduos de Sau Paulo, Brazil.

Los porcentajes de deposición de biomasa en el área de estudio fueron 72.3%, 19.8% y 7.9% para follaje, ramillas y corteza y, órganos reproductivos, respectivamente (Tabla 2). Estos porcentajes fueron similares a los observados por Rivera et al. (2013) para el ecosistema forestal de la reserva de la biosfera Selva El Ocote en el estado de Chiapas, México, quienes estimaron una acumulación de biomasa de follaje de 71.6%, 19.4% de cortezas y ramillas y 9.0% de órganos reproductivos, respectivamente; con una producción biomasa total de $5.05 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

En la vegetación arbórea mixta de las planicies inundables del río Apalachicola en Florida, EE. UU., Elder y Cairns (1982) estimaron $8.134 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de hojarasca y otros órganos vegetales, de lo cual $4.83 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ correspondieron a material foliar, coincidiendo con la obtenida en la vegetación arbórea de la microcuenca del río Hueyapa ($5.00 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, Tabla 2).

Quinto et al. (2007) estimaron que la necromasa de la hojarasca caída para el bosque pluvial tropical de Colombia es de $7.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, equivalente a $3.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de carbono, lo que resulta similar a lo obtenido en este estudio ($6.91 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de biomasa y $3.48 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de carbono, respectivamente; Tabla 1). Por su parte Martínez Atencia (2013) estimó la producción de hojarasca foliar en una pradera de gramíneas en $0.77 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y, en praderas mixtas de árboles maderables y arbustos en el bosque tropical seco de Colombia, registró valores entre $2.88 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $3.15 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Los valores anteriores son ligeramente superiores a los observados en este estudio para la producción de follaje en *P. oocarpa* ($2.51 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) y *Quercus spp.* ($2.35 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Tabla 2).

La producción de hojarasca en un bosque natural de *Podocarpus falcatus* (Thund.) Endl. estudiado por Ashagrie & Zech (2013), fue $4.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que en plantaciones de *Cupressus sp.* fue de $2.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; estimaciones inferiores a las del bosque templado de estudio ($6.91 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de biomasa, Tabla 1).

Ramírez-Correa et al. (2007) estimaron la caída de hojarasca para *Pinus patula* Schl. et Cham. en $8.36 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$; para roble, en $7.88 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y, para ciprés, en $3.73 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en plantaciones de aproximadamente 36 años de edad con densidad entre 350 ha^{-1} y 615 ha^{-1} árboles en ecosistema de bosque húmedo montano. Igualmente, López Hernández et al. (2015) estimaron la producción anual de hojarasca en el matorral espinoso tamaulipeco entre 4.08 Mg ha^{-1} y 7.03 Mg ha^{-1} ; a pesar de que este último ecosistema es semidesértico, su intervalo de productividad es similar al área en estudio.

En la estación experimental forestal de la Universidad Autónoma de Nuevo León, México, González-Rodríguez et al. (2019) evaluaron la biomasa por caída de hojarasca en un bosque de transición pino-matorral, matorral espinoso y bosque de pino obteniendo $7.06 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, $4.96 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $4.83 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, respectivamente; con mayor deposición en los meses invernales y no necesariamente en el periodo de secas como en el presente estudio.

La biomasa del piso forestal estimada por López-Escobar et al. (2018) para bosques de *Pinus montezumae* Lamb. en Tlaxcala, México fue 21.8 Mg ha^{-1} , la producción de hojarasca de ese ecosistema fue de $6.3 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, muy similar al obtenido para el estrato P - Q del bosque templado de la microcuenca del río Hueyapa ($6.27 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Tabla 1).

La biomasa del piso forestal (mantillo) en un bosque alpino maduro con dominancia de *Pinus hartwegii* Lindl. en el centro de México fluctuó entre 16.9 Mg ha^{-1} y 45.6 Mg ha^{-1} ; mientras que la PPN de acículas de pino fue de $6.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y $11.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los cerros Tláloc y Jocotitlán, respectivamente (Torres-Duque et al., 2022), ecosistemas con densidad arbórea de 180 ha^{-1} y $14 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ de área basal. La productividad en el área de estudio fue



menor que en este bosque alpino, aunque la densidad arbórea y área basal fueron mayores.

CONCLUSIONES

Los bosques templados de la microcuenca del río Hueyapa, en Guerrero, México, representan un importante reservorio de carbono, no solo en la biomasa aérea de los árboles, sino también en la necromasa y el sotobosque. Este estudio ha demostrado que el estrato pino-encino presenta una mayor acumulación de carbono (7.67 Mg ha^{-1}) en comparación con el estrato de encino (6.71 Mg ha^{-1}), tanto en términos de biomasa total como en la mayoría de los componentes individuales (material leñoso caído, árboles muertos en pie y sotobosque). Esto podría deberse a la mayor diversidad de especies y la estructura más compleja del estrato pino-encino. En los dos estratos, la hojarasca acumula la mayor cantidad de carbono, representando más del triple del almacenado en el material leñoso caído, árboles muertos en pie y seis veces más que el carbono fijado en el sotobosque. Lo anterior resalta la importancia de la hojarasca como un sumidero de carbono a corto plazo en los ecosistemas forestales. Estos hallazgos representan una línea base para futuras investigaciones sobre la productividad y mitigación del cambio climático global, así como el papel de los bosques templados en el estado de Guerrero, México.

RECONOCIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el financiamiento del proyecto de investigación “Estimación de la captura de carbono en el bosque templado de la microcuenca del río Hueyapa, Guerrero, México” clave 278639 del Fondo Sectorial de Investigación Ambiental Semarnat-Conacyt, convocatoria 2016-1. A las autoridades y comuneros de la comunidad agraria Dos Caminos y Anexos, por el apoyo irrestricto para la obtención de datos estadísticos del bosque templado de la microcuenca del río Hueyapa.

REFERENCIAS

- Ashagrie, Y., & Zech, W. (2013). Litter production and nutrient cycling in two plantations and a *Podocarpus falcatus* dominated natural forest ecosystems in south-eastern highlands of Ethiopia. *African Journal Of Agricultural Research*, 8(38), 4810-4818. <https://doi.org/10.5897/ajar10.914>
- Barrios-Calderón, R. J., Infante-Mata, D., Flores-Garnica, J. G., Tovilla-Hermández, C., Grimaldi-Calderón, S. J., & García Alfaro, J. R. (2018). Woody fuel load in coastal wetlands of the La Encrucijada Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(3), 339-357. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.12.068>
- Bolaños González, Y., Bolaños González, M. A., Paz Pellat, F., & Ponce Pulido, J. I. (2017). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 35(1), 73-86. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i1.243>
- Bonilla Padilla, E., Rodríguez Trejo, D. A., Borja de la Rosa, A., Cántora González, C., & Santillán Pérez, J. (2012). Dinámica de combustibles en rodales de encino-pino de Chignahuapan, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 20-33. 4(19). <https://doi.org/10.29298/RMCF.V4I19.376>
- Chávez-León, G. (2016). *Importancia de los árboles muertos en pie para la fauna silvestre*. Folleto Técnico No. 20. Inifap-Sagarpa. Ciudad de México, México.
- Clark, D. A., Brown, S., Kicklighter, D. W., Chambers, J. Q., Thomlinson, J. R., & Ni, J. (2001). Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. *Ecological Applications*, 11(2), 356-370. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[0356:MNPPIF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[0356:MNPPIF]2.0.CO;2)
- Comisión Nacional Forestal - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [Conafor-Semarnat] (2011). *Inventario nacional forestal y de suelos. Manual y procedimiento para el inventario de campo. Re-muestreo 2011*.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2014). *Inventario estatal forestal y de suelos. Guerrero 2013*.
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2023). *Estado que guarda el sector forestal en México 2022. Bosques para el bienestar social y ambiental*.
- Concha, J. Y., Alegre, J. C., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología Aplicada*, 6(1), 75-82.

- Elder, J. F., & Cairns, D. (1982). *Production and decomposition of forest litter fall on the Apalachicola River flood plain, Florida*. U.S. Geological Survey Open File Report/Open-file Report. <https://doi.org/10.3133/ofr82252>
- Galicia, L., Saynes, V., & Campo, J. (2015). Biomasa aérea, subterránea y necromasa en una cronosecuencia de bosques templados con aprovechamiento forestal. *Botanical Sciences*, *93*(3), 473-484. <https://doi.org/10.17129/botsci.66>
- Giweta, M. (2020). Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal Of Ecology And Environment*, *44*(1). <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0151-2>
- González-Rodríguez, H., López-Hernández, J. M., Ramírez-Lozano, R. G., González-Meza, M. V., Cantú-Silva, I., Sarquís-Ramírez, J. I., & Mora-Olivo, A. (2019). Litterfall deposition and nutrient return in pine-oak forests and scrublands in northeastern Mexico. *Madera Bosques*, *25*(3), e2531514. <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2531514>
- Gough, C. M., Vogel, C. S., Harrold, K. H., George, K., & Curtis, P. S. (2007). The legacy of harvest and fire on ecosystem carbon storage in a north temperate forest. *Global Change Biology*, *13*(9), 1935-1949. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01406.x>
- Gutiérrez V., M. H., Méndez G., J., Flores L., C., Ramírez D., J. A., & Gutiérrez V., B. N. (2012). Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, *35*(2), 123-133.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2010). *Documento técnico descriptivo de la Red Hidrográfica escala 1:50000 edición 2.0. Aguascalientes, México*. http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/Doc.pdf
- Jain, T. B., Graham, R. T., & Adams, D. (2010). Carbon concentrations and carbon pool distributions in dry, moist, and cold mid-aged forests of the Rocky Mountains. En B. T. Jain, T. R. Graham, & J. Sandquist (Eds.), *Integrated management of carbon sequestration and biomass utilization opportunities in a changing climate*. Proceedings of the 2009 National Silviculture Workshop (pp. 39-59). Fort Collins, CO, USA: USDA Forest Service Proceeding RMRS-P-61.
- Jin, Y., Liu, C., Qian, S. S., Luo, Y., Zhou, R., Tang, J., & Bao, W. (2022). Large-scale patterns of understory biomass and its allocation across China's forests. *Science of the Total Environment*, *804*, 150169. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150169>
- Landuyt, D., Ampoorter, E., Bastías, C. C., Benavides, R., Müller, S. C., Scherer-Lorenzen, M., Valladares, F., Wasof, S., & Verheyen, K. (2020). Importance of overstorey attributes for understory litter production and nutrient cycling in European forests. *Forest Ecosystems/Forest Ecosystems*, *7*(1). <https://doi.org/10.1186/s40663-020-00256-x>
- Leyva-Pablo, T., De León-González, F., Etchevers-Barra, J. D., Cortés-Pérez, M., Santiago-García, W., Ponce-Mendoza, A., & Ponce, M. F. (2021). Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal comunitario. *Madera Bosques*, *27*(4), e2742421. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2742421>
- Liu, S., Bian, Z., An, T., Xia, C., Zhang, M., Chen, J., Hou, R., Zhang, K., & Zhao, H. (2021). Carbon pools of biomass and dead organic matter in typical forest ecosystems of Tibet: A new estimation based on the first forestry carbon sequestration monitoring undertaken in China. *Land Degradation & Development*, *32*(10), 2877-2891. <https://doi.org/10.1002/ldr.3828>
- López Hernández, J. M., González Rodríguez, H., Ramírez Lozano, R. G., del Valle Arango, J. I., Cantú Silva, I., Pando Moreno, M., Estrada Castellón, A. E., & Gómez Meza, M. V. (2015). Producción de hojarasca y depósito potencial de nutrientes de las hojas en el Matorral Espinoso Tamaulipeco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *6*(30), 74-89.
- López-Escobar, N. F., Gómez-Guerrero, A., Velázquez-Martínez, A., Fierros-González, A. M., Castruita-Esparza, L. U., & Vera-Castillo, J. A. G. (2017). Reservoirs and nutrient dynamics in two stands of *Pinus montezumae* Lamb. in Tlaxcala, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *24*(1), 115-129. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.09.055>
- López-López, J. D., Méndez G., J., Nájera-Luna, J. A., Cerano-Peredes, J., Flores-Flores, J. D., & Nájera-Castro, J. A. (2013). Producción de hojarasca en *Pinus balapensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc. y su relación con algunos factores climáticos. *Agrociencia* *47*(5), 497-510.
- Martínez Atención, J. C. (2013). Producción y descomposición de hojarasca en sistemas silvopastoriles de estratos múltiples y su efecto sobre propiedades bioorgánicas del suelo en el valle medio del Río Sinú [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia]. Facultad de Ciencias Agrarias.
- Mendoza-Cariño, M., Bautista-Olivas, A. L., Duarte-Tagles, H., & Celaya-Michel, H. (2022). Economic value of aboveground mangrove biomass carbon storage in Sonora, Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *28*(3), 367-384. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2021.09.056>
- Navarrete, D. A., Duque, A. J., Yepes, A. P., Phillips, J. F., Cabrera, K. R., López, E. W., Rivera, C. M., García, M. C., & Ordoñez, M. F. (2011). *Madera muerta: un reservorio de carbono en bosques naturales de Colombia. Validación metodológica para su medición en el marco de proyectos REDD+*. Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales [IDEAM].



- Navarro Martínez, J. (2019). Plan de manejo silvícola para captura de carbono en la microcuenca del río Hueyapa, Guerrero, México. [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma de Guerrero]. Centro de Ciencias de Desarrollo Regional,
- Navarro-Martínez, J., Godínez-Jaimes, F., López-López, M. A., Rosas-Acevedo, J. L., Juárez-López, A. L., & Reyes-Umaña, M. (2020). Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* en Guerrero, México. *Madera y Bosques*, 26(1), <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611964>
- Paz, F., Salas, V., Sánchez, C., Libert, A., & Bolaños, M. A. (2022). Caracterización de los almacenes de carbono, estructura y diversidad de los cafetales bajo sombra y vegetación natural en la Sierra Madre de Chiapas, México. *Elementos para políticas públicas*, 6(2), 101-121.
- Quinto, M. H., Ramos, P. Y. A., & Abadía, B. D. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque tropical en Solero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Cbo D.L.C.*, 26, 28-41.
- Ramírez-Correa, J. A., Zapata-Duque, C. M., León-Peláez, J. D., & González-Hernández, M. I. (2007). Caída de hojarasca y retorno de nutrientes en bosques montaños andinos de piedras blancas, Antioquia, Colombia. *Interciencia*, 32(5), 303-311.
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C., & Acevedo-Sandoval, O. A. (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(2), e1922341. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.192341>
- Rivera V., R., Soto P., L., Núñez C., C. A., De Jung, B. Hernández R., M. G., & Ordoñez D., J. A. B. (2013). Producción y tasa de descomposición de hojarasca en acahuales de selva caducifolia en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(20), 20-31.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall, W., & Ott, L. (1987). *Elementos de muestreo*. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Schindler, Z., Morhart, C., Sheppard, J. P., Frey, J., & Seifert, T. (2023). In a nutshell: exploring single tree parameters and above-ground carbon sequestration potential of common walnut (*Juglans regia* L.) in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 97(6), 1007-1024. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00844-0>
- Soriano-Luna, M. A., Ángeles-Pérez, G., Martínez-Trinidad, T., Plascencia-Escalante, F., & Razo-Zárate, R. (2015). Estimación de biomasa aérea por componente estructural en Zacualtipán, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 49(4), 423-438.
- Surco-Huacachi, O., & Garate-Quispe, J. (2022). Reservas de carbono en cuatro sistemas agroforestales combinadas con *Theobroma cacao* L., Madre de Dios. *Revista Amazónica de Ciencias Básicas y Aplicadas*, 1(1), e147. <https://doi.org/10.55873/racba.v1i1.147>
- Torres-Duque, F., Gómez-Guerrero, A., Trejo-Téllez, L. I., Reyes-Hernández, V. J., & Correa-Díaz, A. (2022). Stoichiometry of needle litterfall of *Pinus hartwegii* Lindl. in two alpine forests of central Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 28(1), 57-74. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.12.077>
- Wagner, C. E. (1982). *Practical aspect of the line intersect method*. Information Report PI-X-12. Petawawa National Forestry Institute. Canadian Forest Service. Chalk River, Ontario, Canada. <https://d1ied5g1xfqpx8.cloudfront.net/pdfs/6862.pdf>
- Velasco Bautista E., Ramírez Maodonado, H., Moreno Sánchez, F., & de la Rosa Vázquez, A. (2003). Estimadores de razón para el inventario nacional forestal de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 28(94), 23-43.
- Vendrami, J. L., Jurinitz, C. F., Castanho, C. T., Lorenzo, L., & Oliveira, A. A. (2012). Litterfall and leaf decomposition in forest fragments under different successional phases on the Atlantic Plateau of the state of Sao Paulo, Brazil. *Biota Neotropical*, 12(3), 136-143. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000300016>
- Yerena Y., J. I., Jiménez P., J., Alanís R., E., Aguirre C., O. A., González T., M. A., & Treviño G., E. J. (2014). Dinámica de la captura de carbono en pastizales abandonados del noreste de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(1), 113-121.

Manuscrito recibido el 18 de abril de 2024

Aceptado el 01 de noviembre de 2024

Publicado el 13 de diciembre de 2024

Este documento se debe citar como:

Navarro-Martínez, J., Godínez-Jaimes, F., Rosas-Acevedo, J. L., & Méndez-González, J. (2024). Reservorio de carbono en necromasa y sotobosque en un ecosistema forestal templado de Guerrero, México. *Madera y Bosques*, 30(3), e3032683. <https://doi.org/10.21829/myb.2024.3032683>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.