

Almacenamiento de carbono en *Coffea arabica* L. en la Sierra Madre de Chiapas

Pablo Marroquín Morales^{1,2}

Javier Jiménez Pérez¹

José Israel Yerena Yamalle¹

Rufino Sandoval García³

1 Facultad de Ciencias Forestales-Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional km 145, Linares, Nuevo León, México. CP. 67700. (israel.yerena@gmail.com).

2 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque carreta costera y pueblo Huehuetán, Huehuetán, Chiapas. CP. 30660. (marroquin-34@hotmail.com).

3 Departamento Forestal-Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. CP. 25315. (rufino.sandoval.garcia@gmail.com).

Autor para correspondencia: jjimenez20@gmail.com

Resumen

La acumulación de carbono en el café es una forma de disminuir los gases de efecto invernadero y combatir el cambio climático; sin embargo, en la Sierra de Chiapas no se tiene información precisa sobre la captura de carbono en los cafetales. Cuantificar el carbono es indispensable para valorar este servicio ecosistémico y conservar las plantaciones de café a través de subsidios. Por esta razón la presente investigación tiene como objetivo, evaluar el carbono almacenado en biomasa aérea de café en dos gradientes altitudinales, así también determinar la concentración de carbono (CC) y nitrógeno, siendo la CC un elemento indispensable para obtener el carbono almacenado en café. El estudio se realizó en dos altitudes: la primera a 1 200 m y la segunda a una altitud de 1 500 m. Para estimar el carbono, primeramente, se estimó la biomasa de manera indirecta utilizando una ecuación alométrica para la especie, posteriormente la concentración de carbono y nitrógeno se determinó con un equipo denominado analizador elemental Thermo Scientific Flash 2000 NC Soils Analyzer, que funciona por combustión completa a 950 °C. Una vez obtenido la biomasa y la concentración de carbono en café se multiplicaron, obteniendo así el carbono almacenado, para el dióxido de carbono se multiplicó el carbono almacenado por la constante 3.67. Los resultados indican diferencias significativas en el rango 1 200 msnm (10.72 t C ha⁻¹) y el más bajo almacenamiento de carbono en el rango 1 500 msnm (4.74 t C ha⁻¹). Lo anterior, indica que la captura de carbono en café es influenciada por la altitud del sitio, a menor altitud mayor carbono almacenado habrá en el café.

Palabras clave:

altitud, biomasa, café.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

Una forma de mitigar los gases de efecto invernadero (GEI) es a través de la captura del carbono, mediante la fotosíntesis, el cual debe mantenerse el mayor tiempo posible secuestrado (Espinoza et al., 2012). El cultivo agroindustrial café, es el principal cultivo en la Sierra Madre de Chiapas, donde los productores obtienen gran parte de su economía para vivir, es por ello que conservan los cafetales. Por lo tanto, el carbono en el café estará siempre secuestrado de manera aérea o en el suelo y contribuye a la disminución de los GEI.

La conservación del café permite capturar carbono, por lo que se debe proponer como una alternativa para mitigar el cambio climático, a través de subsidios para el productor y así garantizar aún más el carbono que existen en los cafetales (Olorunfemi et al., 2019), de manera que, se conservaría el suelo, se obtendría mayor fijación biológica de nitrógeno y ciclaje de nutrientes (Villa et al., 2020).

Para obtener el carbono almacenado en café se requiere obtener la biomasa y el contenido porcentual de carbono. La biomasa es el peso seco de la especie, esta puede ser estimada directa e indirectamente. Las concentraciones de carbono (CC) en México han sido estudiadas mayormente en coníferas y latifoliadas (Yerena et al., 2012b; (Jiménez et al., 2013; Villanueva et al., 2015; Pompa et al., 2017) pero muy poco para café. Por lo consiguiente, conocer la concentración de carbono en café sería más preciso determinar el almacenamiento de carbono (Aquino et al., 2018).

En un estudio de café, Zavala et al. (2018) encontraron que el carbono almacenado depende de la altitud, donde a menor altitud mayor captura de carbono. Con altitudes de 1 565 m, Andrade et al. (2014) realizaron un estudio en Colombia sobre la fijación de carbono en café, donde registraron un promedio de 0.63 t C ha⁻¹. En cambio, en altitudes menores a 1 200 m el carbono promedio de café en Ecuador es de 4.6 t C ha⁻¹ (Corral et al., 2013).

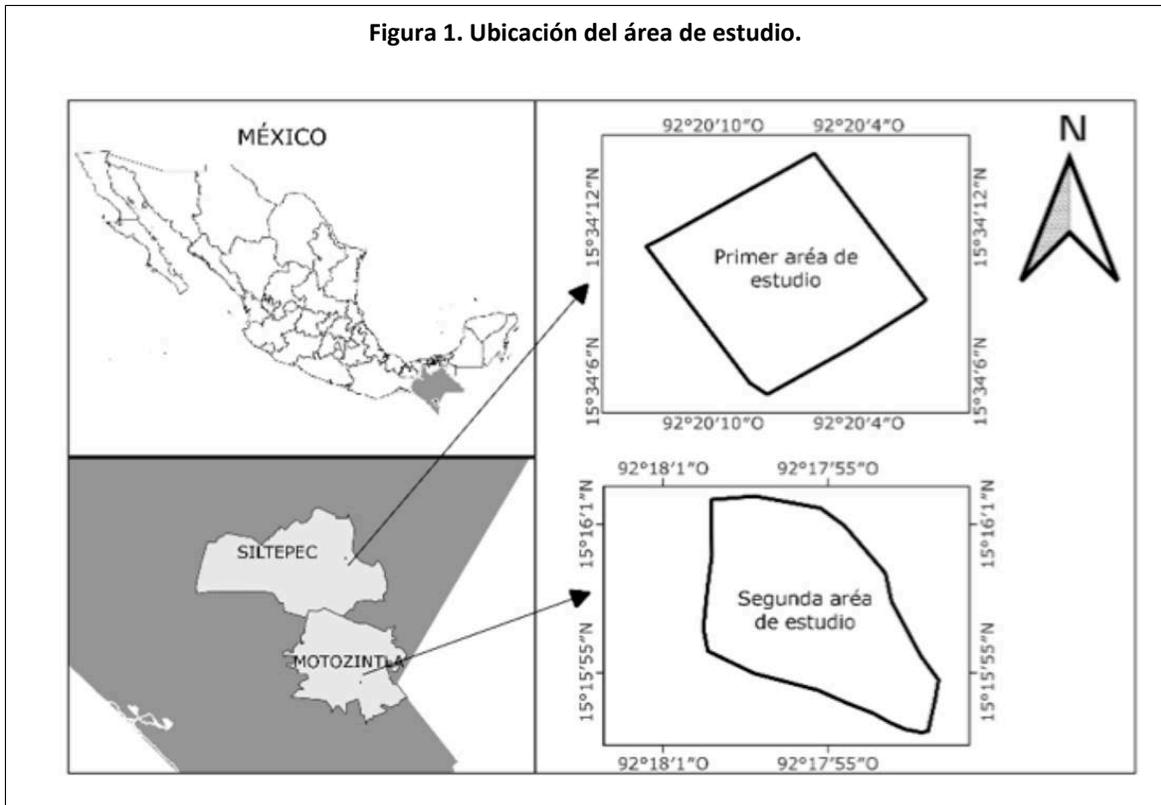
Dada la importancia y las consideraciones antes mencionadas, esta investigación tiene como objetivo, evaluar el almacenamiento de carbono en biomasa aérea de café en dos gradientes altitudinales, además se determinó la concentración de carbono y nitrógeno, siendo la CC un elemento confiable para obtener el carbono almacenado en café.

Materiales y métodos

El estudio se desarrolló en dos municipios pertenecientes a la Sierra Madre de Chiapas: La primera área se localiza entre las coordenadas 15° 34' 10.07" latitud norte y 92° 20' 6.28" longitud oeste, a una altitud de 1 200 m, ubicada en el municipio de Siltepec. La segunda área con coordenadas 15° 15' 56.7" latitud norte y 92° 17' 55.07" longitud oeste, a una altitud de 1 500 m ubicado en Motozintla (Figura 1). Los terrenos presentan pendientes del 0 al 60%. Los climas son cálidos subhúmedos, cálidos húmedos y semicálido húmedo, con lluvias abundantes en verano que oscila de 800 a 1 200 mm, una temperatura media anual mayor de 18 °C, los suelos predominantes en la zona son Luvisol, Regosol y Acrisol (García, 2004).



Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Diseño de muestreo

En cada una de las localidades se realizó un muestreo aleatorio, evaluando una superficie de 5 ha, para determinar el tamaño de sitios a inventariar, primero se realizó un premuestreo, utilizando la siguiente ecuación (1) (Ancira y Treviño, 2015).

$$n = \frac{t^2 * CV^2}{E^2_{\%}}$$

1). Donde: n = tamaño de muestra; t^2 = valor extraído de la tabla de t de Student ($p < 0.05$). CV = coeficiente de variación; E = error porcentual. El tamaño de muestra se definió, a partir de la variable biomasa. Se establecieron 24 sitios en total por ambas áreas, los sitios fueron rectangulares de 4×25 m (100 m^2) (Espinosa *et al.*, 2012; Timoteo *et al.*, 2016). En cada sitio se evaluaron todos los individuos presentes de café. Las variables que se midieron fue el diámetro normal (cm) con una cinta diamétrica modelo 283D/5m Forestry Suppliers y las alturas (m) se midieron con cinta métrica (Truper FH-5ME).

Estimación de biomasa

La biomasa aérea en café se estimó mediante el modelo alométrico propuesto por (Hairiah *et al.*, 2001) el cual contempla una sola variable independiente. Este modelo (2) fue aplicado para cada individuo de café. $BT = 0.2811 * DAP^2 + 2.0635$. Donde: BT = biomasa aérea total (kg); DAP = diámetro a la altura de pecho (cm).

Análisis de laboratorio

Una vez obtenida la biomasa, se calculó la concentración de carbono y nitrógeno del café. Por las dos aéreas se tomaron seis individuos al azar, por cada individuo se obtuvo una muestra por cada componente (corteza, hojas y fuste) colocándose en bolsas de papel (Aquino *et al.*, 2018).

Las muestras se secaron en una estufa de secado Blue M hasta alcanzar un peso constante, posteriormente se pulverizaron las 18 muestras en un molino marca Marathon Electric serie C20J020016, se colocaron en bolsas de polietileno etiquetadas con un código, con un peso promedio de 90 g cada una.

Después se pesaron 30 mg de cada muestra en una balanza, para que fueran analizadas por el equipo denominado analizador elemental Thermo Scientific Flash 2000 NC Soils Analyzer. La concentración de carbono y nitrógeno se determinó con el equipo antes mencionado, éste determina las concentraciones en muestras sólidas mediante combustión completa, a una temperatura de 950 °C, los gases producto de la combustión son medidos a través de un detector de infrarrojo no dispersivo que contabiliza las moléculas de carbono contenidas en estos gases (Yerena et al., 2012a).

Estimación de carbono y dióxido de carbono

El carbono almacenado en cada planta de café se estimó mediante la multiplicación de la biomasa aérea por la concentración de carbono promedio de los componentes del presente estudio. Una vez obtenido el almacenamiento de carbono se multiplicó por la constante 3.67 (44/12) y se obtuvo el dióxido de carbono en café (Zavala et al., 2018).

Análisis estadístico

La biomasa, el almacenamiento de carbono y el dióxido de carbono en café se comparó como poblaciones independientes a través de una prueba de t Student para verificar las diferencias significativas en diferentes altitudes (Hernández et al., 2017).

Los datos de concentración de carbono y nitrógeno fueron sometidos a un análisis de varianza y cuando se presentaron diferencias significativas se realizó la prueba de medias de Tukey ($p < 0.05$) y verificar la diferencia entre los componentes de café (Sáenz et al., 2021). Los análisis fueron realizados en el programa estadístico R Studio, versión 4.1.2 (Marroquín et al., 2018; R Core Team, 2022).

Resultados y discusión

El número de plantas de café en Siltepec fue un promedio de 30 individuos por sitio, teniendo una densidad promedio de 3 014 plantas ha⁻¹, en cambio para Motozintla hubo un promedio de 32 individuos por sitio, con 3 211 plantas ha⁻¹, esta densidad depende de la forma de plantación respecto a la topografía del terreno. Para ambas altitudes la distancia de siembra fue de 2 x 1.5 m. El marco de plantación en Siltepec fue marco real, con pendientes inferiores a 20% y en Motozintla a tres bolillos con pendientes superiores a 40%. La diferencia de plantas se debe a la topografía que presenta cada altitud (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de individuos evaluados por hectárea.

Localidad	Especie	Distancia de siembra (m)	Densidad (plantas ha ⁻¹)
Siltepec	Café	2 x 1.5	3 014
Motozintla	Café	2 x 1.5	3 211

La distancia de siembra en café es igual a lo reportado por Zavala et al. (2018), obteniendo más de 3 000 individuos de café ha⁻¹, mientras en distanciamientos de 1.3 x 1.3 m se registraron densidades > 6 250 (Medina et al., 2009; Jurado et al., 2019), que no influyen en la CC respecto a la presente investigación.

Los diámetros en Siltepec varían de 2.45 a 3.98 cm, reportando una altura promedio de 2.91 m, estos valores estiman una biomasa promedio de 2.49 kg por individuo. Para la otra localidad

los diámetros oscilan de 1.25 a 2.48 cm y una altura media de 2.24 m, obteniendo una biomasa promedio de 0.88 kg por planta.

Los sitios con altitudes de 1 200 m (Siltepec) duplican las estimaciones de biomasa, carbono y dióxido de carbono respecto a los 1 500 msnm (Cuadro 2). Con base en lo anterior Solórzano y Querales (2010) reportan diámetros en café de 2.02 a 4.1 cm, siendo estos valores similares a esta investigación, pero menor para la variable altura (1.6 m) en ambas localidades.

Cuadro 2. Variables obtenidas y estimadas en café.

\overline{DAP}	\overline{H}	\overline{Bt}	\overline{C}	$\overline{CO_2}$
		Siltepec		
2.88	2.91	226.6	107.2	393.7
		Motozintla		
1.74	2.24	100.7	47.4	173.7

\overline{DAP} = diámetro a la altura de pecho promedio (cm); \overline{H} = altura promedio (m); \overline{Bt} = biomasa total promedio (kg sitio⁻¹); \overline{C} = carbono promedio (kg sitio⁻¹); $\overline{CO_2}$ = dióxido de carbono promedio (kg sitio⁻¹).

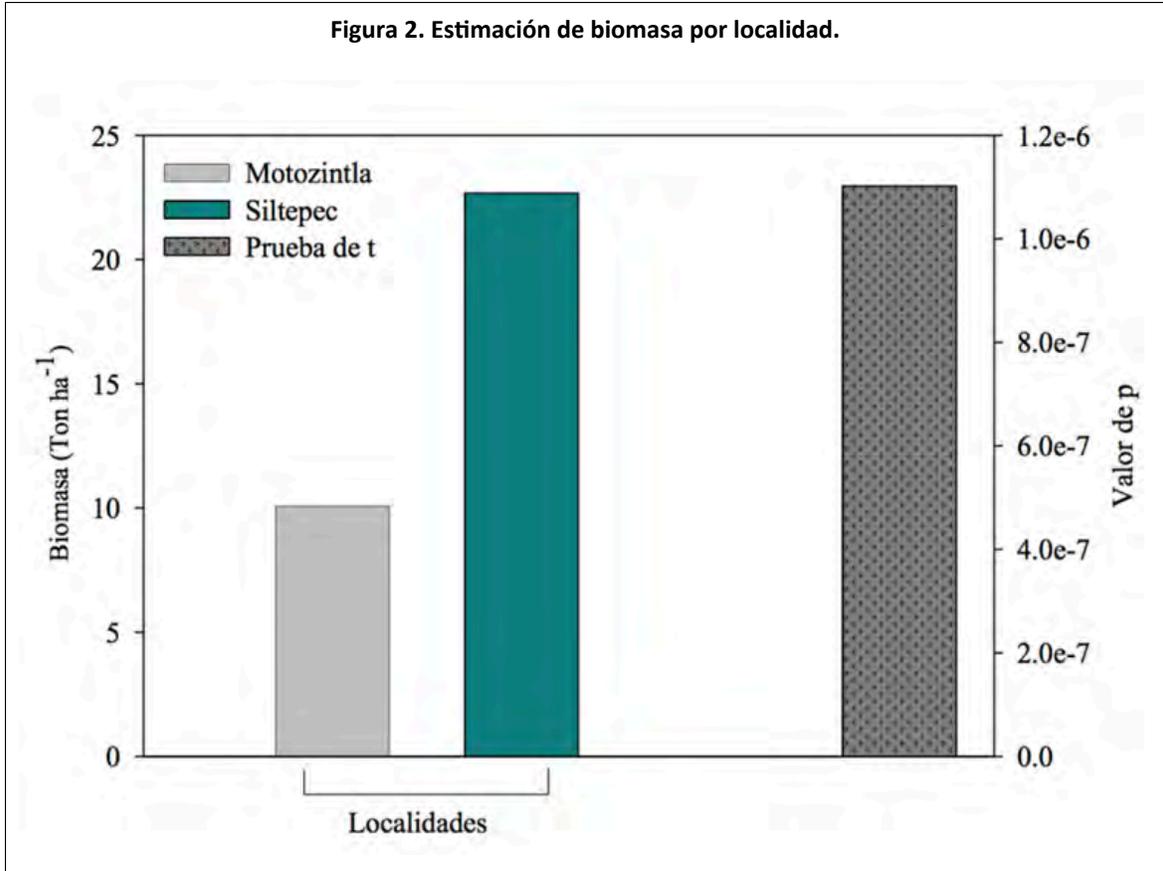
En un estudio realizado en Colombia, una planta de café presenta una biomasa promedio de 2 kg, este valor es similar al que se encontró en Siltepec, pero mayor a la biomasa de Motozintla (Darío, 2011). Zavala et al. (2018) evaluaron café a una altitud de 1 500 m reportando un diámetro promedio de 4.93 cm, con una altura media de 1.75 m, teniendo como resultado una biomasa por planta de 0.81 kg, este valor fue cercano a la biomasa que reporta Motozintla, aunque los resultados de diámetro y altura fueron mayores a las dos altitudes del presente estudio.

Estimación de biomasa

El análisis estadístico aplicado mediante la prueba de T de Student, indican que existen diferencias significativas ($p < 0.001$) en la biomasa por altitud. En altitudes de 1 500 m la biomasa promedio fue de 10.07 t ha⁻¹, para altitudes de 1 200 m se obtiene una biomasa media de 22.66 t ha⁻¹ (Figura 2), ambos resultados son mayores a los que reportan otros investigadores en café, donde registran una biomasa de 1.1 y 6.64 t ha⁻¹ en altitudes superiores a 1 500 m (Andrade et al., 2014; Jurado et al., 2019).



Figura 2. Estimación de biomasa por localidad.



Asimismo Hernández et al. (2020) realizaron una investigación de café en Colombia a una altitud de 1 200 m obteniendo una biomasa de 7.2 t ha⁻¹. Corral et al. (2013) reportaron 9.6 t ha⁻¹ en biomasa en café siendo este valor similar a la localidad de Motozintla (1 500 msnm) y de menor biomasa para Siltepec. Sin embargo, en los cafetales de Perú a una altitud de 1 500 m, Zavala et al. (2018) registraron una biomasa de 51.39 t ha⁻¹ en café a 10 años.

En el presente estudio la menor altitud es la que almacenó la mayor biomasa en las plantas de café, estos resultados coinciden con otras investigaciones donde la mayor biomasa almacenada se registró en altitudes $\leq 1\ 200$ m (Mena et al., 2011; Hernández et al., 2012). Las plantas de café juegan un papel importante en la acumulación de biomasa, ya que esta especie almacena entre 30 a 40% de biomasa respecto a un sistema agroforestal (Andrade et al., 2014; Terán et al., 2018). La acumulación de biomasa puede atribuirse al manejo de cultivo, como la aplicación de podas en el café y la fertilización, que contribuye a un mejor crecimiento y desarrollo de la planta (Medina et al., 2009).

Concentración de carbono

Concentración de carbono total por componente entre localidades

Entre los componentes de cada localidad se presentaron diferencias significativas ($p < 0.001$). La prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) indica que la concentración de carbono en el componente fuste es estadísticamente diferente con valores superiores al resto de componentes por localidad, mientras el componente hoja y corteza de Siltepec son estadísticamente similares, caso contrario para los componentes (hoja y corteza) de Motozintla, donde se presentó un grupo con valores intermedios que va de 46.18 a 47.42% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de carbono total (%) por componente entre localidades.

Componente	Localidad	Media ±EE	Agrupación Tukey ¹
Fuste	Siltepec	49.25 ±0.72	a
	Motozintla	48.97 ±2.49	a
Hoja	Motozintla	47.42 ±0.9	ab
	Siltepec	46.53 ±0.76	bc
Corteza	Siltepec	46.18 ±0.93	bc
	Motozintla	44.72 ±1.41	c

¹ = letras iguales son estadísticamente similares ($p \leq 0.05$). EE= error estándar.

Al igual que este estudio Yerena et al. (2012a) presentaron valores superiores en el fuste en sitios del matorral espinoso tamaulipeco, y en los sitios de corteza los valores fueron inferiores al resto de sus componentes. La CC promedio fue mayor en la localidad de Siltepec <altitud que> Motozintla, siendo similar a la investigación de Hernández et al. (2012) en un estudio de captura de carbono donde encontraron que, a menor altitud mayor contenido de carbono en la biomasa total.

Concentración de carbono total de la especie

Mediante el análisis de varianza se determinó que si hay diferencias significativas entre los componentes de café ($p < 0.001$), por lo que se procedió a realizar la prueba de Tukey ($\alpha = 0.05$) donde la concentración de carbono se dividió en tres grupos. El contenido de carbono expresado en porcentaje vario de 45.45 a 49.11%, donde la corteza obtuvo la menor concentración de carbono, posteriormente la hoja y por último el fuste (Cuadro 4).

Cuadro 4. Carbono y nitrógeno total por componente en café.

Componente	Media ± EE	Agrupación Tukey ¹
Carbono		
Fuste	49.11 ±0.81	a
Hoja	46.98 ±0.54	b
Corteza	45.45 ±0.84	c
Nitrógeno		
Hoja	3.03 ±0.35	a
Corteza	1.68 ±0.15	b
Fuste	1.43 ±0.05	c

¹ = letras iguales son estadísticamente similares ($p \leq 0.05$). EE= error estándar.

Figuroa et al. (2005) determinaron la CC en café obteniendo valores de 41.9% en fuste y 42.3% en hojas, dichos porcentajes son menores al presente estudio. El promedio del contenido de carbono total de este estudio fue 47.18%, este valor es similar a lo registrado en Oaxaca donde obtuvieron el 46.2% para especies desarrolladas en ambientes tropicales (Aquino et al., 2018), al igual que lo reportado en latifoliadas (48.84%) y *Pinus* sp. (47.34%) (Yerena et al., 2012b; Jiménez et al., 2013). Por su parte, la CC obtenido en árboles que se utilizan como sombra para el café (40.28%) resultaron más bajos al de esta investigación (Hernández et al., 2012). Respecto a lo anterior, las especies tienen diferentes contenidos de carbono (41.9-49.95%); sin embargo, la mayoría de las especies es cercano a 0.5.

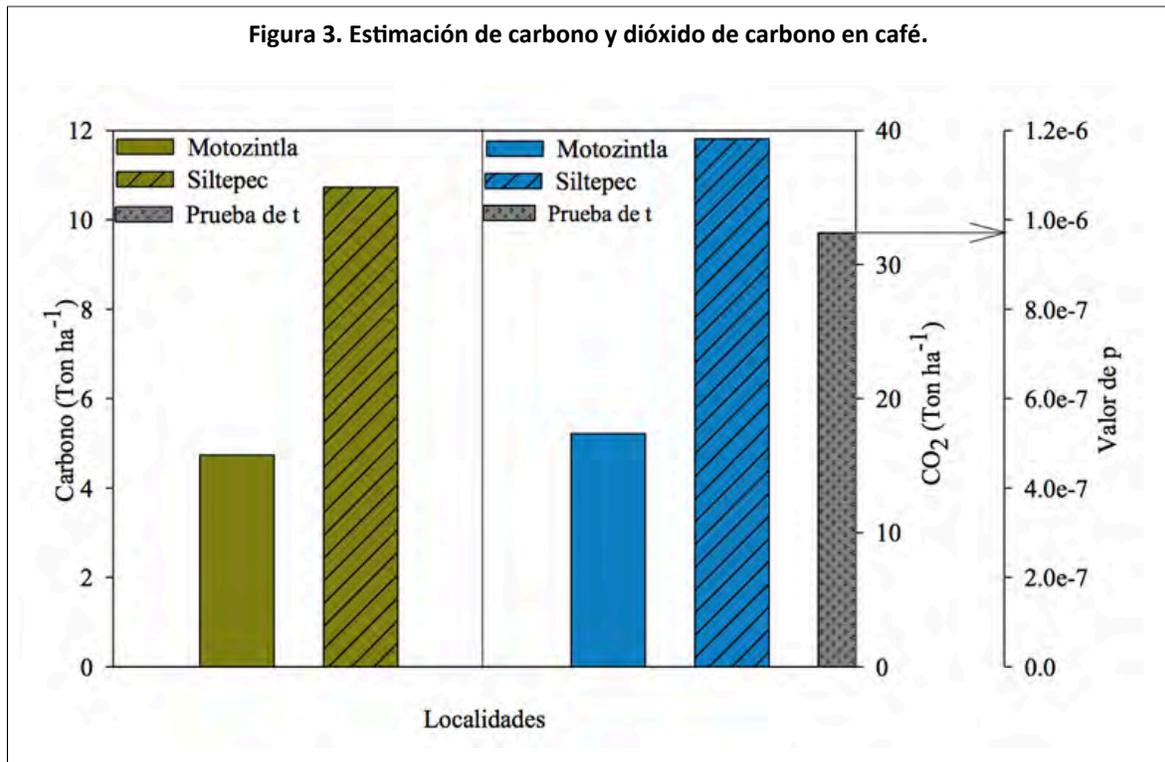


Concentración de nitrógeno

El café no solo contiene carbono, sino también nitrógeno (N), principalmente en el componente hoja (3.03%), seguida la corteza (1.68%) y por último el fuste (0.43), teniendo una media de 1.71% en nitrógeno total (Cuadro 4). El contenido de nitrógeno en promedio de este estudio es inferior a lo reportado por Pérez et al. (2014) donde los valores oscilan entre 2.91 a 3.09% N en café. Sin embargo, para especies tropicales en Chiapas el nitrógeno es de 1.86% en un estudio realizado por Moreno et al. (2021), siendo similar a este estudio, pero menor para árboles tropicales en Oaxaca, con 0.48% N (Hernández et al., 2012). Es importante conocer el nitrógeno en las plantas de café, porque sirven como indicadores del estado nutricional de la planta. Un buen contenido foliar de nitrógeno en café permite obtener un buen rendimiento, un valor por debajo de 2.80% N (foliar) indica insuficiencia de nutrientes (Pérez et al., 2014).

Estimación de carbono y dióxido de carbono

Al estimar el carbono (C) y el dióxido de carbono (CO₂) en café por altitudes, se determinó que existen diferencias significativas ($p < 0.001$). En el presente estudio las plantas de café registraron 10.72 t C ha⁻¹ y 39.37 t CO₂ ha⁻¹ en altitudes de 1 200 m (Siltepec), para altitudes de 1 500 m (Motozintla) se obtuvo 4.74 t C ha⁻¹ y 17.37 t CO₂ ha⁻¹; (Figura 3).



El mayor almacenamiento de carbono y dióxido de carbono se presentó en altitudes de 1 200 m, esta afirmación coincide con otros autores donde han encontrado el mayor potencial de carbono de café en altitudes menores a 1 300 m (Hernández et al., 2012; Paz et al., 2018). Terán et al. (2018) realizaron un estudio de café en Oaxaca con altitudes de 1 200 a 1 600 m, donde encontraron valores de 2.38 t C ha⁻¹ y 8.71 t CO₂ ha⁻¹, estos valores son inferiores a la altitud de 1 200 m en esta investigación, caso contrario para la altitud de 1 500 m.

En un estudio realizado de café en Veracruz con altitudes por encima de 2 200 m, Valdés et al. (2022) encontraron valores de 8.88 t C ha⁻¹ siendo este valor diferente a lo reportado en el presente estudio. Los resultados de las variables estimadas de Motozintla son similares a los resultados de Van et al. (2002); Jurado et al. (2019); Hernández et al. (2020) donde encontraron

valores promedios de 3.5 t C ha⁻¹ y 12.84 t CO₂ ha⁻¹. Asimismo, autores como Zavala et al. (2018) reportaron 8.42 t C ha⁻¹ y 30.9 t CO₂ ha⁻¹ en café con altitudes menores a 1 500 m en Perú. El almacenamiento de carbono en las plantas de café depende principalmente de la altitud, pendiente del sitio, condiciones climáticas y prácticas de manejo, como son las podas (Darío, 2011; Hernández *et al.*, 2012; Zavala *et al.*, 2018).

Conclusiones

La concentración de carbono total en la biomasa aérea de café varió de 45.45 a 49.11% en sus componentes, obteniendo un contenido de carbono promedio de 47.18%. El almacenamiento de carbono en los dos gradientes altitudinales presentó diferencias significativas, donde el mayor carbono registrado fue en altitudes de 1 200 m con un promedio de 10.72 t C ha⁻¹. La altitud es una variable que influyó en el almacenamiento de carbono en los cafetales de la Sierra Madre de Chiapas.

Bibliografía

- 1 Ancira, S. L. y Treviño, G. E. J. 2015. Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*. 21(1):77-91. Doi: 10.21829/myb.2015.211434.
- 2 Andrade, H. J.; Marín, M. L. y Pachón P. D. 2014. Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. *Biagro*. 26(2):127-32. <http://www.scielo.org/ve/scielo.php?pid=S131633612014000200008&script=sci-arttext>
- 3 Aquino, R. M.; Velázquez, M. A.; Etchevers, B. J. D. y Castellanos, B. J. F. 2018. Concentración de carbono en tres especies de árboles tropicales de la Sierra Sur de Oaxaca. *Agrociencia*. 52(3):455-465. <https://www.scielo.org/mx/pdf/agro/v52n3/2521-9766-agro-52-03-455.pdf>.
- 4 Corral, C. R.; Duicela, L. A. y Maza, C. H. 2013. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café arábigo y cacao, en dos zonas agroecológicas del Litoral Ecuatoriano. *In: X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Ecuador. 15 p.
- 5 Darío, A. J. 2011. Desarrollo de modelos de biomasa aérea en sombríos de cafeto (*Coffea arabica* L.) mediante datos simulados. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 14(1):49-56. Doi: 10.31910/rudca.v14.n1.2011.756.
- 6 Espinoza, D. W.; Krishnamurthy, L. R.; Vázquez, A. A. y Torres, R. A. 2012. Almacén de carbono en sistemas agroforestales con café. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18(1):57-70. Doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.04.030.
- 7 Figueroa, N. C.; Etchevers, B. J. D.; Velázquez, M. A. y Acosta, M. M. 2005. Concentración de carbono en diferentes tipos de vegetación de la Sierra Norte de Oaxaca. *Terra Latinoamericana*. 23(1):57-64. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57323108>.
- 8 García, A. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Serie Libros, Núm. 6. México, DF. 97 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- 9 Hairiah, K.; Sitompul, S. M.; Van, N. M. and Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA. Regional Office. Bogor, Indonesia. 31 p.
- 10 Hernández, N. H. E.; Andrade, J. H.; Suárez, S. J. C.; Sánchez, A. J. R.; Gutiérrez, S. D. R.; Gutiérrez, G. G. A.; Trujillo, T. E. y Casanoves, B. F. 2020. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 69(1):352-368. Doi:10.15517/rbt.v69i1.42959.

- 11 Hernández, V. D.; Pompa, G. M.; Yerena, Y. J. I. and Alanís, R. E. 2017. Within-tree carbon concentration variation in three Mexican pine species. *Bosque*. 38(2):381-386. Doi: 10.4067/S0717-92002017000200015.
- 12 Hernández, V. E.; Campos, A. G. V.; Enríquez, V. J. R.; Rodríguez, O. G. y Velasco, V. V. A. 2012. Captura de carbono por *Inga jinicuil* schltl. en un sistema agroforestal de café bajo sombra. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3(9):12-21. Doi: 10.29298/rmcf.v3i9.536.
- 13 Jiménez, P. J.; Treviño, G. E. J. y Yerena, Y. J. I. 2013. Concentración de carbono en especies del bosque de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(17):51-61. Doi: 10.29298/rmcf.v4i17.420.
- 14 Jurado, R. M. A.; Ordoñez, J. H. R.; Ballesteros, P. W. y Delgado, V. I. A. 2019. Evaluación de captura de carbono en sistemas productivos de café (*Coffea arabica* L.) Consacá, Nariño-Colombia. 16 p. <https://sired.udenar.edu.co/5909/>.
- 15 Marroquín, M. P.; Méndez, G. J.; Jiménez, P. J.; Aguirre, C. O. A. y Yerena, Y. J. I. 2018. Estimación de biomasa aérea en *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. en Saltillo, Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 9(47):094-110. Doi: 10.29298/rmcf.v9i47.172.
- 16 Medina, B. C.; Calero, G. C.; Hurtado, H. y Vivas, S. E. 2009. Cuantificación de carbono en la biomasa aérea de café (*Coffea arabica* L.) con sombra, en la comarca palo de sombrero, Jinotega, Nicaragua. *La Calera*. 9(12):28-34. Doi: 10.5377/calera.v9i12.4.
- 17 Mena, E. V.; Andrade, H. J. y Navarro, M. C. 2011. Biomasa y carbono almacenado en sistemas agroforestales con café y en bosques secundarios de un gradiente altitudinal en Costa Rica. *Agroforestería Neotropical*. 1(1):2-20. <http://revistas.ut.edu.co/index.php/agroforesteria/article/view/11/11>.
- 18 Moreno, C. A. I.; Soto, P. M. L.; Cariño, O. M. M.; Palma, G. J. M.; Moctezuma, P. S.; Rosales, A. J. J.; Montañez, E. P. I.; Sosa, F. V. J.; Ruenes, M. M. R. y López, M. W. 2021. Los sistemas agroforestales de México-avances, experiencias, acciones y temas emergentes. *In*: Salgado, M. M. G.; Ruiz, B. C.; Moreno, M. J. L. y González, Á. J. Ed. Servicios ambientales en sistemas de café bajo sombra. El caso del carbono en biomasa aérea en la Sierra Madre de Chiapas. 1ª. Ed. 485-499 pp.
- 19 Olorunfemi, I. E.; Komolafe, A. A.; Fasinmirin, J. T. and Olufayo, A. A. 2019. Biomass carbonstocks of different land use management in the forest vegetative zone of Nigeria. *Acta Oecologica*. 95(2):45-56. Doi: 10.1016/j.actao.2019.01.004.
- 20 Paz, P. F.; Velázquez, R. A. y Rojo, M. M. 2018. Estado actual del conocimiento del ciclo del carbono y sus interacciones en México. *In*: Salas, M. V.; Paz, P. F.; Rojas, G. F. y Bolaños, G. M. A. Ed. Almacenes de carbono en sistemas agroforestales cafetaleros de la Sierra Madre de Chiapas y Estado de México, México. 671-677 pp.
- 21 Pérez, D. A.; Castañeda, H. E.; Lozano, T. S.; Bustamante, G. C. A.; Rivera, E. R. A.; Rodríguez, O. G.; Martín, A. G. M.; Robles, P. C.; Acosta, C. G. and Fernández, T. A. 2014. Foliar analysis as an estimate on the nutritional state of Conilon coffee plantations on Cambisoils. *Journal of Life Sciences*. 8(2):181-187. <https://www.researchgate.net/publication/270883682-Foliar-Analysis-as-an-Estimate-on-the-Nutritional-State-of-Conilon-Coffee-Plantations-on-Cambisoils/references>.
- 22 Pompa, G. M.; Sigala, R. J. A.; Jurado, Y. E. and Flores, R. J. 2017. Tissue carbon concentration of 175 Mexican forest species. *iForest-Biogeosciences and Forestry*. 10(4):754-758. Doi: 10.3832/ifer2421-010.
- 23 R Core Team. 2022. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

- 24 Sáenz, R. J. T.; Rueda, S. A.; Benavides, S. J. de D.; Muñoz, F. H. J.; Castillo, Q. D. y Sáenz, C. J. E. 2021. Ecuaciones alométricas, biomasa y carbono en plantaciones forestales tropicales en la costa de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* . 12(65):26-44. Doi: 10.29298/rmcf.v12i65.856.
- 25 Solórzano, E. N. J. y Querales, D. 2010. Crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*) bajo la sombra de cinco especies arbóreas. *Revista Forestal Latinoamericana*. 25(1):61-80. <https://www.researchgate.net/publication/266316856>.
- 26 Terán, R. M. A.; Rodríguez, O. G.; Enríquez, del V. J. R. y Velasco, V. V. A. 2018. Biomasa aérea y ecuaciones alométricas en un cafetal en la Sierra Norte de Oaxaca. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 5(14):217-226. Doi: 10.19136/era.a5n14.1444.
- 27 Timoteo, A. K. J.; Remuzgo, F. J. R.; Valdivia, E. L. A.; Sales, D. F.; García, S. D. y Abanto, R. C. 2016. Estimación del carbono almacenado en tres sistemas agroforestales durante el primer año de instalación en el departamento de Huánuco. *Folia Amazónica*. 25(1):45-54. Doi: 10.24841/fa.v25i1.382.
- 28 Valdés, V. E.; Vázquez, D. L. P.; Tinoco, R. J. A.; Sánchez, H. R.; Salcedo, P. E. y Lagunes, F. E. 2022. Servicio ecosistémico de carbono almacenado en cafetales bajo sombra en sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 28(esp.):287-297. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/3283/5160> .
- 29 Van, N. M.; Rahayu, S.; Hairiah, K.; Wulan, C. Y.; Farida, A. and Verbist, B. 2002. Carbon stock assessment for a forest-to-coffee conversion landscape in Sumber-Jaya (Lampung, Indonesia): from allometric equations to land use change analysis. *Journal of Science in China*. 45(serie C):75-86. <https://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/Carbon-Stocks-Sumber-Jaya1.pdf>.
- 30 Villa, M. P.; Martins, S. V.; Oliveira, N. S. N.; Rodríguez, A. C.; Hernández, E. P. and Kim, D. G. 2020. Policy forum: shifting cultivation and agroforestry in the Amazon: premises for REDD +. *Forest Policy and Economics*. 118:1-11. Doi: 10.1016/j.forpol.2020.102217.
- 31 Villanueva, L. G.; Martínez, Z. P.; Casanova, L. F.; Ramírez, A. L. and Montañez, E. P. I. 2015. Carbon storage in livestock systems with and without live fences of *Gliricidia sepium* in the humid tropics of Mexico. *Agroforest Syst*. 89(6):1-14. Doi: 10.1007/s10457-015-9836-4.
- 32 Yerena, Y. J. I.; Jiménez, P. J.; Aguirre, C. O. A. y Treviño, G. E. J. 2012a. Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México. *Bosque* . 33(2):145-152. Doi: 10.4067/S0717-92002012000200004.
- 33 Yerena, Y. J. I.; Jiménez, P. J.; Aguirre, C. O. A.; Treviño, G. E. J. y Alanís, R. E. 2012b. Concentración de carbono en el fuste de 21 especies de coníferas del noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* . 3(13):50-56. Doi: 10.29298/rmcf.v3i13.488.
- 34 Zavala, S. J. W.; Zavala, G. S. L. y Mansilla, M. L. G. 2018. Estimación de la biomasa y carbono almacenado en un sistema agroforestal del cafetal de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. *Investigación y Amazonia, Tingo María, Perú*. 8(5):1-8. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/200/183>.



Almacenamiento de carbono en *Coffea arabica* L. en la Sierra Madre de Chiapas

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2024
Date accepted: 01 February 2024
Publication date: 12 March 2024
Publication date: March 2024
Volume: 15
Issue: 2
Electronic Location Identifier: e3315
DOI: 10.29312/remexca.v15i2.3315

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

altitud
biomasa
café

Counts

Figures: 3
Tables: 4
Equations: 6
References: 34
Pages: 0