

Carbono almacenado en una parcela agroforestal del programa sembrando vida en Huehuetán

Pablo Marroquín-Morales¹
Romeo de Jesús Barrios-Calderón^{1,§}
José Daniel González-Pérez¹
Humberto Osorio-Espinoza¹
Magdiel Gabriel-Hernández¹
Jorge Reyes-Reyes¹

1 Facultad de Ciencias Agrícolas-Universidad Autónoma de Chiapas. Campus IV. Entronque Carretera Costera y Pueblo de Huehuetán. Huehuetán, Chiapas, México. CP. 30660.

Autor para correspondencia: romeo.barrios@unach.mx.

Resumen

El cambio climático hoy en día constituye una fuerte amenaza para los seres vivos. Actividades humanas como el uso de combustibles fósiles, quemas, uso de químicos y principalmente la deforestación contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero. En respuesta a ello, en México se han implementado programas gubernamentales, nacionales y ambientales donde se establecen esquemas de trabajo en conjunto con el productor en los que se obtienen diversos beneficios sociales, económicos y ambientales, cuyo objetivo principal es aminorar el impacto ambiental, tal es el caso del programa sembrando vida. Los sistemas agroforestales son considerados un sistema relevante para hacer frente al cambio climático a través de la biomasa y contenido de carbono que presentan los diferentes estratos vegetales en estos agroecosistemas. En la investigación se estimó el almacenamiento de carbono de forma indirecta en el sistema agroforestal, con un total de 15 sitios, de 4 x 25 m, el predio, es participante en el programa sembrando vida en la comunidad 'San José, El Amate' (Huehuetán, Chiapas), una vez recabado estos datos; a través, de ecuaciones alométricas, se obtuvo la biomasa, el carbono y el dióxido de carbono. La parcela agroforestal estudiada cuenta con una reserva de 22.6 t ha⁻¹ de biomasa aérea, 8.75 t ha⁻¹ de carbono y 32.14 t ha⁻¹ de dióxido de carbono.

Palabras clave:

biomasa aérea, cambio climático, mitigación, modelos alométricos.



Introducción

Las altas concentraciones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO_2), han impulsado la búsqueda de estrategias que permitan su mitigación a través de mecanismos naturales de absorción y almacenamiento (González-Abrego *et al.*, 2023). Los sistemas agroforestales juegan un papel importante en este proceso. La cantidad de carbono secuestrado está vinculada a las características del sistema agroforestal presente *in situ*, incluyendo las especies arbóreas y la gestión del sistema (Podong *et al.*, 2023).

México está dentro de los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero, a nivel mundial con un aproximado de 444 millones de toneladas de emisiones neta anuales, lo que representa un 2% de las emisiones mundiales (Casanova *et al.*, 2011). En México se han creado una serie de programas de tipo social y productivos que impulsan el desarrollo del pequeño productor, destacando el programa sembrando vida cuya finalidad es incrementar la productividad agroforestal con base en criterios de sostenibilidad tomando en cuenta la mitigación del cambio climático y la reducción de gases de efecto invernadero (Baca *et al.*, 2021).

En el estado de Chiapas, de 2001 a 2018 se han deforestado 327 753 ha, equivalentes a 18 209 ha año⁻¹ de tierras deforestadas, en el año 2023 se deforestaron 10 694 ha (CONAFOR, 2022). Debido a la pérdida de cobertura y la degradación de los suelos, se ha implementado el programa sembrando vida cuyo principal objetivo es disminuir la degradación ambiental.

Las parcelas establecidas bajo este esquema de producción reúnen condiciones que permiten evaluar su potencial de captura de carbono desde las primeras etapas, debido a que incorpora especies forestales (cedros y caobas) frutales (cítricos) y cultivos tradicionales (café y cacao) en diversos arreglos agroforestales (INECC, 2021). A pesar de la importancia socioambiental del programa, la mayoría de las investigaciones se han centrado en aspectos sociales y económicos (Tapia-Alba y Chiatchoua, 2025) siendo escasas las investigaciones de impacto ecológico, dejando una brecha importante para indagar sobre la dinámica del carbono en estos agroecosistemas (Cortez *et al.*, 2022).

Por lo anterior, el presente estudio tiene como objetivo estimar el contenido de carbono almacenado en la biomasa aérea de especies forestales en parcelas bajo un esquema agroforestal del programa sembrando vida en Huehuetán, Chiapas.

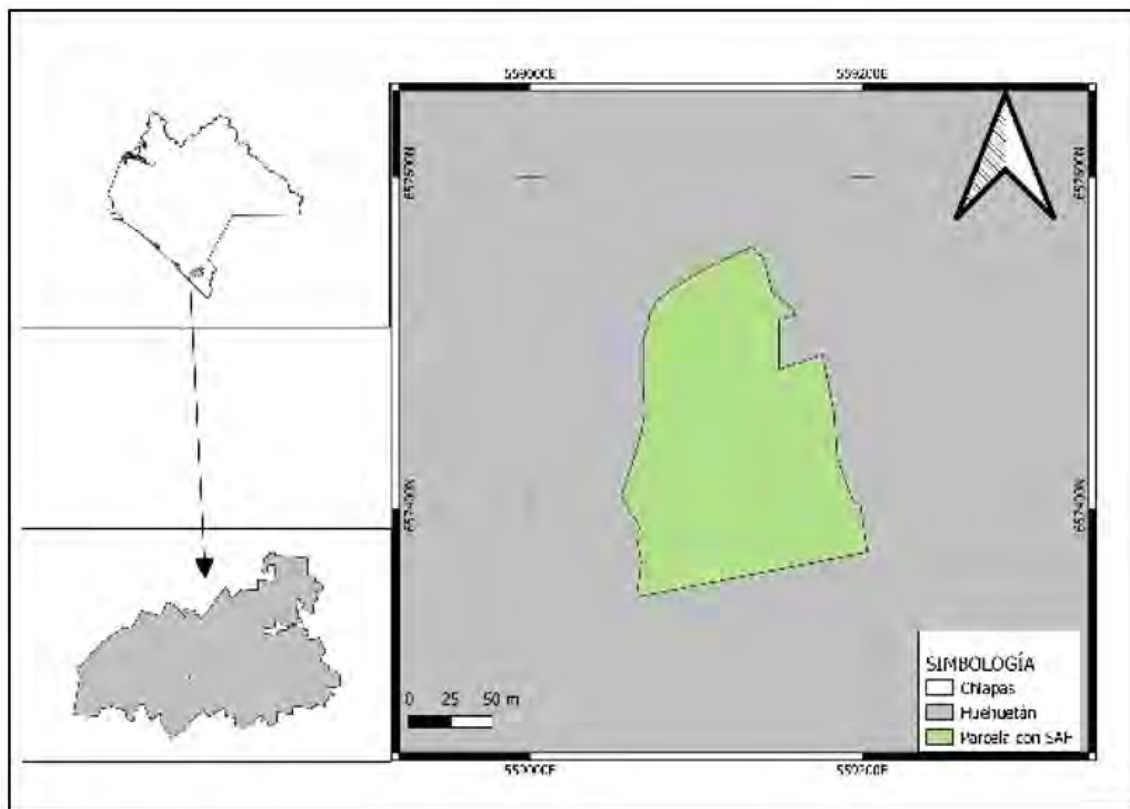
Materiales y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó en la localidad de San José, el Amate, en el municipio de Huehuetán, Chiapas. Las coordenadas UTM son 1 657 449 en el eje Y y 559 120 en el eje X, ubicadas en la zona 15, con una altitud de 50 m. La parcela de estudio cuenta con una superficie de 2.5 ha inscritas en el programa sembrando vida (Figura 1).



Figura 1. Localización del área de estudio dentro de la localidad San José, El Amate en Huehuetán, Chiapas.



La parcela fue establecida en el año 2019 dentro del programa sembrando vida y se evaluó en el cuarto año. El diseño de plantación consiste en un sistema agroforestal mixto, donde se combinan actividades agrícolas y forestales con la asociación de siete especies. Las especies agrícolas incluyen a *Musa paradisiaca* L. y *Theobroma cacao* L. con diámetros promedio a la altura de pecho (DAP) de 12.36 cm y 4.79 cm (2 m de altura), respectivamente. Las principales especies forestales (frutales y maderables) son: *Annona muricata* L., *Bixa orellana* L., *Cedrela odorata* L., *Tabebuia rosea* L. y *Cocos nucifera* L.; estas presentan un DAP promedio de 3.5 cm, 5.57 cm, 5.56 cm, 6.76 cm y 0.95 cm, respectivamente con una altura media de 1.7 m.

Diseño experimental

La investigación se realizó bajo diseño aleatorio simple tomando principalmente 15 sitios, cada uno con una superficie de 100 m² (4 x 25 m). Para el levantamiento de datos se realizó una estratificación de especies vegetales; primero se registraron las especies de porte bajo, seguido del inventario de especies forestales. En cada parcela se identificaron y cuantificaron las especies presentes, midiendo las variables diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (h).

Biomasa aérea

Para la estimación de la biomasa aérea, se empleó el método indirecto mediante ecuaciones alométricas específicas para cada especie o grupo funcional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ecuaciones alométricas para cada especie registrada en el área experimental.

Modelo	Especie	Ecuación	Autor
1	<i>Annona muricata</i> L.	$\text{LogBA} = -1.716 + 2.413 \cdot \text{Log(DAP)}$	Nogueira <i>et al.</i> (2008)
2	<i>Bixa orellana</i> L.	$\text{LogBA} = -1.716 + 2.413 \cdot \text{Log(DAP)}$	Nogueira <i>et al.</i> (2008)
3	<i>Cedrela odorata</i> L.	$B = 0.00341 \cdot \text{DAP}^{3.38248}$	Benavides-Solorio <i>et al.</i> (2021)
4	<i>Cocos nucifera</i> L.	$B = 4.5 + 7.7 \cdot H$	Frangí y Lugo (1985)
5	<i>Musa paradisiaca</i> L.	$B = 0.0303 \cdot \text{DAP}^{2.1345}$	Danarto y Hapsari (2016)
6	<i>Tabebuia rosea</i> L.	$B = 0.1959 \cdot D^{2.1206}$	Sáenz-Reyes <i>et al.</i> (2021)
7	<i>Theobroma cacao</i> L.	$\text{LnB} = -4.2 + 1.19 \cdot \text{Ln(DAP)} + 2.34 \cdot \text{Ln(H)}$	Morán-Villa <i>et al.</i> (2024)

B= biomasa; Ln= logaritmo natural; D= diámetro; H= altura y DAP= diámetro altura de pecho.

A partir de dichas ecuaciones, se calcularon los valores de biomasa individual, los cuales fueron posteriormente integrados para obtener la biomasa total por sitio. Cada uno de los modelos fue aplicado a una especie específica según su idoneidad y validación previa en estudios referentes a su fisiología y crecimiento.

Concentración de carbono

La concentración de carbono de las especies vegetales registradas en el área de estudio se obtuvo de los factores promedio reportados en la literatura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de carbono por especie.

Especie	Concentración de carbono	Autor
<i>Annona muricata</i> L.	0.5	Elías y Potvin (2003)
<i>Bixa orellana</i> L.	0.5	Elías y Potvin (2003)
<i>Cedrela odorata</i> L.	0.45	Mendizábal-Hernández <i>et al.</i> (2011)
<i>Cocos nucifera</i> L.	0.5	IPCC (2003)
<i>Musa paradisiaca</i> L.	0.37	Arias <i>et al.</i> (2014)
<i>Tabebuia rosea</i> L.	0.5	Hamburg (2000)
<i>Theobroma cacao</i> L.	0.47	Hernández-Núñez (2021)

Contenido de carbono

Para obtener el contenido de carbono se cuantificó la biomasa aérea total de cada individuo; a través, de modelos alométricos. Posteriormente, el valor de biomasa fue multiplicado por el factor de concentración de carbono correspondientes para convertir los resultados en toneladas por hectárea (t ha^{-1}).

Dióxido de carbono equivalente

Para la estimación del dióxido de carbono equivalente (CO_2e), se empleó un factor estequiométrico que permite convertir la masa de carbono (C) en su equivalente en CO_2 . Por lo tanto, el contenido de CO_2e se calculó mediante la siguiente expresión: $\text{CO}_2\text{e} = \text{contenido neto de C} \times 3.67$.

Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias en las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) entre los sitios de estudio, los datos se agruparon considerando la localización como factor. Primero, se verificó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (Shapiro y Wilk, 1965). Al rechazarse la normalidad ($p < 0.05$), se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal y Wallis,

1952) para comparar los grupos. Posteriormente se aplicó la prueba de Dunn para determinar diferencias significativas ($p < 0.05$). Todos los análisis se ejecutaron en R Studio (versión 4.3.0; R Core Team, 2023).

Resultados y discusión

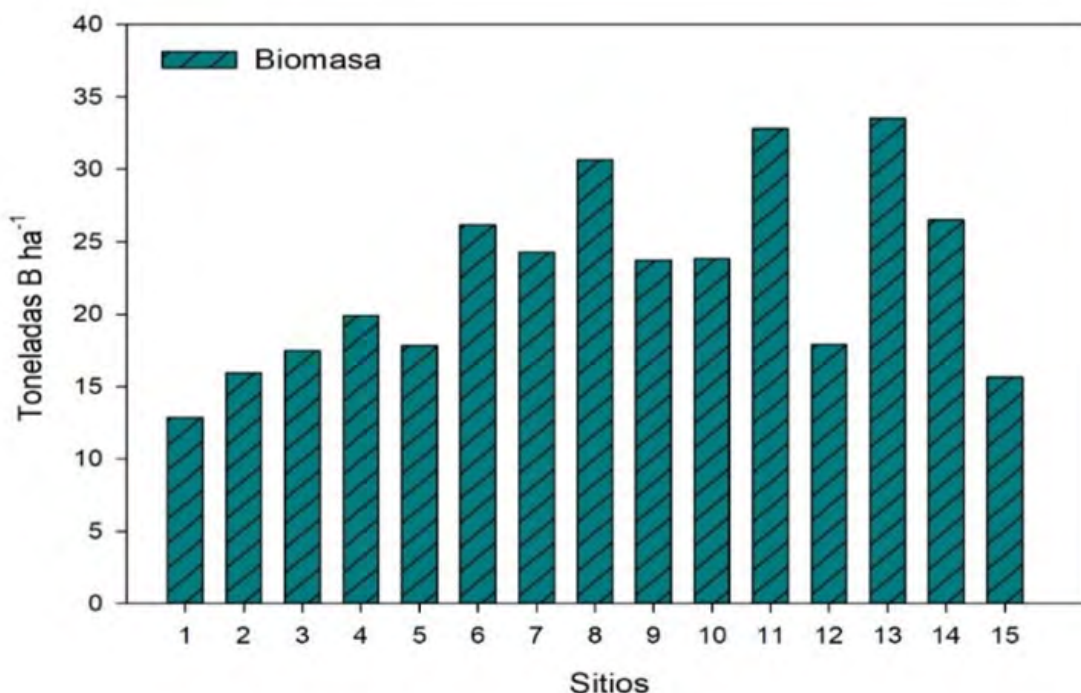
Especies registradas

Las especies presentes en los 15 sitios establecidos en la parcela de sembrando vida fueron *Annona muricata* L. (guanábana), *Bixa orellana* L. (achiote), *Cedrela odorata* L. (cedro), *Cocos nucifera* L. (coco), *Musa x paradisiaca* L. (plátano), *Tabebuia rosea* (Bertol.) D.C. (roble) y *Theobroma cacao* L. (cacao). Dentro del predio, la plantación se encuentra diseñada en hileras alternando cultivos de actividad agrícola y de actividad forestal.

Biomasa estimada

La biomasa (B) estimada presentó su valor máximo en el sitio 13 (33.2 t ha^{-1}) y su valor mínimo para el sitio 1 (12.5 t ha^{-1}), mientras que el valor promedio fue de 22.6 t ha^{-1} (Figura 2).

Figura 2. Biomasa estimada en los sitios de estudio.

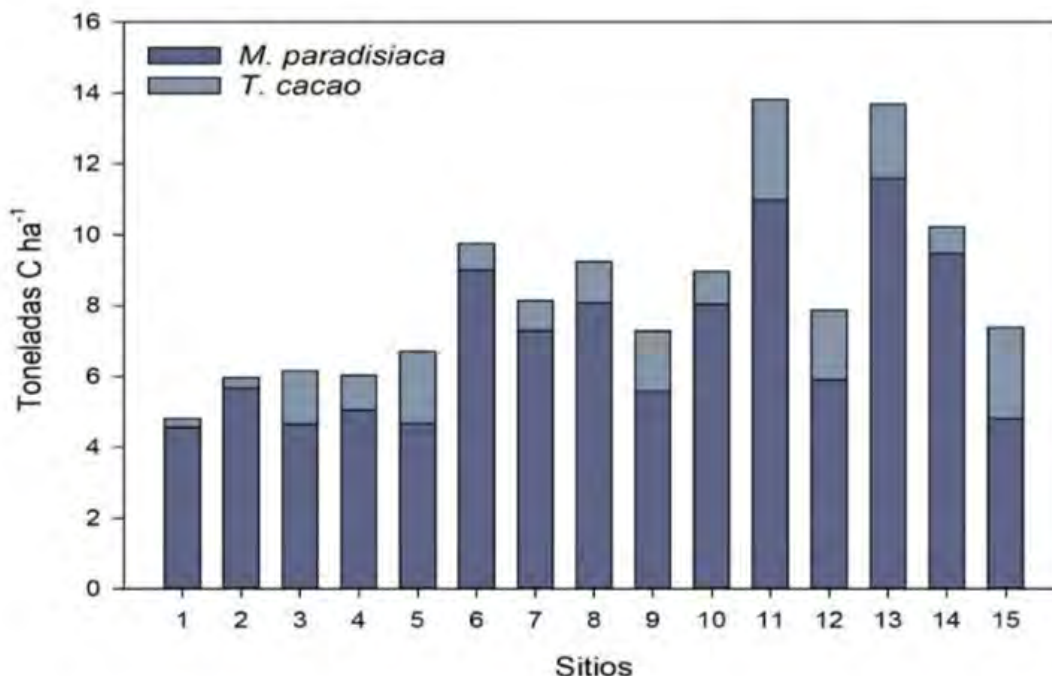


Algunos estudios demuestran una mayor biomasa en sistemas agroforestales de cacao como el caso de Pocomucha *et al.* (2016) que registraron una biomasa de 65.62 t ha^{-1} . Por su parte, Andrade *et al.* (2013) calcularon una biomasa promedio de 28.8 y 33.6 t ha^{-1} siendo también superiores a lo encontrado en esta investigación.

Carbono almacenado en actividad agrícola

El carbono almacenado por actividad agrícola (cacao-plátano) fue de 8.4 t C ha^{-1} ; de manera específica a nivel de especies, *Musa paradisiaca* (plátano) obtuvo mayor carbono almacenado en los sitios presentes en comparación que *Theobroma cacao* (cacao), siendo bajas estas acumulaciones con respecto a las que aporta el *M. paradisiaca*. Esto se atribuye a que los sitios tienen mayor densidad de plantas de *M. paradisiaca*, mientras que *T. cacao* tiene menor presencia en los sitios, por lo que la captación de C fue mínima (Figura 3).

Figura 3. Carbono almacenado por sitio en la actividad agrícola.



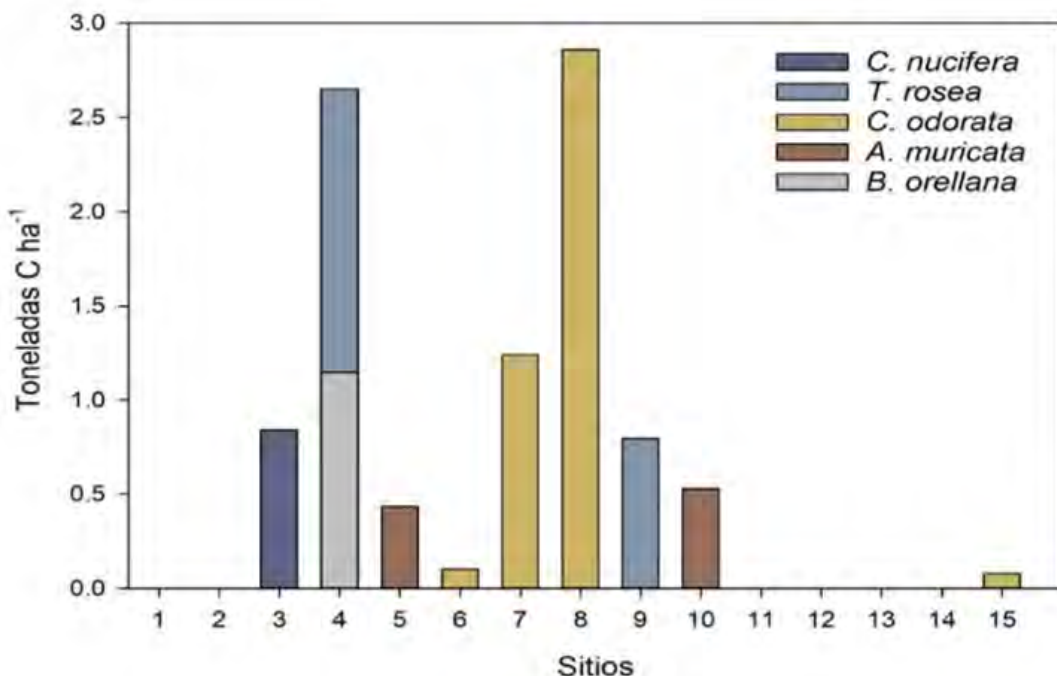
Según el estudio de Ganeshamurthy (2023) estimó que las reservas de carbono de la planta de plátano aportan entre 2.573 y $6.407 \text{ t C ha}^{-1}$, mientras que la planta de cacao según Bermello *et al.* (2024) tiene una biomasa aérea promedio que va desde $0.056 \text{ t C ha}^{-1}$ hasta no más de $4.064 \text{ t C ha}^{-1}$ por árbol. De acuerdo con Avellán *et al.* (2020) evaluaron almacenes de 2.95 t C ha^{-1} con la misma especie de *T. cacao*, atribuyendo que es la cantidad de individuos la que lo determina.

Carbono almacenado en la actividad forestal

El carbono almacenado incluye los árboles perennes que proporcionan sombra *Annona muricata* (guanábana), *Bixa orellana* (achiote), *Cedrela odorata* (cedro), *Cocos nucifera* (coco) y *Tabebuia rosea* (roble). En algunos de los sitios no se encontraron ningunas de las especies perennes y solo en algunos se registró uno o pocos individuos, de una o más especies.

De manera más específica en los sitios 1 y 2 no se encontraron árboles maderables o leñosas, en el sitio 3 se cuantificó $0.841 \text{ t C ha}^{-1}$ siendo *C. nucifera* la única especie forestal inventariada. En el sitio 4 tienen presencia *B. orellana* ($1.148 \text{ t C ha}^{-1}$) y *T. rosea* ($1.508 \text{ t C ha}^{-1}$). En el sitio 5 solo se distribuye la especie de *A. muricata* con $0.436 \text{ t C ha}^{-1}$. El sitio 6 ($0.101 \text{ t C ha}^{-1}$), sitio 7 ($1.239 \text{ t C ha}^{-1}$) y sitio 8 ($2.859 \text{ t C ha}^{-1}$) solo tienen una especie forestal que es *C. odorata*. El sitio 9 reporta a *T. rosea* con $0.796 \text{ t C ha}^{-1}$, el sitio 10 se distribuye nuevamente *A. muricata* con $0.528 \text{ t C ha}^{-1}$. En los sitios del 11 al 14 no se encontraron especies maderables sino hasta el sitio 15, siendo *C. odorata* (0.08 t C ha^{-1}) la especie presente. Con el mismo orden, estos resultados se muestran en la Figura 4.

Figura 4. Carbono en actividad forestal con especies maderables.



Algunos estudios como el de Mendizábal-Hernández *et al.* (2012) reportan capturas de hasta 3.11 t C ha⁻¹ para la especie *C. odorata*, lo cual es ligeramente superior al valor calculado para esta especie en la presente investigación.

Carbono total almacenado

Como resultado general para todas las especies inventariadas, sin importar actividad, el carbono promedio corresponde a 8.75 t C ha⁻¹; por lo tanto, el total de carbono estimado en 2.5 ha corresponderá a 21.87 t C ha⁻¹ (tomando en cuenta que esta es la superficie requerida dentro del programa sembrando vida). El valor medio obtenido se encuentra dentro de los parámetros de lo que puede almacenar una parcela modelo de sembrando vida en un sistema agroforestal, dado a que generalmente los sistemas agroforestales almacenan aproximadamente 9, 21, 50 y 63 t C ha⁻¹ en biomasa aérea (Espinoza *et al.*, 2012).

Estudios similares como el realizado por Ortiz *et al.* (2008) en un sistema laurel-cacao almacenaron entre 43 y 62 t C ha⁻¹ que son valores muy superiores a los obtenidos en la presente investigación, lo cual puede deberse al tipo de especies y asociaciones que se presentan en ese sistema. Por su parte, Espinoza *et al.* (2012) encontraron almacenes de 12 a 228 t C ha⁻¹ en un sistema agroforestal, lo cual sigue siendo mayor a los 8.75 t C ha⁻¹ encontrados en la presente investigación, pero comparado con el estudio de Ortiz *et al.* (2008) obtuvo resultados mayores de captura de carbono. Aunque ambas investigaciones tienen resultados con mayor captura de C, estos se apegan y concuerdan al estándar de captura de carbono de un sistema agroforestal que según Andrade *et al.* (2013) es de 28.8 y 33.6 t C ha⁻¹.

Dióxido de carbono estimado (CO₂)

Los datos de dióxido de carbono analizados no presentaron normalidad, registrando un valor de $p < 0.001$. Derivado a que los datos no son normales al utilizar la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se obtuvo un valor de $p < 0.001$, este valor indica que hay diferencias significativas entre los sitios. Por lo tanto, al aplicar la prueba de Dunn, se muestra que los pares de sitios: 1-13, 1-14, 14-2, 1-5 y 2-5, presentan diferencias en sus valores de dióxido de carbono (CO₂) entre estos sitios (Cuadro 3). El resto de las comparaciones no presentan diferencia significativa entre los sitios.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Dunn en los sitios con diferencias significativas.

Comparación	Z	P. adj.	t C ha ⁻¹
1-13	-3.523509	0.0447166	4.8-12.6
1-14	-3.927671	0.0090061	4.8-9.8
14-2	3.68284	0.0242182	9.8-5.9
1-5	-3.800792	0.0151446	4.8-7.1
2-5	-3.554287	0.0397956	5.9-7.1

En el diseño de un modelo de valoración económica para sistemas agroforestal en cacao, Fernández y Mora (2016) cuantificaron la remoción de CO₂ hasta su cuarto año evaluando 24.42 t ha⁻¹ de CO₂, en otro muestreo a su noveno año encontraron hasta 65.32 t ha⁻¹ de CO₂. Al respecto, Ávila *et al.* (2001) en su investigación almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica determinaron como mayor captura al sistema agroforestal un valor medio de 8.9 t C ha⁻¹, ese mismo resultado al ser analizado con el factor del dióxido de carbono resulta un promedio de 32.66 t ha⁻¹ de CO₂.

Por su parte, Zavala *et al.* (2018) al estimar la biomasa y carbono almacenado en un sistema agroforestal de cafetal obtuvieron 33.59 t C ha⁻¹ equivalente a 123.27 t ha⁻¹ de CO₂ en una investigación que atribuye a la edad del cultivo como un factor que influye en el secuestro y almacenamiento de carbono, siendo la edad de 8 a 16 años en la cual el sistema agroforestal almacena mayor cantidad de CO₂.

Conclusiones

La estimación de biomasa en la parcela de sembrando vida de la localidad San José El Amate fue de 22.6 t ha⁻¹, el total de carbono corresponde a 8.75 t ha⁻¹. Respecto a las emisiones de CO₂ se presentan diferencias entre algunos sitios evaluados. Los datos obtenidos son disímiles a los reportados en otros sistemas agroforestales en los que influyen la cantidad de individuos y sus asociaciones.

Sin embargo, se debe destacar que los SAF forman parte de una estrategia fundamental para mitigar el cambio climático, que a diferencia de un monocultivo este servicio ambiental es de mayor calidad en un agroecosistema. Las parcelas de Sembrando Vida son una opción para aumentar el almacenamiento de carbono y disminuir el cambio climático, por lo tanto, es importante que los sistemas agroforestales sean considerados como una estrategia para amortiguar el CO₂.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sr. Jaime Rodríguez, propietario del predio en que se realizó la presente investigación.

Bibliografía

- 1 Andrade, H. J.; Figueroa, J. M. y Silva, D. P. 2013. Almacenamiento de carbono en cacaotales (*Theobroma cacao*) en Armero-Guayabal (Tolima, Colombia). Revista

- Scientia Agroalimentaria. Ibagué. Universidad del Tolima. <http://repository.ut.edu.co/handle/001/1318>.
- 2 Arias, H. J. J.; Riaño, H. N. M. y Aristizábal, L. M. 2014. Dinámica de la acumulación de materia seca en dos especies de sombrero usadas en cafetales de Colombia. *Cenicafé*. 65(1):7-17. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/544/1/arc065%2802%297-17.pdf>.
- 3 Avellán, A. R.; Barreto, E. D. y Peralta, E. J. 2020. Carbono en biomasa aérea, sistema agroforestal de *Theobroma cacao* L. laboratorio natural, los laureles 2018. *Revista Universitaria del Caribe*. 24(01):98-106. Doi:10.5377/ruc.v24i01.9914.
- 4 Ávila, G. V.; Jiménez-Otárola, F.; Ibrahim, M. A. y Beer, J. W. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. *Agroforestería en las Américas (CATIE)*. 8(30):32-35.
- 5 Baca, J. M.; Cuevas-Reyes, V. y Barradas-Miranda, P. 2021. De la dispersión a la centralización de las políticas públicas en el sector rural de México. *Nóesis. Revista de Ciencias Sociales*. 30(59):4-19. Doi:10.20983/noesis.2021.1.1.
- 6 Báez-Bringas, M.; Verdugo-Araujo, L. M. y Tereso-Ramírez, L. 2024. La participación de las mujeres en el programa sembrando vida en la comunidad de Nuevo San Miguel, Ahome, Sinaloa. *Comunitaria. Revista internacional de trabajo y ciencias sociales*. 28(2):89-109.
- 7 Benavides-Solorio, J. D.; Torres-García, O.; Flores-Garnica, J. G.; Acosta-Mireles, M. y Rueda-Sánchez, A. 2021. Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono aéreos de *Cedrela odorata* L. en plantaciones forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(65):89-111. Doi:10.29298/rmcf.v12i65.791.
- 8 Bermello, Á. D.; Briones-Intriago, L. L. y Vivas, H. T. 2024. Captura de carbono en cacao (*Theobroma cacao* L.): una estrategia de adaptación al cambio climático. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*. 18(2):591-598. Doi:10.53591/cna.v18i2.1925.
- 9 Casanova-Lugo, F.; Petit-aldama, J. y Soloria-Sánchez, J. 2011. Los sistemas agroforestales como alternativa a la captura de carbono en el trópico mexicano. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 17(1):133-143. Doi:10.5154/r.rchscfa.2010.08.047.
- 10 CONAFOR. 2024. Comisión Nacional Forestal. Deforestación bruta a nivel estatal del Sistema Nacional de Monitoreo Forestal. SIAP. Datos Abiertos. <https://snmf.cnf.gob.mx/deforestacion/>.
- 11 Cortez, J. G.; Baca-Moral, J.; Uribe- Gómez, M.; Gómez-Hernández, T. y Valdés-Velarde, E. 2022. La multifuncionalidad de la agricultura como herramienta de análisis de políticas agrarias: el caso del programa sembrando vida en Chahuities, Oaxaca. *Acta universitaria*. 32:1-18. Doi:10.15174/au.2022.3339.
- 12 Danarto, S. A. and Hapsari, L. 2016. Biomass and carbon stock estimation inventory of indonesian bananas (*Musa* spp.) and its potential role for land rehabilitation. *Biotropia The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*. 22(2):102-108. Doi:10.11598/btb.2015.22.2.376.
- 13 Elías, M. y Potvin, C. 2003. Assessing inter-and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 Neotropical tree species. *Canadian Journal of Forest Research*. 33(6):1039-1045.
- 14 Espinoza-Domínguez, W.; Krishnamurthy, L. R.; Vásquez-Alarcón, A. y Torres-Rivera, 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.
- 15 Fernández, L. J. y Mora, A. X. 2016. Diseño de un modelo de valoración económica para sistemas agroforestales basados en cacao y laurel de la región Caribe de Costa Rica. *Universidad Earth, Provincia Limón, Costa Rica*. 79 p.
- 16 Frangí, J. L. and Lugo, A. E. 1985. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. *Ecological Monographs*. 55(3):351-369. Doi:10.2307/1942582.

- 17 Ganeshamurthy, A. N. 2023. Potencial anual de captura de carbono en huertos bananeros de la India. *Biotropia*. 30(3):374-383. Doi:10.11598/btb.2023.30.3.2005.
- 18 González-Abrego, D. O.; Rojo-Gómez, E. G.; Ochoa-Garfias, Á. F. y Trejo-Bautista, R. 2023. Captura, almacenamiento y conversión de CO₂: nuevas técnicas de reducción. *Pädi boletín científico de ciencias básicas e Ingenierías del ICBI*. 11(22):20-27. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/view/11056>.
- 19 Hamburg, S. P. 2000. Simple rules for measuring changes in carbon ecosystem in forestry-offset projects. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 5(1):25-37.
- 20 Hernández-Núñez, H. E.; Andrade, H. J.; Suárez, S. J. C.; Gutiérrez, G. G. A.; Trujillo, T. E. y Casanoves, B. F. 2021. Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales en los Llanos Orientales de Colombia. *Revista de Biología Tropical*. 69(1):352-368.
- 21 INECC. 2021. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Potencial de mitigación para el programa sembrando vida: nota técnica. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inecc/articulos/potencialdemitigacionparaelprogramasembrandovidanotatecnica>.
- 22 IPCC. 2003. Intergovernmental Panel on Climate Change. Good practice guidance for Land Use, Special Report: Land-Use Change and Forestry. *SNT*. 590 p.
- 23 Kruskal, W. H. and Wallis, W. A. 1952. Use of ranks in one criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*. 47(260):583-621.
- 24 Mendizábal-Hernández, L. C.; Alba-Landa, J.; Márquez-Ramírez, J.; Cruz-Jiménez, H. y Ramírez-García, E. O. 2019. Captura de carbono por *Cedrela Odorata* L. en una prueba genética. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2(4):107-114. Doi:10.29298/rmcf.v2i4.612.
- 25 Morán-Villa, V. L.; Monterroso, R. A. I.; Mata-González, R.; Marquez, B. S. R.; Abdallah, M.; Valdés, V. E. y Hernández, S. R. 2024. Estimación de la biomasa aérea mediante el desarrollo de ecuaciones alométricas para *Theobroma cacao* en Tabasco, México. *Agroforestry Systems*. 98(3):537-549. Doi: 10.1007/s10457-023-00928-x.
- 26 Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Nelson, B. W.; Barbosa, R. I. and Keizer, E. W. H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. 256(11):1853-1867. Doi:10.1016/j.foreco.2008.07.022.
- 27 Ortiz, Á.; Riascos, L. y Somarriba, E. 2008. Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*. 46:26-29. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5764/Almacenamientoytasasdefijaciondebiomasa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- 28 Pocomucha, V. S.; Alegre, O. J. y Abregú, T. L. 2016. Análisis socio económico y carbono almacenado en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Huánuco. *Ecología Aplicada*. 15(2):107-114. Doi:10.21704/rea.v15i2.750.
- 29 Podong, C.; Khamfong, K.; Noinamsai, S. and Mhon-ing, S. 2023. Carbon sequestration in agrosilviculture agroforestry systems: preliminary results from three villages in Uttaradit Province, Northern Thailand. *The Southeast Asian Journal of Tropical Biology*. 31(2):134-145. Doi:10.11598/btb.2024.31.2.1741.
- 30 R Core Team. 2023. R: a language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Vienna, Austria. <https://www.Rproject.org/>.
- 31 Sáenz-Reyes, J.; Rueda-Sánchez, A.; Benavides-Solorio, J. D. D.; Muñoz-Flores, H. J.; Castillo-Quiroz, D. y Sáenz-Ceja, 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.

- 32 Shapiro, S. S. and Wilk, M. B. 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika*. 52(3-4):591-611.
- 33 Tapia-Alba, J. A. y Chiatchoua, C. 2025. Contribución del programa sembrando vida en la reducción de la pobreza en México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 33(94):1-22. Doi:10.33064/iycuaa2025945054.
- 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. *Revista de Investigación y Amazonia*. 8(5):1-8.



Carbono almacenado en una parcela agroforestal del programa sembrando vida en Huehuetán

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 October 2025
Date accepted: 01 January 2026
Publication date: 01 January 2026
Publication date: Jan-Feb 2026
Volume: 17
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3999
DOI: 10.29312/remexca.v17i1.3999

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

biomasa aérea
cambio climático
mitigación
modelos alométricos

Counts

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