

Análisis de ciclo de vida en sistemas cafetaleros de Veracruz

Kathia Peralta-Zuñiga¹

Félix Rafael Ramírez-Arpide^{2, §}

Abraham de Jesús Romero-Fernández¹

Mirian Valerio-Robles²

1 Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230.

2 Universidad Politécnica de Texcoco. Carretera México-Texcoco km 14.2, San Miguel Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250.

Autor para correspondencia: felix.ramirez@uptex.edu.mx

Resumen

La producción de café es una actividad económica importante a nivel mundial, ya que genera empleo a más de 20 millones de personas dedicadas al cultivo, transformación, procesamiento y comercialización del producto. Esta investigación evaluó y comparó el desempeño ambiental de la producción agrícola en tres sistemas de producción de café (*Coffea arabica*) en La Tinaja, Veracruz: café con plátano (*Musa paradisiaca*), café con mango (*Mangifera indica*) y café a pleno sol, en el año 2024. Mediante la metodología del análisis del ciclo de vida y el método ReCiPe 2016 (H), se analizaron los impactos por unidad funcional de 1 kg de café cereza, considerando las etapas de establecimiento, desarrollo y manejo agrícola. Los resultados indicaron que producir 1 kg de café genera un calentamiento global de 0.79, 1.05 y 0.44 kg de CO₂ eq en los sistemas café a pleno sol y café con plátano y café con mango, respectivamente. Las emisiones directas del suelo derivadas de la aplicación de fertilizantes contribuyeron en la mayoría de las categorías evaluadas. El sistema café con plátano registró las mayores cargas ambientales, seguido del sistema café a pleno sol. El sistema café con mango presentó los impactos ambientales más bajos en todas las categorías, demostrando ser el sistema con mejor desempeño ambiental en comparación con los sistemas estudiados.

Palabras clave:

cambio climático, impacto ambiental, sistemas agroforestales.



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

Introducción

El cultivo de café representa una fuente de ingresos para 25 millones de pequeños productores, quienes generan 80% de la producción mundial de café (FAO, 2025). En México, la producción de café alcanzó 1 059 000 t en 2023. Chiapas, Veracruz y Puebla contribuyeron con 30, 27 y 24% respectivamente, a la producción nacional (SIAP, 2024).

En México, la producción de café se realiza principalmente en sistemas bajo sombra y a pleno sol. Los cafetales bajo sombra constituyen sistemas agroforestales, entre los cuales predominan los sistemas tradicionales rústicos y de policultivo (Moguel y Toledo 2004).

Los cafetales bajo sombra se localizan principalmente en regiones de alta biodiversidad, como Oaxaca, Chiapas y Veracruz (Moguel y Toledo 2004). En contraste, los sistemas de café pleno sol representan 10% de los predios del país y se encuentran en zonas como Soconusco (Chiapas) y Xicotepec (Puebla) (Moguel y Toledo, 1999).

Los sistemas de café a pleno sol presentan impactos ambientales, como son degradación del suelo y reducción del almacenamiento de carbono (Mengesha *et al.*, 2026). Los sistemas agroforestales contribuyen a reducir la compactación del suelo, la erosión y la pérdida de biodiversidad (Valdés-Velarde *et al.*, 2022). Además de mejorar la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes, favorecen la infiltración hídrica y captura de carbono (Dollinger y Jose 2018).

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar y comparar el desempeño ambiental en tres sistemas de producción de café, con diferentes tipos de sombra (especies arbóreas) en México a través del análisis del ciclo de vida (ACV), con el propósito de identificar los sistemas con menores impactos ambientales y los principales puntos críticos asociados a su producción.

Materiales y métodos

Sitio de estudio y sistemas de producción

La investigación se realizó en la localidad de La Tinaja, municipio Emiliano Zapata, en el estado de Veracruz, México (latitud norte 19° 30' 57.936" y longitud oeste 96° 45' 18.024"), a una altitud de 901 m (INEGI, 2021). En el sitio de estudio, se evaluaron dos sistemas de policultivo tradicional: café con árboles de mango (*Mangifera indica*) (CM), café con plantas de plátano (*Musa paradisiaca*) (CP) y un monocultivo: café a pleno sol (CS).

Metodología del análisis del ciclo de vida

El análisis del ciclo de vida (ACV) permite evaluar los impactos ambientales de un producto desde la adquisición de materia prima, su producción, uso y disposición final. Esta metodología está acreditada por la organización internacional de estandarización (ISO) por sus siglas en inglés mediante las normas ISO 14040 (ISO, 2006a) y 14044 (ISO, 2006b). El ACV consta de cuatro etapas: 1) definición del objetivo; 2) inventario del ciclo de vida; 3) evaluación del impacto del ciclo de vida; y 4) interpretación.

Definición de objetivo y límites del sistema

El objetivo de esta investigación fue evaluar y comparar el desempeño ambiental en tres sistemas de producción de café a través del ACV. De acuerdo con la norma ISO 14040, los sistemas de estudio (CS, CP y CM) se definieron como sistemas del producto. Donde cada sistema comprende un conjunto de procesos unitarios, incluyendo entradas de insumos, operaciones de manejo agronómico y las emisiones asociadas dentro de los límites del sistema establecidos para su análisis.

Los límites que se definieron fueron las etapas de establecimiento de la plantación, desarrollo de la planta (años 1-3) y manejo agrícola (producción y cosecha). La unidad funcional (UF) que se definió fue 1 kg de café cereza fresco no procesado.

Datos para el Inventario del ciclo de vida y emisiones

El trabajo de investigación se realizó en 2024, a partir de información agronómica recopilada en sistemas de producción de café en Veracruz del 2023. Los insumos utilizados en cada etapa se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Inventario del manejo agrícola de los sistemas de producción café-pleno sol (CS), café-plátano (CP) y café-mango (CM).				
Etapa	Sistema	Insumos	Unidad	Cantidad
Establecimiento	CS, CP y CM	Nitrofoska	kg ha ⁻¹	50
		Sulfato de amonio	kg ha ⁻¹	50
Desarrollo de la planta de café (años 1-3)	CS, CP y CM	Nitrofoska	kg ha ⁻¹	50
		Sulfato de amonio	kg ha ⁻¹	150
		Herbicida (glifosato)	L ha ⁻¹	5
Manejo agrícola (años 4-25)	CS	NPK 18-12-6	kg ha ⁻¹	500
		Herbicida (glifosato)	L ha ⁻¹	5
	CP	NPK 18-12-6	kg ha ⁻¹	400
		Takle (glifosato)	L ha ⁻¹	5
		Urea	kg ha ⁻¹	100
	Plantas de plátano	Insecticida (organofosforado)	L ha ⁻¹	1
		NPK 18-12-6	kg ha ⁻¹	400
		Herbicida (glifosato)	L ha ⁻¹	5
	CM	Café cereza	t ha ⁻¹	1.5
		Café cereza	t ha ⁻¹	1.8
Rendimiento	CS	Plátano	t ha ⁻¹	0.8
		Café cereza	t ha ⁻¹	3
	CM	Mango	t ha ⁻¹	0.6

Romero Fernández *et al.* (2023). La composición del fertilizante nitrofoska es: N-total: 21%, N-NO₃: 11%, N-NH₄: 10%, P₂O₅: 1%, K₂O: 21%.

Emisiones directas del suelo

Las emisiones directas al aire, agua y suelo se estimaron utilizando la metodología de Nemecek y Schnetzer (2011). En aire se evaluaron: amoníaco, óxido nitroso (N₂O) y óxido de nitrógeno. En agua subterránea fosfato y nitrato, y en agua superficial, fosfato y fósforo. Las emisiones de N₂O del suelo se calcularon con la misma metodología (ecuación 1). Los datos se obtuvieron de Romero-Fernández *et al.* (2023) y de laboratorio.

$$(1) \quad N_2O = \frac{44}{28} * (0.01(N_{tot} + N_{cr}) + 0.01 * \frac{14}{17} * NH_3 + 0.0075 * \frac{14}{62} * NO_3)$$

Evaluación del impacto ambiental del ACV

Los resultados se analizaron con el software openLCA 2.0 y se usó la base de datos Ecoinvent 3.2. Los impactos ambientales se evaluaron con el método ReCiPe 2016 (H) en el nivel de punto medio (Huijbregts *et al.*, 2017).

Análisis de sensibilidad

Se evaluaron variaciones de ±25% en la dosis del fertilizante NPK en los sistemas de estudio.

Resultados y discusión

Evaluación ambiental de los sistemas de producción de café

El ACV permite identificar los impactos ambientales y los procesos que más los generan en los sistemas evaluados. El Cuadro 2 muestra los resultados de las categorías de impacto mediante el método ReCiPe 2016 (H) en los sistemas de estudio.

Cuadro 2. Resultado de la evaluación de impacto de los indicadores de caracterización del punto medio de los sistemas de producción.

Categoría de impacto	Unidad de referencia	CS	CP	CM
Calentamiento global (GWP)	kg CO ₂ eq	0.79336	1.05223	0.43777
Eutrofización de agua dulce (FEP)	kg P eq	0.00279	0.00041	0.00022
Eutrofización marina (MEP)	kg N eq	0.00349	0.0048	0.00269
Agotamiento del ozono estratosférico (ODP)	kg CFC11 eq	0.00002	0.00002	0.00001
Escasez de recursos minerales (SOP)	kg Cu eq	0.00299	0.00265	0.00125
Acidificación terrestre (TAP)	kg SO ₂ eq	0.00249	0.00274	0.00106
Formación de materia particulada fina (PMFP)	kg PM _{2.5} eq	0.00096	0.00102	0.00041
Escasez de recursos fósiles (FFP)	kg oil eq	0.14209	0.17209	0.0594
Ecotoxicidad en agua dulce (FETP)	kg 1 4-DCB	0.01519	0.01491	0.00647
Toxicidad carcinogénica humana (HTPc)	kg 1 4-DCB	0.01312	0.01331	0.0056
Toxicidad no carcinogénica en humanos (HTPnc)	kg 1 4-DCB	0.50495	0.49182	0.21449
Radiación ionizante (IRP)	kBq Co-60 eq	0.01397	0.01389	0.00592
Ecotoxicidad marina (METP)	kg 1 4-DCB	0.02219	0.02202	0.00943
Formación de ozono y salud humana (HOFp)	kg NO _x eq	0.00107	0.00123	0.00053
Formación de ozono, ecosistemas terrestres (EOFP)	kg NO _x eq	0.00109	0.00126	0.00054
Ecotoxicidad terrestre (TETP)	kg 1 4-DCB	2.20295	2.52701	0.92237
Consumo de agua (WCP)	m ³	0.01715	0.02196	0.00696
Uso del suelo (LOP)	m ² a crop eq	0.01553	0.0108	0.00626

CS= café-pleno sol; CP= café-plátano y CM= café-mango.

Los resultados mostraron que el sistema CP presentó las mayores cargas ambientales, seguido de CS, mientras que CM presentó los valores más bajos en todas las categorías.

En forma similar, Acosta-Alba *et al.* (2020) evaluaron el impacto ambiental en tres sistemas de producción de café y reportaron que la diversificación de cultivos y el tipo de sombra pueden estar influyendo en la evaluación ambiental del café.

Factores como el rendimiento y la fertilización inciden en los impactos ambientales. Alishah *et al.* (2019) observaron que los impactos ambientales por unidad de producto disminuyeron a medida que aumentaba el rendimiento. En cultivos de café, el uso de fertilizante NPK y la fertilización nitrogenada fueron los principales contribuyentes a las categorías ambientales (Rahmah *et al.*, 2022; Pazmiño *et al.*, 2024).

En esta investigación, el sistema CM tuvo los menores impactos ambientales, esto pudiera estar relacionado con el rendimiento, dosis de fertilización y su desempeño positivo que tiene este sistema en la fertilidad del suelo. Esto es consistente con lo reportado por Romero Fernández *et al.* (2023), quienes observaron que el sistema CM favoreció la fertilidad del suelo, mejoró las propiedades del suelo, aumentó la concentración de nutrientes en hojas y frutos y promovió un mayor rendimiento en comparación con CS y CP (Cuadro 1).

En contraste, el sistema CP presentó el mayor daño ambiental en la mayoría de las categorías que mide el ACV (Cuadro 2). En sistemas agroforestales, Parra-Paitan y Verburg (2022) asociaron los resultados negativos a menores rendimientos. En este estudio, el sistema CP superó en productividad al sistema CS, bajo la misma dosis de fertilización.

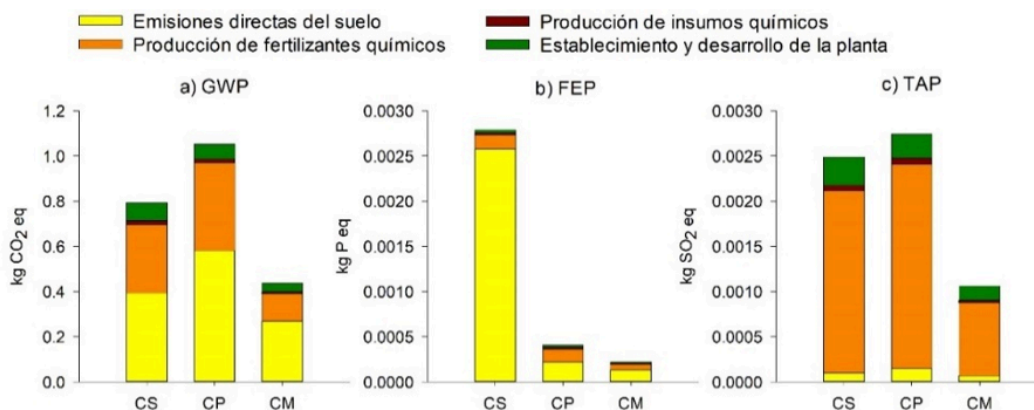
La diferencia entre el sistema CP y los sistemas de estudio, probablemente se debió a la fuente nitrogenada: el sistema CP fue el único de los sistemas que se aplicó urea para el cultivo de plátano. El uso de fertilizantes químicos, particularmente urea y otros compuestos nitrogenados constituyen la principal fuente de emisiones de GEI en cultivos de café (Ratchawat *et al.*, 2020; Cornelius *et al.*, 2025).

Contribución de impacto en las categorías del ACV

En este estudio se analizaron las categorías de calentamiento global (GWP), eutrofización de agua dulce (FEP) y acidificación terrestre (TAP) debido a su relevancia en la agricultura.

La Figura 1 muestra los resultados en las categorías de impacto GWP, FEP y TAP y su contribución de impactos ambientales (emisiones directas del suelo, producción de insumos químicos y establecimiento y desarrollo de la planta) en los sistemas de estudio.

Figura 1. Daño ambiental y contribución de impactos por categoría en los sistemas café-pleno sol (CS), café-plátano (CP) y café-mango (CM). En las categorías de GWP= calentamiento global, FEP= eutrofización de agua dulce y TAP= acidificación terrestre.



Calentamiento global (GWP)

La emisión de GEI a la atmósfera es la principal causa del calentamiento global (Guineé, 2002). Los resultados mostraron que producir 1 kg de café cereza produce un calentamiento global entre 0.44 y 1.05 kg CO₂ eq kg⁻¹ en los sistemas de análisis (Figura 1a). Estos valores son consistentes con lo reportado en cultivos de café (Noponen *et al.* 2012; Ratchawat *et al.* 2020; Basavalingaiah *et al.* 2022).

Las emisiones directas del suelo derivadas de la aplicación de fertilizantes químicos fueron la principal causa a esta categoría, contribuyendo 50, 55 y 61% en los sistemas CS, CP y CM respectivamente (Figura 1a), seguidas por la producción de fertilizantes, que aportó entre 28 y 38% (Figura 1a). Similarmente Noponen *et al.* (2012); Van der Feen *et al.* (2025) reportaron que las emisiones directas e indirectas del suelo, asociadas principalmente al uso de fertilizantes representaron 67 y 52% respectivamente a la categoría de calentamiento global.

Eutrofización de agua dulce (FEP)

La eutrofización incluye los impactos de niveles excesivos de macronutrientes en el ambiente, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (Guineé, 2002). Los valores de FEP estuvieron entre 0.00022 y 0.0028 kg P eq kg⁻¹ (Figura 1b). Valores contrastantes a los de este estudio se observaron en sistemas de producción de café (Basavalingaiah *et al.*, 2022; Rahmah *et al.*, 2022).

Las emisiones directas del suelo derivadas de la aplicación de fertilizantes químicos fueron la principal causa a esta categoría, contribuyendo 92, 54 y 60% en los sistemas CS, CP y CM, respectivamente (Figura 1b). Esto es congruente con lo reportado en cultivos de café (Pazmiño *et al.*, 2024; Van der Feen *et al.*, 2025).

La investigación de Hasan *et al.* (2024) reportaron que los fertilizantes químicos aplicados en campos agrícolas pueden filtrarse hacia embalses y lagos, donde los nutrientes nitrogenados provocan eutrofización.

Acidificación terrestre (TAP)

La acidificación terrestre se refiere al impacto causado por la deposición de compuestos acidificantes, principalmente N y azufre (Guineé, 2002). Los valores de TAP estuvieron entre 0.0011 y 0.0027 kg SO₂ eq (Figura 1c). Este valor es consistente con el reportado por Rahmah *et al.* (2022).

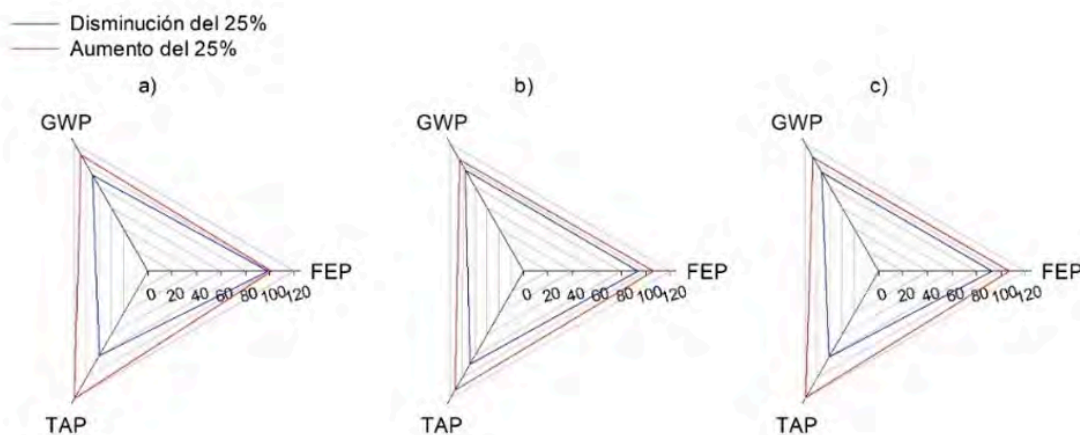
La producción de fertilizantes químicos influyó significativamente en esta categoría, contribuyendo con 81, 82 y 76% en los sistemas CS, CP y CM, respectivamente. La deposición de N en ecosistemas terrestres provoca efectos como son pérdida de cationes esenciales en el suelo, desequilibrios nutricionales en plantas y acidificación (Clark *et al.*, 2013).

Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad (Figura 2) mostró que una reducción del 25% en la dosis disminuyó el impacto entre 9 y 19% en los tres sistemas en la categoría de GWP (Figura 2a, 2b y 2c), mientras que un incremento en la dosis elevó las emisiones en rangos similares.



Figura 2. Análisis de sensibilidad de la dosis de fertilización de los sistemas de producción café-pleno sol (a), café-plátano (b) y café-mango (c). GWP= calentamiento global, FEP= eutrofización de agua dulce y TAP= acidificación terrestre.



La categoría de TAP mostró una reducción entre 13 y 21% al disminuir la fertilización, con incrementos equivalentes al aumentar la dosis (Figuras 2a, 2b y 2c). Similarmente Hasler *et al.* (2015) observaron que la dosis de N afecta significativamente los resultados del ACV.

Conclusiones

El análisis de ciclo de vida evidenció diferencias claras en el desempeño ambiental de los sistemas de producción de café evaluados. El sistema café-mango (CM) presentó los menores impactos ambientales en todas las categorías. Este mejor desempeño se asocia con un mayor rendimiento y una mayor eficiencia en el uso de insumos.

En los tres sistemas, la fertilización nitrogenada fue el principal punto crítico en las categorías de calentamiento global y eutrofización. Asimismo, el análisis de sensibilidad mostró que una reducción del 25% en la dosis de fertilización puede disminuir los impactos ambientales.

En conjunto, los resultados demuestran que el desempeño ambiental de los sistemas cafetaleros no depende únicamente del tipo de sistema productivo, sino de la eficiencia en el manejo de insumos, por lo que la optimización de la fertilización y la adopción de sistemas agroforestales diversificados representan estrategias clave para reducir impactos ambientales sin comprometer la productividad.

Agradecimientos

Los y las autoras agradecen al productor Filemón Romero Gutiérrez, por permitir realizar esta investigación en sus parcelas de producción de café.

Bibliografía

- 1 Acosta-Alba, I.; Boissy, J.; Chia, E. and Andrieu, N. 2020. Integrating diversity of smallholder coffee cropping systems in environmental analysis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 25(2):252-266. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01689-5>.
- 2 Alishah, A.; Motevali, A.; Tabatabaeekoloor, R. and Hashemi, S. J. 2019. Multiyear life energy and life cycle assessment of orange production in Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 26(31):32432-32445. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06344-y>.
- 3 Basavalingaiah, K.; Paramesh, V.; Parajuli, R.; Girisha, H. C.; Shivaprasad, M.; Vidyashree, G. V.; Thoma, G.; Hanumanthappa, M.; Yogesh, G. S.; Misra, S. D.; Bhat, S.; Irfan, M.

- M. and Rajanna, G. A, 2022. Energy flow and life cycle impact assessment of coffee-pepper production systems: An evaluation of conventional, integrated and organic farms in India. *Environmental Impact Assessment Review*. 92:06687. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106687>.
- 4 Clark, C.; Bai, Y.; Bowman, W.; Cowles, J.; Fenn, M.; Gilliam, F.; Phoenix, G. K.; Siddique, I.; Stevens, C. J.; Sverdrup, H. U. and Throop, H. L. 2013. Nitrogen deposition and terrestrial biodiversity. In *Encyclopedia of Biodiversity*. Levin, SA. Second Edition. Academic Press. 519-536 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00366-X>.
- 5 Dollinger, J. and Jose, S. 2018. Agroforestry for soil health. *Agroforestry systems*. 92(2):213-219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>.
- 6 FAO. 2025. Coffee. *MarketsAndTrade*. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities-overview/beverages/coffee/>.
- 7 Guinée, J. B. 2002. Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO Standards. *Eco-efficiency in industry and science*. Vol. 7. Springer Science and Business Media. 692 p.
- 8 Hasan, Y.; Roy, P. and Abbassi, B. 2024. Comparative life cycle assessment (LCA) in the agri-food industry, focusing on organic and conventional coffee. *Sustainability*. 16(24):10819. <https://doi.org/10.3390/su162410819>.
- 9 Hasler, K.; Bröring, S.; Omta, S. W. F. and Olf, H. W. 2015. Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy*. 69:41-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>.
- 10 Huijbregts, M. A. J.; Steinmann, Z. J. N.; Elshout, P. M. F.; Stam, G.; Verones, F.; Vieira, M.; Zijp, M.; Hollander, A. and van Zelm, R. 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 22(2):138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.
- 11 INEGI. 2021. Marco geoestadístico-catálogo único de claves de áreas geoestadísticas estatales, municipales y localidades. <https://www.inegi.org.mx/app/ageeml/>.
- 12 ISO. 2006a. ISO 14040:2006. Environmental management - life cycle assessment - Principles and framework. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>.
- 13 ISO. 2006b. ISO 14044:2006. Environmental management -Life cycle assessment-Requirements and guidelines. <https://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/03/84/38498.html>.
- 14 Mengesha, T.; Berhanu, Y. and Teshale, A. 2026. Impact of shifting to full-sun coffee plantations on soil bacterial diversity in the Kafa Forest Biosphere Reserve. Ethiopia. *Total Environment Microbiology*. 2(1):100060. <https://doi.org/10.1016/j.temcr.2026.100060>.
- 15 Moguel, P. and Toledo, V. 1999. Biodiversity conservation in traditional coffee systems of Mexico. *Conservation Biology*. 13(1):11-21.
- 16 Moguel, P. y Toledo, V. M. 2004. Conservar produciendo: Biodiversidad, café orgánico y jardines productivos. *Biodiversitas*. 55:2-7.
- 17 Nemecek, T. and Schnetzer, J. 2011. Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. *Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station*. Zurich. 34 p.
- 18 Noponen, M. R. A.; Edwards-Jones, G.; Haggard, J. P.; Soto, G.; Attarzadeh, N. and Healey, J. R. 2012. Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 151:6-15. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019>.

- 19 Parra-Paitan, C. and Verburg, P. H. 2022. Accounting for land use changes beyond the farm-level in sustainability assessments: The impact of cocoa production. *Science of The Total Environment*. 825:154032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154032>.
- 20 Pazmiño, M. L.; Mero-Benavides, M.; Aviles, D.; Blanco-Marigorta, A. M.; Tinoco, D. L. and Ramírez, A. D. 2024. Life cycle assessment of instant coffee production considering different energy sources. *Cleaner Environmental Systems*. 12:100174. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100174>.
- 21 Rahmah, D. M.; Putra, A. S.; Ishizaki, R.; Noguchi, R. and Ahamed, T. 2022. A life cycle assessment of organic and chemical fertilizers for coffee production to evaluate sustainability toward the energy-environment-economic nexus in Indonesia. *Sustainability*. 14(7):3912. <https://doi.org/10.3390/su14073912>.
- 22 Ratchawat, T.; Panyatona, S.; Nopchinwong, P.; Chidthaisong, A. and Chiarakorn, S. 2020. Carbon and water footprint of Robusta coffee through its production chains in Thailand. *Environment, Development and Sustainability*. 22(3):2415-2429. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0299-4>.
- 23 Romero-Fernández, A. de J.; González-Chávez, Ma. del C. Á.; Herrera-Cabrera, B. E.; Corona-Sánchez, J. E. and Carrillo-González, R. 2023. The coffee-mango association promotes favorable soil conditions for better-nourished and higher-yielding plants. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 354:108589. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108589>.
- 24 SIAP. 2024. Panorama Agroalimentario, 2018-2024: la ruta de la transformación agroalimentaria. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Ciudad de México, México. 210 p.
- 25 Valdés-Velarde, E.; Vázquez-Domínguez, L. P.; Tinoco-Rueda, J. Á.; Sánchez-Hernández, R.; Salcedo-Pérez, E. y Lagunes-Fortiz, E. 2022. Servicio ecosistémico de carbono almacenado en cafetales bajo sombra en sistema agroforestal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 28(esp):287-297. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i28.3283>.
- 26 Van der Feen, L.; Verweij, P. A.; Vermeulen, W. J. V.; Montagnon, C. and Sheibani, F. 2025. Life cycle assessment of seed-to-cup specialty coffee cultivated by smallholders in Yemen. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 30(8):1761-1775. <https://doi.org/10.1007/s11367-025-02495-y>.



Análisis de ciclo de vida en sistemas cafetaleros de Veracruz

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): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 July 2026
Date accepted: 01 September 2026
Publication date: 01 September 2026
Volume: 17
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e4238
DOI: 10.29312/remexca.v17i6.4238

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

cambio climático

impacto ambiental

sistemas agroforestales

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 1

References: 26