

Cadenas cortas agroalimentarias ¿ambientalmente sostenibles? Reflexiones desde el caso del amaranto en la Ciudad de México

Are short agri-food chains environmentally sustainable? Reflections on the case of amaranth in Mexico City

María del Pilar Ortiz Martínez¹ Laura Elena Martínez Salvador²

Siembra 13 (1) (2026): e8454
DOI: [10.29166/siembra.v13i1.8454](https://doi.org/10.29166/siembra.v13i1.8454)

Recibido: 22/06/2025

Revisado: 07/08/2025

Aceptado: 03/12/2025



¹ Instituto Politécnico Nacional. Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos 12. Paseo de las Jacarandas 196. Santa María Insurgentes. Delegación Cuauhtémoc. C.P. 06430. Ciudad de México, CDMX, México.

² Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Investigaciones Sociales. Instituciones Políticas. Circuito Mario de La Cueva s/n, Ciudad Universitaria. C.P.04510. Coyoacán, Ciudad de México, CDMX, México.

* Correspondencia:
laura.martinez@sociales.unam.mx

Resumen

Las cadenas cortas agroalimentarias [CCA] se han presentado como alternativas ambientalmente sostenibles a la actividad tradicional de producción, transformación y comercialización de alimentos debido a su naturaleza de mínima intermediación y acortamiento de eslabones, lo que teóricamente puede generar una disminución en las emisiones de gases de efecto invernadero [GEI] y contribuir a minimizar los efectos negativos ambientales de la actividad agroalimentaria. Esto es de especial interés en ámbitos urbanos como: la Ciudad de México [CDMX], los cuales concentran gran parte de la demanda de alimentos y recurren a la producción periurbana para satisfacer dichas demandas. En la CDMX, el amaranto es considerado un alimento identitario de la región periurbana de la capital, con un amplio valor nutricional y potencial agroalimentario, que conserva raíces prehispánicas y que se cultiva en el espacio agrícola de la urbe. En este sentido, se logró identificar, mediante premisas del análisis del ciclo de vida, que si bien la proximidad de los espacios de producción y comercialización periurbana puede contribuir a disminuir las emisiones de GEI en esta cadena, el eslabón de procesamiento (el cual resultó ser el eslabón que mayor emisión de CO₂ presentó en la cadena) requiere de implementar técnicas de reventado más sostenibles e innovadoras y que permitan un mejor aprovechamiento de los combustibles o la inserción de métodos basados en energías renovables; de otra forma, los posibles beneficios de las CCA podrían verse opacados por los efectos negativos de los GEI.

Palabras clave: amaranto, cadena corta agroalimentaria, gases de efecto invernadero, periurbano, sostenibilidad.

Abstract

Short agri-food supply chains [SASC] have been presented as an environmentally sustainable alternative to the traditional food production, processing, and commercialization models due to their minimal intermediation and shortened supply chains. This structure can theoretically reduce greenhouse gas emissions [GHG] and mitigate the negative environmental impacts of agri-food activities. This is particularly relevant in urban settings such as Mexico City [CDMX], where much of the food demand is concentrated and often relies on peri-urban production. In CDMX, amaranth is considered an identity-defining food of the capital's peri-urban region. It has significant nutritional value and agri-food potential, it preserves pre-Hispanic roots, and is cultivated within the city's agricultural spaces. Through life cycle analysis, it was identified that

while the proximity of peri-urban production and commercialization spaces may reduce GHG emissions, the processing stage presents the greatest CO₂ emissions and requires more sustainable and innovative popping techniques. These techniques should allow for better fuel efficiency or the incorporation of renewable energy methods. Otherwise, the potential benefits of SASC may be outweighed by the negative effects of GHG emissions.

Keywords: amaranth, greenhouse gases, peri-urban, short agrifood chain, sustainability.

1. Introducción

En los últimos años, la tendencia en el consumo de alimentos ha ido girando hacia el impulso de lo “local”, así como de las alternativas de producción, transformación y consumo, que parten de la articulación de la producción de pequeña escala y cercanía con el consumidor final y abonen a futuros agroalimentarios más sostenibles (Cui et al., 2024). Ante esto ha surgido con gran fuerza el constructo de cadenas cortas agroalimentarias [CCA], las cuales se han presentado como alternativas que contrarrestan la producción masiva y heterogénea de los alimentos, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental de la actividad agroalimentaria a partir de acortar eslabones y fomentar una alimentación más sostenible (Aubry y Kebir, 2013; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016). Estas CCA contribuyen a la vez a la reducción de los flujos, traslados, distancias y transacciones requeridas para la actividad agroalimentaria, por lo que la cercanía física que les caracteriza puede dar como resultado una disminución en la huella de carbono (FAO, 2017).

Las CCA pueden ser definidas como sistemas territoriales (locales) en los que las etapas que atraviesa un bien alimentario de producción, transformación, distribución y consumo están interrelacionadas mediante un número limitado de actores desde su origen hasta su llegada al consumidor final (FAO, 2016; Padilla y Oddone, 2014). Según Canfora (2016), estos sistemas se estructuran mediante relaciones de cooperación, proximidad geográfica y social, y una orientación hacia el desarrollo local. En este sentido, la proximidad geográfica, en torno a los alimentos, proporciona identidad y arraigo de los productores a las localidades de origen, “refuerzan la valoración de los alimentos con arraigo territorial y fomentan los lazos de confianza, produciendo también una proximidad cognitiva como marco común de entendimiento e interacción de los actores socio-territoriales” (Torres Salcido, 2022, pp. 141-142); a la vez esta “valorización” permite la inserción de los alimentos a los mercados de especiali-

dad (FAO, 2016) favoreciendo mayores ingresos para los productores locales.

Las CCA han estado asociadas a beneficios ambientales toda vez que se les relaciona con la reducción de emisiones de dióxido de carbono [CO₂], el cual es un gas de efecto invernadero [GEI], cuya acumulación como contaminante en la atmósfera genera graves efectos negativos ambientales que contribuyen al calentamiento global, y afectan a la salud humana. En las CCA se da el acortamiento de las distancias en el transporte, la promoción de la conservación de la bio y agrobiodiversidad, y el incentivo a la agricultura periurbana (Canfora, 2016), desde la cual la oferta de alimento “in situ” proveniente de la franja urbano-rural es posible (Benis y Ferrão, 2017, p. 785).

Asimismo, estas cadenas favorecen la creación de capital social basado en relaciones de confianza e intercambio simétrico de información, tanto entre productores como de estos a los consumidores (Romero-López y Ramos, 2017). Por lo tanto, estas CCA han gozado de importante reconocimiento y validación como alternativas más sostenibles¹ cuando se les compara con las cadenas agroalimentarias globalizadas, particularmente por lo que hace al elemento de la proximidad entre sus eslabones y dado la reciente importancia que tanto consumidores como actores públicos y privados han dado a las externalidades de estos sistemas (Cui et al., 2024). En esta tónica “El acortamiento de la cadena agroalimentaria se presenta en muchos sistemas comerciales como sinónimo de sostenibilidad y también de productos saludables. En este sentido, aunque las cadenas cortas agroalimentarias se asocian con una mejor calidad de los productos, una producción socialmente solidaria y prácticas comerciales justas, estas características no se desarrollan automáticamente”² (Muñoz Torres et al., 2022, p. 544).

No obstante, a pesar las “bondades” aparentes de estructuras como las CCA, la sustentabilidad de estas no siempre está garantizada, por lo que tal como enfatizan (Majewski et al., 2020) en el análisis de cadenas de distribución cortas, y largas, en países europeos,

¹ Un ejemplo de lo anterior es la relevancia dada a la cuantificación de los kilómetros recorridos desde el origen de un alimento hasta el punto de consumo, para determinar su huella de carbono o sus food miles (Lang e Irving, 2006).

² Texto original en inglés: “Shortening the agri-food chain is being presented in many commercial schemes as a synonym of sustainability and also healthy products. In this sense, although short food supply chains are associated with better product quality, social supportive production and fair commercial practices, these characteristics do not develop automatically.”(Muñoz Torres et al., 2002, p. 544).

los últimos resultados mostraron menores impactos ambientales (en materia de consumos energéticos, contaminación y emisiones de GEI) que las cadenas cortas. En este sentido, se considera importante poner a prueba la premisa sobre sostenibilidad de las CCA y de cuestionar la funcionalidad de estas estructuras de acortamiento de los eslabones productivos, especialmente ante un paradigma hegemónico alrededor de estas CCA y que puede dar paso a una incorrecta “romantización” de los conceptos, ligándolos intrínsecamente a la sostenibilidad ambiental, enfoque principal de este trabajo.

Es de mencionar que el estudio de las CCA en las ciudades se ha abordado desde diversas aristas; por ejemplo, asociadas a los pilares que sostienen a la seguridad alimentaria (Martínez Salvador, et al., 2021) o con respecto a la economía solidaria y el comercio justo como vectores de la transición de los sistemas alimentarios urbanos (Chiffolleau et al., 2019); así como a partir de la integración de la proximidad geográfica y organizacional y el valor agregado derivado de la producción alimentaria en esquema corto (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], FAO, e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], 2014; Jarzębowski et al., 2020). En estos estudios, se aborda la dinamización de la escala local mediante espacios alternativos de comercialización como las CCA y los efectos económicos que estas aportan como el ingreso a espacios de comercialización más justos y solidarios o la posibilidad de mantener en los territorios de origen el valor agregado de la producción.

Con esto en mente, el presente trabajo seleccionó como territorio de estudio, a la Ciudad de México (CDMX en adelante) donde aun cuando la demanda de alimentos es correspondiente a la alta densidad poblacional y siendo uno de los principales centros de consumo del país, se considera que en este espacio periurbano pueden coexistir escenarios como el mencionado por (Avila-Sánchez, 2024), en donde “[...] prevalecen las modalidades productivas convencionales, pero se multiplican las formas alternativas de consumo solidario y de producción de alimentos sanos [...]” (p. 5). Asimismo, la reflexión en este territorio es relevante toda vez que aun cuando la ciudad puede producir, especialmente en los espacios periurba-

nos, hasta el 20% del alimento consumido (Dieleman, 2017); esta cifra muestra la dependencia que la ciudad tiene de la producción de otras demarcaciones lo que denota una gran importancia de impulsar sistemas de agricultura periurbana que contribuyan con la producción y distribución de alimentos locales.

En esta lógica, se designó como objeto de estudio de este trabajo al cultivo del amaranto, y su cadena agroalimentaria, por considerarse un alimento emblemático de la CDMX y ser reconocido localmente por reflejar una amplia tradición periurbana³ en donde el amaranto tiene un gran reconocimiento por su valor nutricional (Moran Bañuelos et al., 2014), propiedades y potencialidades de diversificación productiva. Asimismo, el amaranto se cultiva, transforma y comercializa bajo sistemas de producción familiar y local en donde los productores tienen la particularidad de ser actores que intervienen en la mayoría de los eslabones de la cadena de valor, es decir, que muestran una dinámica multi-eslabón, abonando a disminuir el intermediarismo. En esta lógica vale destacar que el amaranto se produce en unidades familiares de pequeña escala, especialmente en el poblado de Santiago Tulyehualco en la alcaldía Xochimilco (Martínez Salvador et al., 2022), con siembras parciales que se dan en tierras pertenecientes a los suelos de conservación⁴ y posee características únicas que le dotan de un sentido de cadena corta⁵. Asimismo, el amaranto en la CDMX es la materialización de una oferta alimentaria con características diferenciadas por su arraigo al territorio así como por sus atributos nutracéuticos y capacidad de diversificación productiva, lo que puede impactar positivamente la oferta de alimentos; sin embargo, poco se conoce sobre el impacto ambiental de esta actividad productiva, por lo que ante una tendencia en ascenso de consumidores cada vez más conscientes e informados de los impactos de la actividad agrícola en la sostenibilidad, y ante la presencia de un “ciudadano alimentario” que impulsa el consumo de lo local (Renting et al., 2012), reflexionar sobre las emisiones de CO₂, ligadas a la cadena de valor del amaranto es también relevante.

Cabe destacar que al existir ciertos cuestionamientos alrededor de la dimensión ambiental en las CCA, Follinas et al. (2013) proponen que esta dimensión debe ser evaluada desde una mirada al Análisis de Ciclo de

³ El amaranto, y productos derivados, ha sido reconocido como Patrimonio Cultural Intangible de la Ciudad de México (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2020a).

⁴ Los suelos de conservación son el espacio geográfico que, por sus aportes de servicios ambientales a la biodiversidad en beneficio de la población de la CDMX, es protegido por instancias de gobierno como la Secretaría de Medio Ambiente (Jujnovsky et al., 2022).

⁵ La pertinencia de utilizar el marco analítico de la CCA en el análisis del amaranto periurbano de la ciudad surgió de la exposición de integrantes vinculados a la organización del Sistema Producto Amaranto de la CDMX en un seminario temático de las CCA para las urbes, organizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México [IG UNAM] el 17 de agosto del 2017. Los ponentes enfatizaron la centralidad de las actividades productivas en torno a la especificidad del amaranto en una región periurbana, el involucramiento de los productores agrícolas a lo largo de los diversos eslabones de la cadena de valor, la muestra del enfoque tendiente a la producción agroecológica y la representatividad identitaria del alimento “amaranto” para una comunidad. Estos elementos dieron el punto de partida para analizar este producto alimentario desde el enfoque de CCA.

Vida [ACV], así como desde la estimación de la huella ecológica, lo que se realiza desde la identificación y cuantificación de la huella de carbono de la cadenas, es decir de las emisiones de CO₂, lo que ayuda a cuantificar las emisiones con respecto a la transportación de los alimentos. Ante este escenario, Mundler y Rumpus (2012) enfatizan la importancia de segmentar las cadenas de valor, como en este trabajo para el caso del amaranto, y contar con mayor precisión del impacto ambiental.

Considerando lo anterior, el presente artículo tiene por objetivo analizar la CCA de amaranto en el entorno periurbano de la CDMX, evaluar el impacto ambiental desde las emisiones de GEI (CO₂e) y proponer recomendaciones para abonar a su funcionalidad como alternativas ambientalmente más sostenibles a las cadenas tradicionales, esto a partir de recuperar algunos elementos del ACV y desde la aplicación de entrevistas a productores de la cadena de amaranto. Este análisis aborda el estudio de la CCA del amaranto, a partir de recuperar premisas de las cadenas de valor, al considerar los diferentes eslabones desde la producción primaria hasta la comercialización.

Vale destacar que en materia de la cadena de amaranto es importante considerar premisas alrededor del valor agregado y de las cadenas de valor, las cuales se estructuran por diversos eslabones, insumos, acciones y actividades, que parten desde la etapa de producción hasta el consumo final para agregar valor a la producción (Padilla y Oddone, 2014). Esto es de especial importancia para aquellas CCA en donde son los actores primarios, o productores, como el caso del amaranto quienes lideran prácticamente todos los eslabones de la cadena y que en este trabajo se les ve como productores “multi eslabón”.

Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera: En la primera sección se aborda la CCA del amaranto como cultivo agrícola, su actor principal y los eslabones que la conforman, la segunda explica los materiales y métodos, recuperando premisas del Análisis Ciclo de Vida [ACV] desde donde se identifican fases, objetivos e inventario energético con la finalidad de determinar la huella de carbono [HCO₂] de la unidad funcional (es decir el amaranto) y las emisiones totales anuales referentes a la CCA del amaranto. En la tercera sección se incluyen los resultados, los cuales presentan la HCO₂ por eslabones de análisis de la CCA; asimismo, la discusión se profundiza al identificar el eslabón de mayor impacto ambiental, y se realiza una comparativa de resultados con otros alimentos. Por último, se plantea un análisis de sensibilidad para proponer alternativas de reducción de la HCO₂. En la cuarta sección, se plantean conclusiones y recomendaciones finales.

2. Breve mirada a la CCA del amaranto en la CDMX

El amaranto (*Amaranthus spp.*) es un cultivo con gran valor tradicional y alta resistencia al estrés hídrico, volviéndolo altamente adaptable a condiciones hídricas extremas. Este cultivo considerado un pseudo-cereal (Figura 1) es producido en la zona centro del país, con una particular tradición de producción en la CDMX desde la época precolonial y, según indicios antropológicos, existe en México desde hace 4.000 años (Mapes, 2015).

En la CDMX, en 2017 se produjeron poco más de 139 toneladas de amaranto, con un valor de produc-



Figura 1. Semilla de amaranto en mano de productor.

Figure 1. Amaranth seeds in the hand of a producer.

Fuente: Imagen tomada por Pilar Ortíz Martínez

Source: Picture taken by Pilar Ortíz Martínez

ción de 3,246 miles de pesos (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON], 2023). El amaranto se cultiva en la zona sureste de la Ciudad, especialmente en las alcaldías Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco. Esta última resulta de interés para este estudio, debido a que ahí el amaranto es un cultivo clave para la preservación del ecosistema del cerro volcánico Teuhtli, así como por ser pilar de actividades económica identitarias de la localidad de Santiago Tulyehualco, territorio principal de estudio. Cabe destacar que el amaranto es altamente versátil en la preparación de diversos productos alimentarios, es libre de gluten y se ha posicionado como un superalimento por su alto valor nutritivo, contenido en fibra, proteína y minerales (Cano, 2022).

Los productores de amaranto del territorio de estudio, que por la dinámica previamente mencionada (participan de casi todos los eslabones de la cadena de valor), pueden entenderse como “multi eslabón”, las unidades productivas se constituyen por familias en esquema de micro, pequeña y mediana empresa, donde el hogar también se utiliza como punto de comercialización en muchas ocasiones, reduciendo el involucramiento de terceros para el desarrollo de ciertas actividades, desde la cosecha, la transformación y la comercialización del amaranto.

La CCA del amaranto en la CDMX opera con base en una serie de procesos o eslabones en flujo, los cuales se encuentran concatenados como puede verse en Figura 2.

En la primera y segunda etapa encontramos las actividades de producción primaria que involucran la siembra y las actividades de cosecha respectivamente; el procesamiento de la semilla de amaranto se consigue en la etapa de transformación, siendo el producto “amaranto reventado” el bien obtenido de forma más común para la elaboración de otros productos, y desde el cual se somete al grano de amaranto a un proce-

so térmico y con ello “tostar” la semilla. Del amaranto reventado y diferentes ingredientes se pueden obtener, entre otros, productos tales como granolas y “alegrías” el cual es un dulce típico representativo de la zona productora de Santiago Tulyehualco, en Xochimilco (Martínez Salvador et al., 2022). Una cuarta etapa relacionada con la comercialización nos permite identificar que la actividad productiva del amaranto compagina con las premisas teóricas de las CCA, debido a que la producción agrícola, enmarcada en un territorio específico, mantiene una cercanía geográfica entre la localidad de producción con el mercado final urbano, bajo dinámicas periurbanas que podrían favorecer la comercialización sin intermediación a través de mercados de productores o venta directa a consumidores periurbanos. En este sentido, es de destacar que, en la zona de Xochimilco, las ferias de productores son otra iniciativa de interacción comercial directa entre productor y consumidor del amaranto en la localidad, siendo la más representativa de este cultivo la mencionada por (Tolentino Martínez y Martínez Salvador, 2021) Feria Nacional del Amaranto y el Olivo en donde se muestra la oferta culinaria local.

3. Materiales y Métodos

Para el análisis de la CCA del amaranto y el cálculo de sus emisiones de CO₂ en cada uno de los eslabones, se recuperan algunas premisas del Análisis de Ciclo de Vida [ACV], el cual es una herramienta que permite identificar y evaluar el uso de materiales y energía utilizados, así como evaluar las oportunidades de mejora ambiental sobre la totalidad del ciclo de vida en un sistema (Azapagic y Clift, 1999; Keoleian y Spitzley, 2006) o como en el caso de este trabajo, en una cadena agroalimentaria. Este estudio requirió de la obtención de datos primarios de la cadena, lo



Figura 2. Esquema de la CCA del amaranto en la CDMX.

Table 1. Outline of the Amaranth CCA in Mexico City.

Fuente: Elaborado a partir de Tolentino Martínez y Martínez Salvador (2021) y Rodríguez-Fernández et al. (2019).
Source: Based on Tolentino Martínez & Martínez Salvador (2021) and Rodríguez-Fernández et al. (2019).

que se realizó mediante técnicas como observación participante y entrevistas semiestructuradas, así como visitas *in situ* en trabajo de campo, el cual se llevó a cabo entre los meses de septiembre a noviembre del 2017 en el marco de la investigación doctoral de la autora principal. Durante este periodo se consultó a diversos productores multi eslabón y se aplicaron 32 entrevistas semiestructuradas. El criterio de selección de los entrevistados fue a través de un proceso de bola de nieve ya que los primeros acercamientos al territorio se dieron en las diversas visitas al poblado de Santiago Tulyehualco donde se entrevistó, en principio, a representantes del Sistema Producto Amaranto A.C, y desde donde se obtuvo información sobre la ubicación de otros productores.

Las entrevistas se dividieron en cuatro apartados, que recuperaban información sobre los siguientes temas: información organizativa del productor de la CCA del amaranto; insumos energéticos identificados en los eslabones: producción primaria, cosecha y postcosecha; insumos energéticos y de combustibles identificados en el eslabón: procesamiento; combustibles identificados en el eslabón: comercialización (para más detalles, Tabla 1). Estas entrevistas proporcionaron información clave para identificar las emisiones de CO₂ en los eslabones de la CCA, la definición de las cargas ambientales en la cadena de valor, el entendimiento acerca de la etapa más álgida de contaminación identificada y las posturas reflexivas para extender recomendaciones con base en las respuestas obtenidas desde el entrevistado.

A partir de hacer uso de algunas premisas de la ACV para el caso de la CCA del amaranto se recuperaron las cuatro fases recomendadas por la Norma Internacional ISO 14040:2006 que menciona: 1) la definición de límites del sistema [cadena] y objetivos; 2) obtención de datos para el análisis del inventario; 3) cálculo de las emisiones de CO₂; 4) interpretación de resultados. Estas se describen a continuación:

- 1) Definición de límites del sistema [cadena] y objetivos:
 - a) Definición de alcances y objetivos: la finalidad del uso de esta técnica fue calcular la huella de carbono anual [kg CO₂e] y por kg de amaranto reventado producido en la CCA del amaranto a partir de reflejar la naturaleza de mínimos intermediarios y la distancia entre el productor y el consumidor,

⁶ La unidad funcional representa la función o servicio que proporciona el sistema bajo estudio, y sirve como base para comparar diferentes alternativas (Cucurachi et al., 2019).

⁷ La emisión de kg CO₂e (emisión de dióxido de carbono-equivalente): se define como “cuantía de emisión de dióxido de carbono que causaría el mismo forzamiento radiativo integrado, en un tiempo de plazo dado, que cierta cantidad emitida de un gas de efecto invernadero o de una mezcla de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2013 p. 191). El CO₂ es el gas de efecto invernadero de referencia para medir los demás GEI, por ser el que perdura en la atmósfera hasta 100 años, considerando su potencial de calentamiento global [PCG] es de 1, lo cual permite considerar dentro de su métrica a los demás GEI, dando referencia al uso de kg CO₂e.

con base en los insumos de energéticos de fuentes fósiles de emisiones directas (Norma Internacional ISO 14064-1:2018), en los límites del sistema, que abarcan desde la producción primaria hasta la comercialización a partir de los datos de los entrevistados.

- b) Para delimitar los datos a obtener en el inventario en la etapa de producción primaria, cosecha y post cosecha se consideraron los consumos energéticos para el transporte que moviliza a los productores en las actividades de siembra, riego, manejo de plagas y transportación de la cosecha, así como el energético para la maquinaria trilladora y tractor. Para la transformación (procesamiento) de la semilla se solicitó la información a los entrevistados sobre las cantidades de los combustibles utilizados para el tostado del amaranto, en la comercialización se consideró el energético utilizado en la transportación del amaranto a un único cliente local con viaje semanal de ida y vuelta. Estas etapas se eligieron por que representan el flujo principal de energéticos en esta CCA y captura las emisiones más significativas que están bajo control directo de los actores multi eslabón.
- c) Las CCA al ser coherentes con sus objetivos de producción y distribución local, excluye ciertas etapas que son más relevantes en otras cadenas de suministro, como es el caso de la producción de insumos agrícolas, por ejemplo, la producción de fertilizantes químicos es un proceso que está fuera del productor local y su uso, en el caso del CCA del amaranto, no añadiría una información relevante que los actores de la cadena pudieran mitigar debido a que el uso de fertilizantes químicos no es representativo. Por otra parte, la disposición final es una etapa que también está fuera del control directo de la cadena de producción y comercialización, la gestión de los residuos del producto hace esta etapa altamente variable y compleja de cuantificar.
- d) En este sentido, el análisis consideró el consumo energético de fuente fósil (gasolina, diésel, gas LP y carbón) de un ciclo anual de operaciones (Salamone y Ioppolo, 2012) dentro de la cadena corta de valor agroalimentaria, con el volumen total de producción de 138 t de amaranto, y se planteó la unidad funcional⁶ con base en 1 kg de amaranto reventado, según otros estudios de cadena agro-

alimentaria reportados (Cucurachi et al., 2019; Iglesias, 2005; Petti et al., 2006).

- e) Al tener como objetivo medir las emisiones de CO₂ de la CCA del amaranto, este análisis corresponde a la categoría de impacto: cambio climático, medido por el equivalente de CO₂ emitido⁷ y la representación cuantitativa que clasifica y mide el impacto ambiental denominado “indicador de la categoría”⁸. Asimismo, el alcance de análisis de la CCA del amaranto se determina por los cuatro eslabones principales que caracterizan las actividades del amaranto y que van desde la producción primaria hasta la comercialización (Figura 3).

Como puede apreciarse en la Figura 3, de izquierda a derecha, se muestran las etapas que representan el alcance de la CCA, en la primera línea, se muestran las etapas de la cadena del amaranto (que establecen los límites del sistema analizado); en un segundo nivel se presenta el detalle de las actividades realizadas en los eslabones por los productores, mientras que un tercer nivel se detalla los energéticos que provienen de fuentes fósiles que se utilizan por etapa.

2) Obtención de datos para el análisis del inventario:

- a) Análisis de inventario al interior de la CCA del amaranto. Esta fase se realizó a partir de detallar los combustibles reportados por el productor en las diferentes etapas que conforman la cadena. Por eslabones, (Tabla 1) la segunda columna se-

ñala los inputs energéticos en función de los requerimientos de los equipos de maquinaria y/o vehículos por eslabón; en una tercera columna se muestra la respectiva unidad de medida estándar del energético; mientras que en la columna cuatro se indica la unidad de medida de la emisión del factor energético [kg CO₂e]⁹ y la explicación pertinente por eslabón con respecto a la conformación del inventario de insumos energéticos se encuentra en la columna cinco.

3) Cálculo de las emisiones de CO₂:

- a) El análisis de esta CCA se ha realizado con base a la producción anual de 138 t de amaranto y tal como se muestra en la Tabla 1, el inventario de insumos energéticos se conformó a partir de los combustibles de fuentes fósiles utilizados en cada eslabón de producción. Una vez consideradas las entradas energéticas, se procede a determinar la cantidad contaminante por tipo de energético, multiplicándose por los factores de emisión de GEI para los diferentes tipos de combustibles fósiles (INECC, 2014), el resultado obtenido representará el impacto anual de la CCA del amaranto de emisiones de dióxido de carbono equivalente expresado en kg CO₂e.
- b) Análisis del impacto: La formulación matemática del cálculo de las emisiones de CO₂e que se considera para este estudio es la propuesta por Keoleian y Spitzley (2006), la cual expresa el impacto total

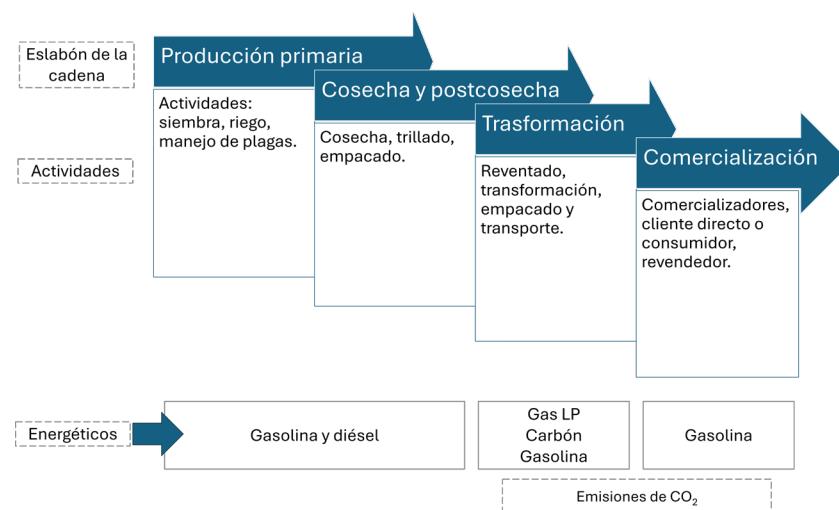


Figura 3. Alcance de análisis: la CCA de amaranto.

Figure 3. Scope of analysis: The amaranth SASC..

Fuente: Elaborado a partir de Del Rosario et al. (2021) y Tolentino Martínez y Martínez Salvador (2021).

Source: Based on Del Rosario et al. (2021) and Tolentino Martínez & Martínez Salvador (2021).

⁸ El indicador de la categoría corresponde a la métrica utilizada para medir el impacto ambiental en función a su contribución del problema (Rodrigues Viana et al., 2023), en este caso, el valor del indicador emite el resultado en kg CO₂e y contempla la categoría de impacto ambiental referente al cambio climático.

⁹ Los combustibles de fuente fósil tienen un factor de emisión (Tabla 2, columna 4) correspondiente a cada energético, el cual al ser multiplicado por las cantidades de energéticos reportadas en el inventario, se obtendrá el resultado de emisiones contaminantes en la unidad de kg CO₂e.

Tabla 1. Inventario de insumos energéticos anuales reportados en la CCA del amaranto de la CDMX y su factor de conversión a emisiones de CO₂e.

Table 1. Reported inventory of annual energy inputs in the amaranth SASC of Mexico City and their conversion factor to CO₂e emissions.

Eslabón	Input energético (i)	Unidad de medida (e_i)	Factor de emisión de energía (cf _i)	Explicación
Producción primaria	Gasolina (vehículos para actividades de siembra, riego, manejo de plaga)	Litros	kg CO ₂ e L ⁻¹ de gasolina	El resultado obtenido de la suma de litros de gasolina o diésel utilizado en esta etapa es el reportado con base en el ciclo anual de producción agrícola por los 32 entrevistados. Se consultó el número de días del uso de vehículos para realizar actividades de siembra, riego o manejo de cultivo, los kilómetros recorridos y el combustible utilizado. En el caso de la maquinaria se consultó el número de días que la utiliza cada productor y la cantidad de combustible requerido. Posteriormente, la cantidad energética del inventario se multiplicó por el correspondiente factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil ¹⁰ (Gasolina y diésel), para obtener como resultado los kg CO ₂ e (Tabla 2).
	Diésel (maquinaria tractor para cosecha)	Litros	kg CO ₂ e L ⁻¹ de diésel	
Cosecha	Diésel (maquinaria [trilladora])	Litros	kg CO ₂ e L ⁻¹ de diésel	
Post cosecha	Gasolina (transportación de cosecha)			
Transformación	Gas LP (Maquinaria o estufas para tostado de la semilla procesada anual)	Kilogramos	kg CO ₂ e kg ⁻¹ de gas LP	En este eslabón se da la cuantificación de los energéticos de fuente fósil: gas LP y carbón es el correspondiente para la transformación de 138 toneladas de amaranto.
	Carbón (reventado de amaranto)	Kilogramos	kg CO ₂ e / kg ⁻¹ de carbón	La cantidad energética del inventario de este apartado (kg de gas LP y kg de carbón) se obtuvo a través de consultar a cada entrevistado las cantidades de amaranto procesado en un año, asimismo, la cantidad de gas LP o carbón utilizado para la transformación por kilogramo de amaranto.
Comercialización	Gasolina (equipo de transporte para distribución del producto “amaranto reventado”)	Litros	kg CO ₂ e L ⁻¹ de gasolina	Posteriormente, la cuantificación de energéticos se multiplica por el factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil correspondiente [gas LP y carbón] y así obtener las emisiones contaminantes en kilogramos de CO ₂ e (Tabla 2)
				En esta etapa el resultado obtenido de la suma de los litros de gasolina se conformó con base en un cliente principal de aquellos entrevistados que indicaron realizar ventas fuera de la localidad. El cálculo de los litros de gasolina anuales se obtuvo considerando un viaje de ida y vuelta semanal y consultando al entrevistado la cantidad de gasolina utilizada por viaje dependiendo de su vehículo. Una vez obtenida la cantidad energética correspondiente en esta etapa es multiplicada por el factor de emisión para el tipo de combustible de fuente fósil correspondiente (gasolina). El cual derivará a los kilogramos de CO ₂ e correspondientes por litros de gasolina. (Tabla 2)
Total, de emisiones de la CCA amaranto:				Sumatoria total de las emisiones de dióxido de carbono de los eslabones de la CCA amaranto y expresado en kg CO ₂ e (I más adelante)

Fuente: Elaborado a partir de factores de emisión de energía (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2014) y de información obtenida de entrevistas.

Source: Based on energy emission factors (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2014) and information obtained from interviews.

¹⁰ Factores de emisión para los diferentes tipos de combustible fósiles que se consumen en México (INECC, 2014). Este documento proporciona valores acerca de los factores de emisión de GEI asociados al consumo de diversos combustibles en México, adaptados del Panel Intergubernamental del Cambio Climático [IPCC, por sus siglas en inglés], y se toma como referente para la generación del inventario nacional de GEI

de emisiones de CO₂e [I], mediante realizar la sumatoria de todos los resultados por eslabones de las emisiones de CO₂e con base en las cantidades energéticas del inventario (ecuación [1]), siendo cf_i el factor de emisión para fuentes fósiles para la CDMX; y e_i la cantidad energética del inventario.

$$I = \sum cf_i e_i \quad [1]$$

Al obtener los impactos totales de emisiones de CO₂e correspondientes al análisis de toda la CCA del amaranto, estos resultados son equiparados en relación con la unidad funcional. El cálculo de la unidad funcional se realiza con base en las cantidades energéticas totales de cada etapa del inventario (eslabones de la CCA) y se establece la relación proporcional correspondiente a 1 kg de amaranto (Iglesias, 2005), posteriormente, se multiplica por el factor de emisión de CO₂ de cada energético y el resultado a obtener será kg CO₂e kg⁻¹ de amaranto (Tablas 3, 4 y 5).

4) Interpretación de resultados: En esta fase se combinan los resultados del análisis del inventario con el análisis del impacto ambiental y se determina en qué fase, o en este caso, eslabón de la cadena, se genera la mayor emisión de CO₂, retomando que la categoría de impacto a la que corresponden las emisiones de CO₂ en todos los ACV es la respec-

tiva a cambio climático (Norma Internacional ISO 14040:2006), el eslabón con mayor impacto ambiental será también el que más contribuya a esta categoría de impacto.

Por otro lado, se realiza un análisis de sensibilidad, a partir de la propuesta de tres escenarios (reducción 10%; reducción 20%; aumento 10%), con el objetivo de identificar posibles efectos de modificaciones en la emisión de CO₂ (López-Cruz et al., 2012; Rodrigues Viana et al., 2023) ante cambios en el gasto energético.

Asimismo, se realizó una revisión de la literatura para identificar otras cadenas cortas agroalimentarias en donde el indicador de la huella de carbono (con emisiones de CO₂ como variable) fuese el elemento principal de análisis, y desde el cual fue posible generar una reflexión comparativa sobre la CCA de amaranto.

4. Resultados y Discusión

4.1. Emisiones de CO₂ de la CCA del amaranto en la CDMX

Identificar y analizar la cantidad de energéticos y emisiones asociadas a las actividades productivas puede

Tabla 2. Energéticos y emisiones de CO₂e en la CCA del amaranto en CDMX y la HCO₂ de su unidad funcional.

Table 2. Energy and CO₂e emissions in the CCA of amaranth in Mexico City and the HCO₂ of its functional unit.

Eslabón	Input energético (i)*	Unidad de medida del inventario CCA (e _i)	Factor de emisión de energía para la CCA (cf _i)	Emisiones de CO ₂ para la CCA	Sumatoria de emisiones de CO ₂ por eslabón de la CCA	Cantidad de energético proporcional a la Unidad Funcional (CEPUF)	Emisión de CO ₂ de la UF (cf _i *CEPUF)	HCO ₂ de la UF por eslabón y sumatoria
Producción primaria	Diésel	325 L	2,599	844,68	2.597,79	0,00341	0,0089	0,0276
	Gasolina	774 L	2,265	1.753,11		0,00821	0,0186	
Cosecha	Diésel	758,8 L	2,599	1.972,12	6.062,71	0,00801	0,0209	0,0644
Post cosecha	Gasolina	1,806 L	2,265	4.090,59		0,01921	0,0435	
Transformación	Gas LP	11.054 kg	3,01	33.272,54	51.934,94	0,0934 kg	0,2813	1,2264
	Carbón	6.400 kg	2,916	18.662,40		0,3240 kg	0,9450	
Comercialización	Gasolina	5.425 L	2,265	12.287,63	12.287,63	0,05771	0,1307	0,1311
Total (I)	-	-		72.883,06			1,45	

Fuente: Elaborado a partir de datos obtenidos de las entrevistas, factores de emisión de energía (INECC, 2014) y la fórmula de Keoleian y Spitzley (2006).

Source: Based on information obtained from interviews, energy emission factors (INECC, 2014) and Keoleian & Spitzley (2006) equation.

Nota: Con la finalidad de mostrar la trazabilidad del inventario energético, se precisa que el consumo promedio de combustibles fósiles de los productores entrevistados, en el ciclo anual analizado, corresponde a lo siguiente: diésel: 33,85 litros, gasolina: 250,15 litros, gas LP: 345,4 kg y carbón: 200 kg.

Note: To demonstrate the traceability of the energy inventory, the average annual consumption of fossil fuels by the producers interviewed corresponds to the following: diesel: 33.85 liters, gasoline: 250.15 liters, LP gas: 345.4 kg, and coal: 200 kg.

considerarse de utilidad para discernir sobre la trazabilidad de las CCA y acercar los resultados hacia una discusión más acorde a criterios de sostenibilidad. En este caso en específico, las entrevistas aplicadas al conjunto de productores aportaron información respecto a los eslabones, y a los energéticos involucrados en cada uno de estos. En la Tabla 2 se muestran los resultados por eslabones de la CCA del amaranto en CDMX y el resultado correspondiente a la unidad funcional con base en 1 kg de amaranto reventado.

En la primera columna se describen las etapas de la CCA, mientras que en la segunda se señalan los insumos energéticos (o inputs), así como la maquinaria o actividad en donde se emplean dichos insumos. En la tercera columna, se observan las cantidades utilizadas de cada energético y la unidad de medida correspondiente. La cuarta columna contiene el factor de emisión de energía para la conversión a términos de CO₂ y en la quinta columna se muestran los resultados finales por etapa productiva y por tipo de energético. Las emisiones de CO₂ se miden en kilogramos y al sumarse se obtiene la cantidad de impactos totales que se muestran en la columna seis.

La cuantificación total del impacto ambiental generado por la CCA amaranto de la CDMX corresponde a 72.883,06 kg CO₂e. Las columnas de la 7 a la 9 corresponden al valor equiparado de la unidad funcional, en la columna siete se presentan los energéticos correspondientes en su unidad de medida (litros o kilogramos), en la columna ocho se incluye el resultado de multiplicar la cantidad del energético proporcional de la unidad funcional [CEPUF] con el factor de emisiones de CO₂ de cada energético [cf_i] y en la columna nueve se realizan las sumatorias por eslabón de las emisiones de CO₂ correspondientes a la unidad funcional de la que se obtiene 1,45 kg CO₂e por kilogramo de amaranto reventado. A continuación, se detalla el resultado de la unidad funcional en los siguientes apartados.

4.2. Eslabón de la producción primaria: energéticos y emisiones

En principio, los resultados del análisis de esta etapa, a través de las entrevistas, muestran una tendencia interesante en cuanto a principios ecológicos en la producción agrícola del alimento por parte de los productores, lo que se materializa en el hecho de que en promedio solo 1 de cada 4 productores entrevistados hacen uso de insumos agroquímicos mientras que el resto indicaron aplicar insumos orgánicos. En este sentido, el 20% de los productores indicaron tener entre 1 y 7 años de mantener sus unidades de producción libres de agroquímicos, en apego a prácticas agroeco-

lógicas, para lo cual, el factor del tamaño de las unidades de producción agrícola cobra relevancia, ya que en promedio estas oscilan entre 0,5 y 5 hectáreas, lo que favorece el manejo de la unidad bajo principios agroecológicos.

Por otro lado, el 94% de los productores mantienen prácticas basadas en los conocimientos y saberes con respecto a la agrobiodiversidad, entendida como la siembra de diferentes cultivos en conjunto con el amaranto que constituyen un espacio dinámico de recursos genéticos (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO], 2016), con cultivos como maíz y frijol, entre otros en tendencia, como la quinoa y la combinación de otras actividades como la apicultura.

La cercanía entre las viviendas de los productores y las tierras de cultivo conforman un circuito de proximidad que favorece las actividades asociadas a la CCA del amaranto, disminuyendo las emisiones de CO₂, particularmente, aquellas relacionadas con el manejo del cultivo, control de plagas, retiro de malezas y cosechas, actividades que son realizadas mediante caminata y bicicleta, aunque no por la mayoría. En la Tabla 3 se detalla las emisiones de CO₂ que se desprenden del primer eslabón de la CCA por 1 kg de amaranto.

Como puede apreciarse, el uso de maquinaria para la siembra y de vehículos para transporte (las cuales son prácticas realizadas por el 78% de los productores) han generado una emisión de 0,0276 kg CO₂e y representan el 2% de las emisiones totales de la CCA del amaranto.

Es de mencionar que, en producción primaria, se observó que los productores hacían uso de la bicicleta y de caminar a las unidades de producción agrícola, aprovechando la cercanía geográfica, así como el uso eficiente y compartido de la maquinaria agrícola derivado de su organización, lo que puede estar contribuyendo a una reducción de los GEI.

4.3. Eslabón de la cosecha y post cosecha: energéticos y emisiones

En el eslabón de cosecha, los insumos energéticos son el diésel, empleado en la maquinaria conocida como trilladora, la cual a través del proceso mecánico de trituración de la planta extrae el grano del amaranto de manera rápida (Secretaría de Pueblos y Barrios Originarios y Comunidades Indígenas Residentes [SEPI], 2017), facilitando la limpieza y obtención de la diminuta semilla. Asimismo, en la post cosecha, la transportación de la carga de amaranto a los talleres industriales, o bodegas de almacenamiento requiere del uso de gasolina. Como puede verse en la Tabla

Tabla 3. Uso de energéticos y emisiones de CO₂e en la producción primaria del amaranto en CDMX.Table 3. Energy use and CO₂e emissions in primary amaranth production in Mexico City.

Eslabón	Input (<i>i</i>) energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO ₂ e	Total de emisiones en kg CO ₂ e por eslabón
Producción primaria	Diésel	0,0035	0,0090	0,0276
	Gasolina y actividades de manejo del cultivo	0,0082	0,0187	

Tabla 4. Uso de energéticos y emisiones de CO₂e en la cosecha y post cosecha del amaranto en CDMX.Table 4. Energy use and CO₂e emissions in the harvesting and post-harvesting of amaranth in Mexico City.

Eslabón	Input (<i>i</i>) energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO ₂ e	Total de emisiones en kg CO ₂ e por eslabón
Cosecha y post cosecha	Diésel	0,008	0,0210	0,0645
	Gasolina	0,0192	0,0435	

4, el resultado de las emisiones de CO₂ en el eslabón cosecha y postcosecha generan en conjunto 0,0645 kg CO₂e por kg de amaranto lo que representa el 4% de las emisiones totales de la CCA del amaranto.

Al comparar las emisiones en kg CO₂e entre la producción primaria y las etapas de cosecha- y postcosecha, se observa que esta última tiene emisiones superiores; lo anterior corresponde a la organización de las actividades por los productores en las unidades de producción, es decir, en la siembra, la utilización de la maquinaria para elaborar los surcos es compartida, exclusivamente los días que se emplea y se aprovecha la maquinaria de manera más eficiente por varios productores. Asimismo, otro factor a considerar son las condiciones agronómicas del territorio, ya que la maquinaria para surcar no puede ser utilizada en todos los terrenos, como es el caso de algunas zonas de Xochimilco en donde la producción se lleva a cabo en laderas pronunciadas y, por lo que, en algunos casos, los productores deben hacer el surcado manualmente y no utilizan maquinaria.

Finalmente, los traslados de los productores a las unidades de producción, en algunos casos y debido a la falta de infraestructura, se pueden realizar exclusivamente caminando o con uso de bicicleta, donde no se utilizan medios de transporte motorizados, lo que favorece la reducción del uso de combustibles fósiles.

4.4. Eslabón de procesamiento: energéticos y emisiones

Por otro lado, y como tercer eslabón en la CCA de amaranto en la CDMX, el procesamiento refiere en primer lugar al proceso de tostado (o reventado) al que es sometida la semilla de amaranto y que puede implicar, por un lado, prácticas artesanales que involucran el uso de aditamentos rudimentarios como el comal que requiere de carbón o, por otro lado, el uso de maquinaria especializada como estufas que utilizan gas LP; esto, según la capacidad tecnológica disponible del productor. Como puede apreciarse en la Tabla 5, el resultado de emisiones para este eslabón es de 1,2264 kg de CO₂e, que para la unidad funcional (1 kg de amaranto) es de 0,0935 kg de Gas LP y 0,3241 kg de carbón respectivamente. Esto representa el 85% del total de emisiones de la CCA, convirtiéndolo en el eslabón de mayor aporte contaminante en toda la cadena.

Es de destacar que, posteriormente al reventado, el amaranto pasa por otros procesos de transformación que dan valor agregado, en lo que en ocasiones se conoce como una segunda etapa de procesamiento para elaborar alimentos con adición de ingredientes, lo que permite diversificar la oferta de productos con base en

Tabla 5. Uso de energéticos y emisiones de CO₂e en la transformación del amaranto en CDMX.Table 5. Energy use and CO₂e emissions in amaranth processing in Mexico City.

Eslabón	Input (<i>i</i>) energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO ₂ e	Total de emisiones en kg CO ₂ e por eslabón
Transformación	Gas LP	0,0935	0,2814	1,2264
	Carbón	0,3241	0,9451	

Tabla 6. Uso de energéticos y emisiones de CO₂e en la comercialización del amaranto en CDMX.Table 6. Energy use and CO₂e emissions in amaranth marketing in Mexico City.

Eslabón	Input (<i>i</i>) energético	Litros del energético equivalente a lo utilizado en la unidad funcional (medida por kg de amaranto)	Emisiones kg CO ₂ e	Total de emisiones en kg CO ₂ e por eslabón
Comercialización	Gasolina	0,0577	0,1307	0,1307

el amaranto.

4.5. Eslabón de comercialización: energéticos y emisiones

En este sentido, el análisis del consumo energético en esta etapa se cuantificaron 5.425 litros de gasolina utilizados de forma anual lo que es equivalente, en términos de la unidad funcional, a 0,1307 a emisiones de CO₂e por kg de amaranto, tal como puede verse en Tabla 6, y que representa el 9% contaminante de la CCA de amaranto en la CDMX.

De las entrevistas vale la pena descartar que, en este eslabón, los productores de amaranto hacen uso de diversos canales de comercialización, en su mayoría en la localidad (sin punto de venta formal), y en espacios tales como ferias, mercados locales, venta directa en oficinas o centros educativos, o incluso a otros revendedores o comercializadores.

El amaranto analizado en el contexto de CCA presenta un resultado de emisiones de CO₂ que podría considerarse eficiente ambientalmente, si se compara con

otros productos alimenticios (tal como puede apreciarse en tabla 7 del siguiente apartado). Ante esto, los factores de proximidad tanto geográfica como organizacional en la estructura de la cadena, así como la cercanía con el mercado periurbano, se consideran elementos favorecedores en la reducción de impactos ambientales referentes a emisiones de CO₂.

Por lo tanto, las sumatorias totales de los resultados obtenidos por cada uno de los eslabones de la CCA del amaranto dan como resultado que por cada kilogramo de amaranto reventado se emiten 1.45 kg de CO₂e.

4.6. Análisis comparativo de Huella de CO₂e de otros alimentos

A pesar del resultado anterior, vale la pena preguntarse ¿Qué implica que, en sumatoria, toda la cadena de amaranto por kg de la semilla genere 1,45 kg de CO₂e? Esto podría responderse de mejor forma si se realiza un comparativo de las emisiones de CO₂ de otros alimentos que como el amaranto pueden consi-

Tabla 7. Comparativa de Huella de CO₂e de otros alimentos.Table 7. Comparison of CO₂e footprints of other foods.

Eslabón	Carne orgánica	Avena	Vino tinto orgánico	Tomate invernadero	Arroz molido
Alimento	(1 kg)	(1 Tonelada)	(750 ml)	(1 Tonelada)	(1 kg)
<i>A</i> <i>Cría/producción primaria</i>	Transportación en cría (21.684 L combustible)	Producción grano (2,5 L diésel y 8 L propano)	Producción uva (combustibles móviles)	Producción invernadero (Fertilizante)	Producción grano
	(kg CO ₂ e)	20,98	449	0,044	88
<i>B</i> <i>Procesamiento / industria</i>	Matadero (37.060 kg gas natural)	Producción cereal (12,7 L heating oil)	Vino en bodega (electricidad)	Equipo auxiliar	Cosecha y gestión
	(kg CO ₂ e)	0,27	115	0,020	77
<i>C</i> <i>Distribución / transporte/envase</i>	Refrigeración (5,6 gas refrigerante)	Transporte y almacenamiento (2,5 L diésel)	Botellas y contenedores	Etiquetas	Transportación de residuos
	(kg CO ₂ e)	1,00	632	0,946	3,1
Huella de carbono total por unidad funcional (kg CO₂e)	24,46	1.196	1,29	250	0,0057

Fuente: Elaborado a partir de Brodt et al. (2014); Torrellas et al. (2012); Vitali et al. (2018); Rodrigues Viana et al. (2023); y Petti et al. (2006).

Source: Based on Brodt et al. (2014); Torrellas et al. (2012); Vitali et al. (2018); Rodrigues Viana et al. (2023); and Petti et al. (2006).

derarse fuente de proteínas, como la carne, el arroz, e incluso con otros, como el vino.

En la Tabla 7 y la Figura 4, se muestra el análisis comparativo de la huella de carbono de diferentes alimentos con base en su unidad funcional, los estudios considerados emplearon la metodología del ciclo de vida, y en cada barra del gráfico, se muestran las emisiones de CO₂. En la Tabla 7, la primera columna presenta la información correspondiente a los diferentes eslabones que constituyen la cadena de valor (y las filas por eslabón A a la C) dependiendo del alimento. En la última fila de esta tabla, se presentan las emisiones totales en kg CO₂e correspondientes a la unidad funcional de cada alimento. Cabe mencionar que esta comparativa de datos de diferentes estudios se realizó con base en la información mostrada en ellos, por lo que en algunos casos solo incluye las emisiones de CO₂e sin las cantidades del energético y no todas las cadenas empantan en los mismos eslabones por la diversidad de alimentos analizados.

En la segunda columna se muestran los energéticos y las emisiones en kg CO₂e de los eslabones

correspondientes a la cría de ganado, procesamiento y distribución para la obtención de carne orgánica (carne obtenida de cría de ganado libre de elementos sintéticos y alimentado con cultivos orgánicos). En la tercera columna se presentan los energéticos y emisiones en kg de CO₂e por eslabones de producción correspondientes para una tonelada de avena desde la producción del grano hasta el transporte. En la cuarta columna aparecen las emisiones en kg CO₂e de los eslabones para la producción de 750 ml de vino tinto orgánico desde la producción de uva hasta el envasado con sus correspondientes emisiones en kg de CO₂e. En la quinta columna se presentan las emisiones en kg CO₂e de los eslabones para la producción de una tonelada de tomate en invernadero que abarca desde la producción primaria, el equipo auxiliar y la transportación de residuos. En la sexta columna se muestran las emisiones en kg CO₂e por eslabón de 1 kg de arroz molido, que incluye desde la producción del grano, cosecha y gestión y transportación.

En comparación con valores similares a los obtenidos en mediciones de CO₂ por kg de unidad funcional

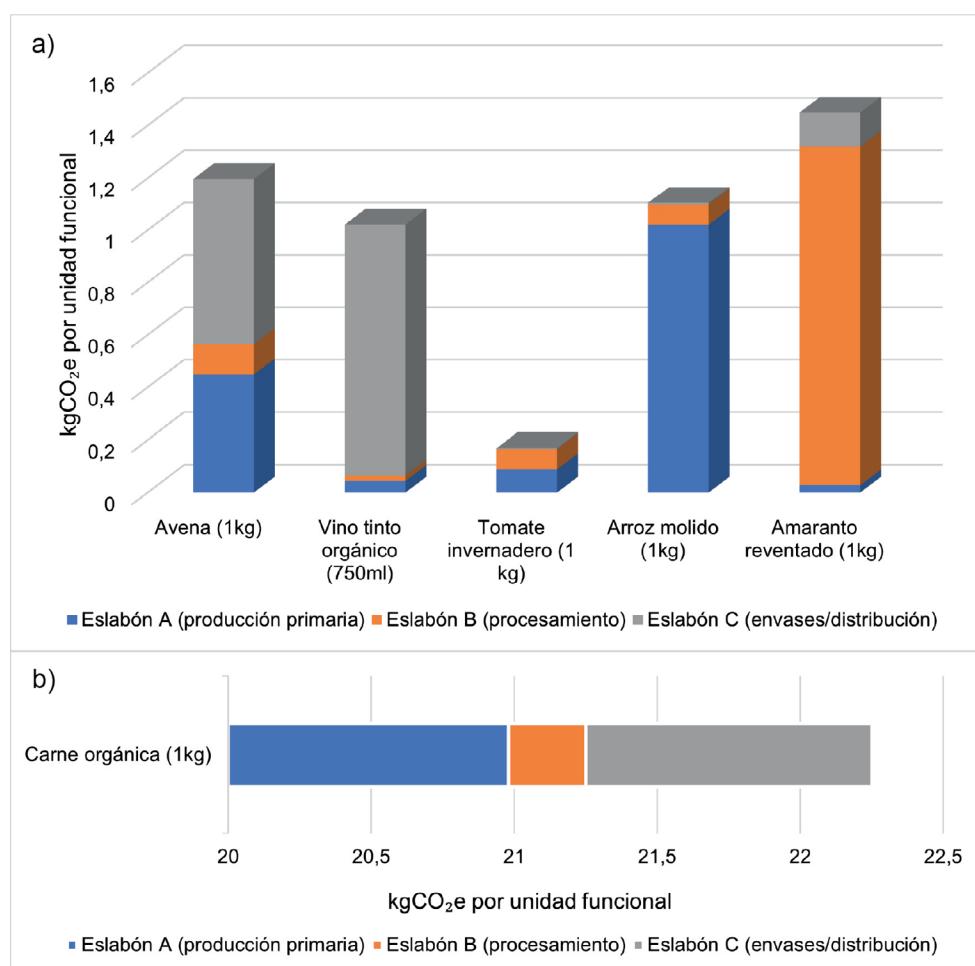


Figura 4. Huella de carbono comparativa por eslabones de cadenas agroalimentarias: a) avena, vino tinto orgánico, tomate invernadero, arroz molido, incluye amaranto reventado; b) carne orgánica.

Figura 4. Comparative carbon footprint by agri-food chain stage: a) Oats, organic red wine, greenhouse tomatoes, milled rice, and popped amaranth; b) Organic meat

en otros productos alimenticios, podemos mencionar que 1 kg de arroz molido libera 1,47 kg de CO₂e y 1 kg de carne orgánica emite 24,46 kg de CO₂e. El vino tinto orgánico correspondiente a la unidad funcional de 750 ml libera 1,29 kg de CO₂e, mientras que por cada kg de amaranto se libera 1,45 kg de CO₂e. En la Figura 4 esta información se muestra incluyendo el caso del amaranto, cuyos valores fueron determinados en el presente trabajo.

En la huella de carbono por eslabones encontramos que en el eslabón A (el cual puede involucrar la transportación del ganado y las actividades relacionadas a la producción primaria, cosecha y post cosecha del grano o la uva) el impacto ambiental es muy variado, como lo demuestran los valores que van del 0,044 kg CO₂e pertenecientes al vino tinto hasta el 20,98 kg CO₂e de la carne orgánica. Alrededor de las cinco cadenas de producción, la producción primaria de la carne orgánica constituye el efecto ambiental más significativo derivado de las actividades de cría y engorde de las reses, en caso contrario, el vino tinto es 475 veces menos contaminante en este eslabón con respecto a la carne orgánica.

Por otro lado, el eslabón B correspondiente a las emisiones contaminantes por las actividades relacionadas con el procesamiento del alimento (el gas natural empleado en los mataderos, la energía en las bodegas del vino, las operaciones de la molienda del arroz y el gas LP o carbón para tostar la semilla de amaranto) y muestra emisiones por debajo del 1,3 kg CO₂e; en este sentido el amaranto es el alimento más contaminante en esta etapa debido al uso de carbón, el cual tiene un poder calorífico menor que el gas LP y emite más CO₂.

En el eslabón C, que corresponde a los combustibles necesarios por los refrigerantes para la carne, las botellas, etiquetas y contenedores del vino y la transportación del arroz o el amaranto, se muestran emisiones que donde el resultado más alto con 1,00 y 0,957 kg CO₂e pertenece a la carne y al vino tinto respectivamente, y constituye la etapa más contaminante dentro de dichas cadenas de valor debido a que considera los energéticos para la elaboración de las botellas y etiquetas, y el uso de gas refrigerante.

Estos resultados permiten reflexionar acerca de la CCA del amaranto, que a pesar de que conlleva un primer procesamiento, este alimento mantiene un nivel de emisiones por debajo de los 1,45 kg CO₂e por unidad funcional (kg de amaranto) lo que lo mantiene dentro de un rango de emisiones de CO₂ coherente o similar a las emisiones reportadas en el arroz molido o el vino tinto orgánico.

Es de destacar, que aunado a este resultado de impacto ambiental por emisiones de CO₂ del amaranto,

otros factores clave a considerar, y que pueden fortalecer la premisa sobre el amaranto como una opción clave para la reducción de la huella de carbono, radica en ser un alimento de alto contenido proteínico de origen vegetal y un pseudocereal (Cano, 2022), por lo que la preferencia de su ingesta por parte del consumidor, podría contribuir a la disminución del consumo de alimentos de origen animal, que suelen tener una huella de carbono más alta (Ramírez Reyes, 2020). Asimismo, el factor de la producción local, y su cercanía con el consumidor, favorece la reducción de kilómetros recorridos para obtener el alimento, con respecto a cereales importados, como, por ejemplo, los cereales de maíz provenientes de Estados Unidos, del cual México es importador (United States Department of Agriculture [USDA], 2025).

4.7. Análisis de sensibilidad de la CCA amaranto de la CDMX

Por otro lado, en el análisis de la CCA de amaranto, es relevante determinar cómo los cambios en el consumo de los principales combustibles pueden modificar el resultado de emisiones de GEI, de forma tal que es necesario plantear un análisis de sensibilidad, el cual, evalúa la eficiencia de los cambios efectuados en variables de entrada sobre variables de salida para verificar la factibilidad de la propuesta de solución (Pérez-Vega et al., 2020).

Ante esta perspectiva, se presenta un análisis de sensibilidad (Tabla 8) con parámetros de reducción y aumentos en el uso de combustibles de fuente fósil y un ejemplo aplicable a partir de la integración de innovaciones tecnológicas para el análisis de opciones de cambios en el uso de energéticos de la producción de un kilogramo de amaranto en la CDMX.

En este análisis de sensibilidad, mediante escenarios hipotéticos, se plantea la reducción o aumento de las cantidades de energéticos utilizados para la producción de la unidad funcional de la CCA del amaranto (1,45 kg CO₂e). El cual se realiza con base en los resultados por eslabón de los energéticos de fuente fósil y las emisiones de CO₂ (Tabla 8, fila 2), y se plantean escenarios numéricos que muestran los aumentos de energéticos en 10% y su modificación en el resultado de 1,59 kg CO₂e, así como de reducción del energéticos en 10% con un resultado de emisiones a 1,30 kg CO₂e, (Tabla 8, fila 3) y por último (Tabla 8, fila 4) el 20% de reducciones de combustibles, donde respectivamente se emite, según este escenario 1,16 kg CO₂e. La Tabla 8 esta seccionada por columnas: columna 1: escenario (aumento o reducción), columna 2: cambio (porcentajes aplicados), columnas 3, 4, 5 y 6: los eslabones de producción (producción prima-

ria, cosecha-postcosecha, transformación, comercialización) y la columna 7 muestra el impacto ambiental en resultado de kg CO₂e de cada escenario planteado.

Esta fuente hipotética de aumentos y disminuciones de energéticos nos permitió establecer las posibilidades de reducción de kg CO₂e por unidad funcional para diferentes escenarios, donde la reducción del 20% de emisiones puede llegar a reducir hasta a 1,15 kg CO₂e. Sin embargo, se presenta la necesidad de plantear la integración directa de innovaciones tecnológicas en combinación con los combustibles fósiles dentro de los eslabones de la CCA amaranto para mejorar la eficiencia energética y por consiguiente la reducción de emisiones de CO₂. A continuación, se muestra la integración de innovaciones tecnológicas a manera de propuestas que acerquen a los resultados de los escenarios de reducción planteados en la Tabla 8.

4.8. Innovaciones tecnológicas para la reducción de emisiones de CO₂ en la CCA amaranto

Mediante programas gubernamentales, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, hoy SADER) ha fomentado el uso de tecnologías que aprovechan las fuentes renovables de energía en el sector agropecuario en México, tales como la implementación de sistemas solares térmicos y sistemas fotovoltaicos (Secretaría de Energía y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [SENER] y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE], 2025) que, en el caso de la CCA del amaranto, la integración de estas tecnologías han sido planteadas desde el sistema producto amaranto con visión a lograr procesos productivos sostenibles en la cadena de valor, mediante la colocación de paneles solares para las maquinarias reventadoras de amaranto (SEPI, 2017) lo que podría contribuir a la reducción de las emisiones de CO₂ del

eslabón de transformación.

Asimismo, las innovaciones de base tecnológica aplicadas en las reventadoras de amaranto son las planteadas por Argumedo-Macías (2021), innovación que optimiza la calidad de la semilla y un aumento en la capacidad del reventado por hora, obteniendo reducciones en los consumos energéticos al favorecer este proceso en menor tiempo que otras máquinas, como las reventadoras a base de gas LP. Otra opción, que se propone en las unidades de transformación de los pequeños productores que no cuentan con maquinaria reventadora y que utilizan sus estufas de gas LP son las estufas de inducción, las cuales tienen como ventajas el directo y rápido calentamiento al recipiente utilizado para tostar la semilla y que ofrecen una mayor potencia calorífica, estas estufas utilizan electricidad para su funcionamiento (Orialnitak, 2025). La propuesta de reducción de emisiones en la CCA amaranto se refiere a la sustitución de estufas de gas LP en el eslabón de la transformación mediante estufas de inducción, esta sustitución en adición a la electromovilidad podría proporcionar una reducción de hasta el 33% de emisiones de CO₂e respecto al escenario base de la Tabla 8, conservando la misma producción de amaranto.

Asimismo, vale la pena destacar que las tendencias en el uso de la movilidad eléctrica se ha incrementado rápidamente en todo el país, por lo que la incorporación de los vehículos eléctricos o híbridos para uso particular o en el transporte público son promovidos para reducir las emisiones de CO₂ correspondientes al uso de combustibles de fuentes fósiles (Centro Nacional de Control de la Energía [CENACE], 2024), lo que para el caso de la CCA del amaranto, podría representar la modernización de los vehículos de uso común favoreciendo la reducción sobre la huella de carbono por viajes a las unidades de producción agrícola, la transportación de las cosechas o la distribución necesaria en la etapa de la comercialización del amaranto. En este sentido, se estima que los vehículos de movi-

Tabla 8. Análisis de sensibilidad de la CCA del amaranto en CDMX.

Table 8. Sensitivity analysis of amaranth SASC in Mexico City.

Escenario	Cambio	Primaria		Post-cosecha		Transformación		Comercialización	Impacto ambiental
		Diésel	Gasolina	Gasolina	Diésel	Gas LP	Carbón		
	%	L	L	L	L	kg	kg	L	kg CO ₂ e
Aumento 10%	10	0,00380	0,00906	0,02113	0,00888	0,10283	0,35651	0,06348	1,59
Base	0	0,00346	0,00823	0,01921	0,00807	0,09348	0,32410	0,05771	1,45
Reducción 10%	-10	0,00311	0,00741	0,01729	0,00727	0,08413	0,29169	0,05194	1,30
Reducción 20%	-20	0,00277	0,00659	0,01537	0,00646	0,07478	0,25928	0,04617	1,16

lidad eléctrica requieren solo el 38.5% de la energía eléctrica que ocupa un vehículo a combustión interna para recorrer la misma distancia (CENACE, 2024). Por otro lado, el escenario de aumento de emisiones de CO₂ se puede presentar bajo el supuesto de que envejece el parque vehicular con el que transportan el producto en los tres eslabones, asimismo, el equipo para cosechar, aunado a un mantenimiento mínimo y la baja eficiencia conlleva a ocupar más combustible para recorrer las mismas distancias y para cosechar la misma cantidad de amaranto. Con esto se obtiene un aumento aproximado en las emisiones de CO₂ del 9% respecto al escenario actual.

Este análisis de sensibilidad permitió identificar las áreas de oportunidad para mejorar las reducciones de emisiones contaminantes mediante el uso o aplicación de innovaciones tecnológicas, específicamente en las actividades con mayores impactos al ambiente en la CCA del amaranto. Si bien en la CDMX no existen programas exclusivamente enfocados para incentivar la innovación energética con enfoque hacia la producción agroalimentaria periurbana, los productores multi eslabón de amaranto se benefician de manera indirecta de políticas públicas y programas específicos, los cuales tienen como prioridad la autosuficiencia alimentaria y la sostenibilidad, como es el caso del Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024 (SADER, 2020b). En este mismo sentido, a nivel local, la gobernanza territorial en la CDMX se ve materializada mediante el Programa General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México (Instituto de Planeación Democrática y Prospectiva de la Ciudad de México, 2023), el cual promueve la protección y valoración del suelo de conservación, donde se ubica la mayoría de producción agroalimentaria periurbana; asimismo, el enfoque de producción sostenible puede abrir la puerta para que los productores accedan a programas o financiamientos para la adquisición de maquinaria que emita menores contaminantes.

Con estos resultados y discusiones, resulta pertinente comentar que los retos alimentarios contemporáneos, y predominantes en el sistema agroalimentario globalizado pueden encontrar en cadenas y prácticas de la agricultura local, así como en cultivos tradicionales, soluciones que conduzcan a modelos que promuevan la sostenibilidad en materia agroalimentaria. El papel del amaranto dentro del análisis en el sistema agroalimentario periurbano en la CDMX, es relevante ya que permite develar, e incluso contraponer empíricamente premisas, teóricas, en ocasiones osificadas, alrededor de las CCA, ya que, sin dejar de reconocer la capacidad de este cultivo de abonar favorablemente a la cuestión alimenticia de espacios como la CDMX

(por sus cualidades nutricionales, su resiliencia como cultivo agrícola, su impacto sociocultural), también permite analizar esta dinámica de forma crítica, encontrando fortalezas a la vez que espacios de acción y mejora.

5. Conclusiones

Si bien las CCA se han asumido como más sostenibles, este estudio demuestra la necesidad de reflexionar en torno a los diversos aspectos que las conforman. El análisis de los diferentes eslabones, los consumos energéticos, los procesos productivos, el tipo de alimento, el lugar de origen y de transformación, la cercanía con el mercado, entre otros, son factores que pueden ser estratégicos para hacer frente a problemas prevalentes como las afectaciones ambientales y sus efectos al cambio climático.

En este sentido, se logró identificar que si bien la proximidad de los espacios de producción y comercialización periurbana puede contribuir a disminuir la emisiones de GEI en esta cadena, el eslabón de procesamiento (el cual es el eslabón de mayor emisión de CO₂) requiere de implementar técnicas de revestido más sostenibles e innovadoras y que permitan un mejor aprovechamiento de los combustibles o la inserción de métodos basados en energías renovables; de otra forma, los posibles beneficios de las CCA podrían verse opacados por los efectos negativos de los GEI.

En esta lógica, pudo detectarse que, existe un área de oportunidad en la CCA del amaranto para la inserción de innovaciones que permitan disminuir los GEI de la misma. En cuanto al eslabón de la transformación, el cual es el de mayor impacto ambiental en la CCA de amaranto de la CDMX, al ser el carbón un combustible menos eficiente que otros, como el gas LP o la electricidad, y que contribuye a incrementar la huella de carbono de este alimento, se identificó que la integración de estufas de inducción que funcionan a base de electricidad, podría reducir en hasta 13% las emisiones de CO₂ tan solo en este proceso. Aunado a la propuesta anterior se plantea la reducción de emisiones de CO₂ en todos los eslabones por medio de la sustitución de vehículos, que actualmente funcionan a base de gasolina, por el uso de vehículos eléctricos, lo que para este estudio constituiría una reducción del 20% de emisiones de CO₂, alcanzando una reducción total del 33% de emisiones de la CCA del amaranto con el mismo nivel de producción. Este estudio propone la integración de innovaciones tecnologías que actualmente ya están vigentes para mejorar la eficiencia energética de los procesos productivos, en tanto, que

se generan de manera eficaz, innovaciones adaptadas a la producción de amaranto el contexto periurbano. Por otro lado, vale mencionar que este estudio concuerda con Majewski et al. (2020) en tanto a que la sostenibilidad de las CCA no constituye un elemento intrínseco por su naturaleza local o su cercanía con el mercado periurbano, ya que la diversidad de proyectos y prácticas que existen y seguirán surgiendo en los espacios periurbanos, y que podrían constituirse como cadenas cortas, requieren un análisis particular para identificar y mejorar los impactos ambientales, para favorecer el medio ambiente. Asimismo, y como se mencionó previamente, al considerar comparativamente las emisiones de GEI en otros alimentos, como podría ser la carne, destaca el valor obtenido del amaranto (1.45 kg CO₂e por un kg de amaranto contra 24.46 kg CO₂e por kilogramos de carne orgánica) y le posiciona como una opción sostenible no solo ambientalmente, sino que, al ser el amaranto, un alimento de alto contenido proteínico podría contribuir a la sustitución del consumo de proteína carnica en las dietas periurbanas.

Asimismo, vale la pena mencionar que una de las limitaciones enfrentadas durante la investigación se presentó durante la etapa dos relacionada con la obtención de datos para el análisis del inventario ya que si bien se consultó a los productores de amaranto directamente sobre esta información, en ocasiones la

información era ambigua por parte de los entrevistados, especialmente en lo relacionado con la etapa de comercialización, debido a los múltiples traslados que estos actores desarrollan; no obstante, consideramos que estos retos pudieron ser superados con aproximaciones a los datos. Asimismo, otra limitación del estudio fue la falta de información referente a los insumos agrícolas, en especial agroquímicos, posiblemente empleados en la siembra, ya que ante la negativa de los productores a hacer uso de estos insumos llevó a la investigación a eliminarlos como componente de análisis.

En esta lógica, se destaca, como área de oportunidad para siguientes estudios o líneas de investigación, la necesidad de incluir información de otros insumos de las CCA del amaranto para ampliar el análisis del ciclo de vida del amaranto, es decir, identificar otros recursos utilizados en la cadena de valor (semillas, fertilizantes, agua, electricidad, empaques) para incrementar el alcance del estudio. Asimismo, sería relevante incluir, como variables del cambio climático, otras categorías analíticas como el uso de suelo, la precipitación u otros componentes energéticos. De igual manera sería muy relevante recuperar más información de los contextos sociales y económicos de los productores de amaranto, con el fin de entender de forma más holística la cadena completa.

Agradecimientos

La primera autora desea agradecer al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad de la UNAM y al Programa de Becas de Posgrado del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], hoy Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación [Sechiți], por su apoyo para la elaboración de esta investigación, la cual se realizó en el marco de los estudios del Doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad UNAM.

Contribuciones de los autores

- María del Pilar Ortiz Martínez: conceptualización, análisis formal, investigación, software, validación, visualización, redacción – borrador original; redacción – revisión y edición.
- Laura Elena Martínez Salvador: conceptualización, análisis formal, validación, visualización, redacción – borrador original; redacción – revisión y edición.

Disponibilidad de datos

Los autores no tienen permiso para compartir los datos.

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del manuscrito.

Implicaciones éticas

Las autoras declaran que en la investigación se realizó entrevistas semiestructuradas en las cuales se les informaba a los actores sobre los objetivos de la misma, y se les consultaba de forma verbal sobre su participación voluntaria en la investigación. Asimismo, para el cuidado de los datos personales, el documento no presenta ni publica datos personales de los entrevistados. De igual manera, la investigación se realizó siguiente los “Principios y valores que guían el comportamiento del estudiantado universitario,” emitidos en el Código de ética de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Argumedo-Macías, A. (2021). Reventadora de semilla de amaranto (*Amaranthus sp.*). *Agro-Divulgación*, 1(0), 85–86. <https://doi.org/10.54767/ad.v1i1.24>
- Aubry, C., y Kebir, L. (2013). Shortening food supply chains: A means for maintaining agriculture close to urban areas? The case of the French metropolitan area of Paris. *Food Policy*, 41, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.04.006>
- Avila-Sánchez, H. (2024). Producción y consumo alimentario en espacios periurbanos de proximidad. Procesos socio-territoriales en la conformación de los sistemas agroalimentarios. *Investigaciones Geográficas*, 113, e60806. <https://doi.org/10.14350/rig.60806>
- Azapagic, A., y Clift, R. (1999). Life cycle assessment and multiobjective optimisation. *Journal of Cleaner Production*, 7(2), 135–143. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(98\)00051-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(98)00051-1)
- Benis, K., y Ferrão, P. (2017). Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) – a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production*, 140, 784–795. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.176>
- Brodt, S., Kendall, A., Mohammadi, Y., Arslan, A., Yuan, J., Lee, I.-S., y Linquist, B. (2014). Life cycle greenhouse gas emissions in California rice production. *Field Crops Research*, 169, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.007>
- Canfora, I. (2016). Is the Short Food Supply Chain an Efficient Solution for Sustainability in Food Market? *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8, 402–407. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.036>
- Cano, E. (2022). *Valor nutricional y biológico del amaranto variedad Amaranthus Caudatus L. (kiwicha)*. Universidad Yécnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/34924>
- Centro Nacional de Control de la Energía, [CENACE]. (2024). *Programas de ampliación y modernización de la red de transmisión y de los elementos de las redes generales de distribución que corresponden al mercado eléctrico mayorista. PAMRNT 2024 – 2038*. https://www.cenace.gob.mx/Docs/10_PLANACION/ProgramasAyM/Programa%20de%20Ampliac%C3%B3n%20y%20Modernizaci%C3%B3n%20de%20la%20RNT%20y%20RGD%202024%20E%2080%93%202038.pdf
- Chiffolleau, Y., Millet-Amrani, S., Rossi, A., Rivera-Ferre, M. G., y Merino, P. L. (2019). The participatory construction of new economic models in short food supply chains. *Journal of Rural Studies*, 68, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2019.01.019>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], e Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA]. (2014). *Fomento de circuitos cortos como alternativa para la promoción de la agricultura familiar. Perspectivas de la Agricultura y del Desarrollo Rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. Boletín CEPAL/FAO/IICA. <https://hdl.handle.net/11362/37152>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (2016). *La milpa*. CONABIO. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/sistemas-productivos/milpa>
- Cucurachi, S., Scherer, L., Guinée, J., y Tukker, A. (2019). Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 1(3), 292–297. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.014>
- Cui, Y., Diarrassouba, I., Joncour, C., y Michel Loyal, S. (2024). Optimization and analysis of the impact of food hub location on GHG emissions in a short food supply chain. *Sustainability*, 16(17), 7781. <https://doi.org/10.3390/su16177781>
- Del Rosario, P., Palumbo, E., y Traverso, M. (2021). Environmental product declarations as data source for the environmental assessment of buildings in the context of level(s) and DGNB: How feasible is their adoption? *Sustainability*, 13(11), 6143. <https://doi.org/10.3390/su13116143>
- Dieleman, H. (2017). Urban agriculture in Mexico City; balancing between ecological, economic, social and symbolic value. *Journal of Cleaner Production*, 163 (Supplement), S156-S163. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.082>
- Folinas, D., Aidonis, D., Triantafillou, D., y Malindretos, G. (2013). Exploring the greening of the food supply chain with lean thinking techniques. *Procedia Technology*, 8 (Supplement), S416–S424. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.054>
- Iglesias, H. (2005). Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario. *Contribuciones a la Economía*, 2(1) <https://contribucionesalaeconomia.com/index.php/contribuciones-economia/article/view/591>
- Instituto de Planeación Democrática y Prospectiva de la Ciudad de México. (2023). *Programa General de Ordenamiento Territorial de la Ciudad de México*. IPDP. <https://www.ipdp.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/648/282/400/6482824001317200327314.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC]. (2014). *Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que consumen en México*. Informe técnico No.3. INECC. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/factores-de-emision-para-los-diferentes-tipos-de-combustible-fosiles-que-se-consumen-en-mexico>
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T. Stocker, D. Qin, G. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- Jarzębowksi, S., Bourlakis, M., y Bezat-Jarzębowska, A. (2020). Short Food Supply Chains [SFSC] as Local and Sustainable Systems. *Sustainability*, 12(11), 4715. <https://doi.org/10.3390/su12114715>
- Jujnovsky, J., Ramos, A., González Gómez, R., Hudler Schimpf, C., Cetina Arenas, L., Ortiz Vázquez, R., y Almeida-Leñero, L. (2022). Herramientas para evaluar servicios ambientales en el suelo de conservación de la Ciudad de México. *Sociedad y Ambiente*, (25), 1–26. <https://doi.org/10.31840/sya.vi25.2512>
- Keoleian, G. A., y Spitzley, D. v. (2006). Chapter 7 Life cycle based sustainability metrics. En M. A. Abraham (ed.), *Sustainability Science and Engineering*, 1, (pp. 127–159). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1871-2711\(06\)80014-0](https://doi.org/10.1016/S1871-2711(06)80014-0)
- Lang, T., e Irving, J. (2006). Locale / globale (food miles). *Slow Food*. 94–97. https://www.citystgeorges.ac.uk/_data/assets/pdf_file/0007/167893/Slow-Food-fd-miles-fi

- nal-16-02-06.pdf
- López-Cruz, I. L., Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., y Ruiz-García, A. (2012). Análisis de sensibilidad global de un modelo de lechugas (*Lactuca sativa L.*) cultivadas en invernadero. *Agrociencia*, 46(4), 383-397. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/962>
- Majewski, E., Komerska, A., Kwiatkowski, J., Malak-Rawlikowska, A., Wąs, A., Sulewski, P., Gołaś, M., Pogodzińska, K., Lecoeur, J.-L., Tocco, B., Török, Á., Donati, M., y Vittersø, G. (2020). Are Short food supply chains more environmentally sustainable than long chains? A Life Cycle Assessment (LCA) of the eco-efficiency of food chains in selected EU countries. *Energies*, 13(18), 4853. <https://doi.org/10.3390/en13184853>
- Mapes, E. (2015). El amaranto. *Revista Ciencia*, 66(3), 8-15. <https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/index.php/vol-66-numero-3/604-el-amaranto>
- Martínez Salvador, L. E., De Jesús Contreras, D., y Guerrero Jacinto, M. I. (2022). Gobernanza territorial en los procesos de patrimonialización de bienes alimentarios. La “alegría” de amaranto en la Ciudad de México. En L. B. Montes de Oca Barrera, y L. E. Martínez Salvador (eds.), *Caminos de la gobernanza en México. Avances, pausas, obstáculos y retrocesos* (pp. 99–126). Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. <https://www.iis.unam.mx/caminos-de-la-gobernanza-en-mexico-avances-pausas-obstaculos-y-retrocesos/>
- Martínez Salvador, L. E., Hernández, L. G., y Alvarado Ramírez, D. (2021). Cadenas Cortas de Comercialización y seguridad alimentaria: el caso de El Mercado el 100. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 52(206), 197-220. <https://doi.org/10.22201/iiec.20078951e.2021.206.69732>
- Moran Bañuelos, S. H., Soriano Robles, R., y Ramírez Romero, G. (2014). Diversidad biológica en el agroecosistema periurbano del amaranto en el Distrito Federal, México. En E. Guzmán Gómez, G. Espinosa Damián, y R. Diego Quintana (eds.), *Alternativas y transformaciones en el manejo de recursos naturales* (pp. 41-61). Asociación Mexicana de Estudios Rurales, [AMER]. <https://agua.org.mx/biblioteca/alternativas-y-transformaciones-en-el-manejo-de-recursos-naturales-volumen-iii-hacia-la-identificacion-de-la-gobernanza-local-del-agua-en-localidades-indigenas-de-la-sierra-nororiental-de-puebla/>
- Mundler, P., y Rumpus, L. (2012). La route des paniers: réflexions sur l'efficacité énergétique d'une forme de distribution alimentaire en circuits courts. *Cahiers de Géographie Du Québec*, 56(157), 9-264. <https://doi.org/10.7202/1012220ar>
- Muñoz Torres, M. J., Fernández-Izquierdo, M. Á., Ferrero-Ferrero, I., Escrig-Olmedo, E., y Rivera-Lirio, J. M. (2022). Transitioning the agri-food system. Does closeness mean sustainability? how production and shipping strategies impact socially and environmentally. Comparing Spain, South Africa and U.S. citrus fruit productions. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46(4), 540–577. <https://doi.org/10.1080/21683565.2022.2039835>
- Norma Internacional ISO 14040:2006. Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>
- Norma Internacional ISO 14064-1:2018. Gases de efecto invernadero — Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14064:-1:ed-2:v1:es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). *Memoria del Taller de intercambio de experiencias en cadenas cortas agroalimentarias*. FAO. <https://www.fao.org/documents/card/en?details=ff430a91-5825-4499-bcf4-66d8a0d62cc6>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). *Guía para el desarrollo de mercados de productores*. Proyecto “Creación de cadenas cortas agroalimentarias en la Ciudad de México”. FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8096es>
- Orialnitak (2025). *Estufas de inducción: ¿Ahorro real de energía?* <https://orialnitak.es/consumo-estufa-de-induccion/>
- Padilla, R., y Oddone, N. (2014). *Manual para el fortalecimiento de la cadena de valor*. Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola [FIDA], y Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40662>
- Pérez-Vega, A., Regil García, H. H., y Mas Caussel, J. F. (2020). Degradación ambiental por procesos de cambios de uso y cubierta del suelo desde una perspectiva espacial en el estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas*, 103, e60150. <https://doi.org/10.14350/rig.60150>
- Petti, L., Raggi, A., De Camillis, C., Matteucci, P., Sára, B., y Pagliuca, G. (2006). Life cycle approach in an organic wine-making firm: an Italian case-study. En *Fifth Australian Conference on Life Cycle Assessment “Achieving Business Benefits from Managing Life Cycle Impacts”*. Australian Life Cycle Assessment Society. Melbourne. <https://ricerca.unich.it/handle/11564/130384>
- Ramírez Reyes, C. (2020). *Sustitución de proteína animal en albóndigas a partir de harina de amaranto, lentejas y algas nori*. Universidad de los Andes. <http://hdl.handle.net/1992/48897>
- Renting, H., Schermer, M., y Rossi, A. (2012). Building food democracy: Exploring civic food networks and newly emerging forms of food citizenship. *The International Journal of Sociology of Agriculture and Food*, 19(3), 289–307. <https://doi.org/10.48416/ijsa.v19i3.206>
- Rodrigues Viana, L., Dessureault, P.-L., Marty, C., Boucher, J.-F., y Paré, M. C. (2023). Life cycle assessment of oat flake production with two end-of-life options for agro-industrial residue management. *Sustainability*, 15(6), 5124. <https://doi.org/10.3390/su15065124>
- Rodríguez-Fernández, Y., Abreu-Ledón, R. y Franz, M. (2019). Mapeo del Flujo de Valor para el análisis de sostenibilidad en cadenas de suministro agroalimentarias. *ingeniería Industrial*, 40(3), 316-328. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59362019000300316
- Romero-López, A. R., y Ramos, F. M. (2017). Understanding the linkages between small-scale producers and consumers through the analysis of short food supply chains in a local market in Nopala de Villagrán, Hidalgo, Mexico. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 14(79), 1- 16. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr14-79.ulsp>
- Salomone, R., y Ioppolo, G. (2012). Environmental impacts of olive oil production: A Life Cycle Assessment case study in the province of Messina (Sicily). *Journal of Cleaner Production*, 28, 88–100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.004>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER].

- (2020a). *Amaranto, un cultivo ancestral y de alto valor nutricional.* <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/amaranto-un-cultivo-ancestral-y-de-alto-valor-nutricional?idiom=es>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER]. (2020b). *Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2020-2024 (SADER-NIS-0507).* Normateca SADER. <https://normateca.agricultura.gob.mx/programa-sectorial-de-agricultura-y-desarrollo-rural-2020-2024-sader-nis-0507>
- Secretaría de Energía y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [SENER], y Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía [CONUEE]. (2025). *Initiativas para el aprovechamiento térmico solar y de la eficiencia energética en el sector servicios. Balance 2007 – 2023.* SENER y CONUEE. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/993226/IATSEESS.pdf>
- Secretaría de Pueblos y Barrios Originarios y Comunidades Indígenas Residentes [SEPI]. (2017). *Con equipo y herramientas Sederec contribuye al ciclo productivo del amaranto.* <https://www.sepi.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/con-equipo-y-herramientas-sederec-contribuye-al-ciclo-productivo-del-amaranto>
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta [SIACON]. (2023). *Reporte. Módulo Agrícola. SADER y SIAP.* <https://www.gob.mx/agricultura/dgsiap/prensa/sistema-de-informacion-agroalimentaria-de-consulta-siacon?idiom=es>
- Tolentino Martínez, J., y Martínez Salvador, L. (2021). Gobernanza y arreglos institucionales para la revalorización de cultivos agroalimentarios: el caso del amaranto en la región centro en México. En G. Torres Salcido, y R. M. Larroa Torres, (coord.), *Gobernanza y desarrollo territorial. Sistemas agroalimentarios localizados. Análisis y políticas públicas.* (pp. 221-254.) CIALC- UNAM. <https://librosoa.unam.mx/handle/123456789/3424>
- Torrellas, M., Antón, A., López, J. C., Baeza, E. J., Pérez Parra, J., Muñoz, P., y Montero, J. I. (2012). LCA of a tomato crop in a multi-tunnel greenhouse in Almeria. *The International Journal of Life Cycle Assessment,* 17(7), 863-875. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0409-8>
- Torres Salcido, G. (2022). Gobernanza territorial y anclaje de los alimentos. Los Sistemas Agroalimentarios Localizados (Sial). En L. B. Montes de Oca Barrera, y L. E. Martínez Salvador (eds.), *Caminos de la gobernanza en México. Avances, pausas, obstáculos y retrocesos* (pp. 127–158). Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. <https://www.iis.unam.mx/caminos-de-la-gobernanza-en-mexico-avances-pausas-obstaculos-y-retrocesos/>
- United States Department of Agriculture [USDA]. (2025). *Corn and other feed grains - Feed grains sector at a glance.* <https://www.ers.usda.gov/topics/crops/corn-and-other-feed-grains/feed-grains-sector-at-a-glance>
- Vitali, A., Grossi, G., Martino, G., Bernabucci, U., Nardone, A., y Lacetera, N. (2018). Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 98(14), 5518–5524. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9098>