



**COLEGIO DE
POSTGRADUADOS**



CONAHCYT

CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS



Huella de Carbono en los Sistemas de Producción de Café Bajo Sombra

Adán Villa Herrera • Martín A. Bolaños González • José M. Salvador Castillo • Luz M. Ramírez Armas



Programa Mexicano del Carbono

RED TEMÁTICA DEL CONAHCYT





HUELLA DE CARBONO EN LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ BAJO SOMBRA

Adán Villa Herrera
Martín A. Bolaños González
José M. Salvador Castillo
Luz M. Ramírez Armas

Autores:

Autores:

Adán Villa Herrera

Martín A. Bolaños González

José M. Salvador Castillo

Luz M. Ramírez Armas

ISBN: 978-607-99797-6-8



Se prohíbe la reproducción parcial o total de esta obra, por cualquier medio.

Diseño Gráfico: Oscar J. Velázquez R.

Contenido

1	¿Qué es la Huella de Carbono	1
2	¿Qué actividades emiten GEI e incrementan la Huella de Carbono en la cadena productiva del café?	3
2.1	Adquisición y transporte de semillas para vivero	4
2.2	Almacigo	5
2.3	Vivero	6
2.4	Siembra	7
2.5	Manejo de la parcela	8
2.6	Cosecha	8
2.7	Despulpado	9
2.8	Fermentación del café despulpado	9
2.9	Lavado del café fermentado	10
2.10	Secado y obtención del café pergamino	11
2.11	Trillado	11
2.12	Tostado	12
2.13	Molido	13
2.14	Empaquetado	13
3	¿Por qué es importante disminuir la Huella de Carbono?	15
4.	¿Cómo los sistemas de producción de café bajo sombra ayudan a disminuir la Huella de Carbono?	17
5	Fermentación de Café	21
	Agradecimientos	23
	Literatura Citada	23



¿Qué es la Huella de Carbono?

1



La Huella de Carbono

El cambio climático (CC), asociado al aumento de la temperatura superficial del planeta, representa un reto global de creciente preocupación. Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente producto de actividades humanas, están causando el incremento de la temperatura de la superficie del planeta, que alcanzó 1.1°C por encima del período 1850-1900 en 2011-2020 (IPCC, 2023). Así, de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC, 1994), el CC se entiende como una variación atribuible, ya sea directa o indirectamente, a la actividad humana, que altera la composición atmosférica mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2013).

Los GEI son aquellos gases presentes en la atmósfera, de origen natural o antropogénico, capaces de atrapar radiación de onda larga (térmica) emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes (IPCC, 2013). Esta radiación se reemite posteriormente en todas direcciones, una porción importante regresa a la superficie terrestre, provocando lo que conocemos como “efecto invernadero”, que a su vez es causa del CC. Estos gases incluyen, en orden de importancia por su efecto en el calentamiento global, el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), y gases traza como los hidrofluorocarbonos (HFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6) (Ritchie *et al.*, 2020).

Estos GEI se diferencian en su capacidad para absorber energía y en sus tiempos de residencia en la atmósfera, por lo que tienen un potencial de calentamiento global (PCG) específico (Vallero, 2019). Para convertir gases distintos del CO_2 en sus equivalentes se multiplica su masa (por ejemplo, los kilogramos de metano emitidos) por su PCG (Ritchie *et al.*, 2020). De esta forma, se contabiliza el total del GEI emitidos, midiendo de manera estándar

su efecto. Dentro de este contexto, la “huella de carbono” (HC) emerge como un indicador esencial para dimensionar y entender el impacto que tenemos en el CC. Pandey *et al.* (2011) define la HC como la cantidad de emisiones de GEI a la atmósfera por parte de un individuo, organización, proceso, producto o evento dentro de un límite específico. Esta forma de medir las emisiones las hace fácilmente comparables entre sí y, por lo tanto, facilita la toma de decisiones para disminuir nuestro impacto.

En una cadena productiva, la HC hace referencia a la suma de GEI emitidos, ya sea por un individuo, organización, proceso o durante el ciclo de vida de un producto. Existen diversas interpretaciones de la HC, algunas se centran solo en las emisiones directas de CO_2 , mientras que otras abordan una perspectiva más integral, considerando todo el ciclo de vida de las emisiones de GEI: desde la obtención de materias primas hasta el destino final del producto, incluyendo su embalaje (Schneider y Samaniego, 2010; Wiedmann y Minx, 2007). Estas emisiones surgen de diversas fuentes, como la generación y consumo de electricidad, consumo de combustibles

fósiles, operaciones de transporte, y otros procesos industriales y agrícolas (García, 2013). En la investigación agronómica, este indicador ha recibido gran atención en los últimos años, dado su valor para evaluar el desempeño ambiental de un determinado cultivo, producto agrícola o sistema de cultivo e identificar los procesos con mayor oportunidad de mejora (Liu *et al.*, 2022).

Este documento brinda una perspectiva sobre la HC en la producción de café orgánico, tomando como estudio de caso a la sociedad cooperativa Comon Yaj Noptic, localizada en el municipio de La Concordia, Chiapas. Aquí, se describe cada fase del proceso productivo, desde el manejo de las plantaciones, la recolección de café cereza, su transformación a pergamino, su tostado y molienda, hasta el empaque (Figura 1). Al entender y dimensionar las emisiones de GEI en cada etapa, no solo se reconoce el compromiso ecológico de la sociedad cooperativa Comon Yaj Noptic, sino que también se subraya la relevancia de adoptar prácticas sustentables en el sector cafetalero, enfatizando la contribución positiva de la producción de café orgánico bajo sombra en la lucha contra el cambio climático.

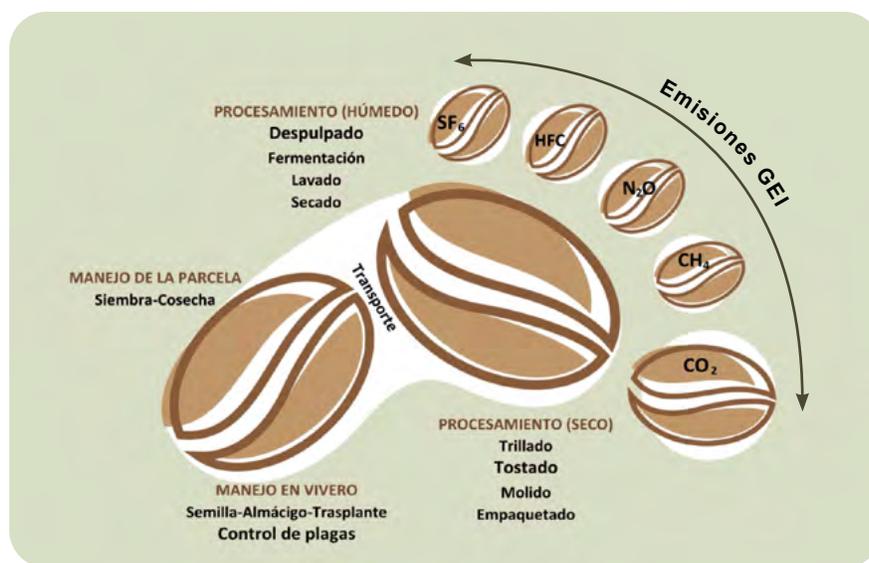


Figura 1. Procesos y actividades que involucra la medición de la huella de carbono y los principales GEI emitidos en la cadena productiva del café.

¿Qué actividades emiten
GEI e incrementan la
Huella de Carbono
en la cadena productiva
del café?

2

A lo largo de la cadena productiva del café (Figura 2), diversas etapas y actividades contribuyen a la emisión de GEI. A continuación, se detallan estas etapas y se especifican los GEI asociados con cada una de ellas.



Figura 2. Etapas del ciclo productivo de café, desde el semillero hasta la obtención de café pergamino.

2.1 Adquisición y transporte de semillas para vivero

La adquisición de semillas para la producción de nuevas plantas de café requiere de su movilización desde sus puntos de origen hasta los lugares de plantación, generando emisiones por el consumo de combustible de los medios de transporte utilizados (Figura 3). Estas emisiones pueden tener un impacto acumulativo significativo, si las distancias son grandes. Así, es esencial considerar y optimizar la

logística relacionada con el transporte de semillas, buscando minimizar las emisiones asociadas a esta etapa.

Los posibles GEI emitidos durante esta etapa incluyen dióxido de carbono (CO₂) y óxido nítrico (N₂O), emitidos por el uso de combustibles fósiles. Para disminuir las emisiones asociadas con el transporte de semillas, se pueden considerar las siguientes estrategias:

- Planificar las rutas de transporte para reducir la distancia total recorrida y evitar áreas congestionadas.
- Emplear vehículos que tengan un mejor rendimiento de combustible.
- Si es posible, adquirir semillas de proveedores locales para reducir la distancia de transporte.



Figura 3. Selección de semilla para almácigo.

2.2 Almácigo

La elaboración de un almácigo consiste en preparar un espacio o estructura para la germinación de las semillas de café. Este proceso implica la adquisición de semillas de alta calidad, su siembra en sustratos ricos en nutrientes y un monitoreo constante

de la humedad, la luz y la temperatura para asegurar un alto porcentaje de germinación (Figura 4). Durante esta etapa, es posible emitir GEI por la producción y transporte de sustratos, la utilización de agua o la aplicación de insumos. Para disminuir estas emisiones,

se pueden emplear sustratos locales, reduciendo la necesidad de transporte y aplicar el riego de forma eficiente. Además, es esencial monitorear y controlar la aplicación de insumos para evitar excesos, que no solo incrementan las emisiones sino también los costos.



Figura 4. Almácigo de café.

2.3 Vivero

La elaboración de un vivero para plantas de café implica el establecimiento de un área designada para el crecimiento de plantas jóvenes antes de ser trasplantadas al campo. En el vivero, las plantas se benefician de un ambiente controlado y protegido, permitiéndoles desarrollar raíces

robustas y adaptarse de forma gradual a las condiciones externas (Figura 5). Durante esta fase, los GEI que se pueden emitir incluyen el dióxido de carbono (CO_2) proveniente de la utilización de maquinaria y herramientas; así como el metano (CH_4), producto de la descomposición de materia orgánica.

Para minimizar estas emisiones, se pueden implementar técnicas de compostaje eficiente que reduzcan las emisiones de metano. Además, se deben elegir ubicaciones estratégicas para los viveros, de manera que se reduzca el uso de transporte.



Figura 5. Vivero de plantas de café.

Control en el manejo de plagas y enfermedades en vivero:

El exceso de humedad y de sombra, así como el uso de estiércol sin compostear, y en general la falta de atención y cuidado en el manejo del sustrato, provocan la aparición de hongos. Para prevenir este problema,

se debe usar un sustrato desinfectado y procurar que el vivero tenga un buen drenaje. Si eso no es suficiente, entonces se pueden hacer aplicaciones de fungicida a base de cobre, el cual está permitido por las normas de la

producción orgánica. La aplicación de algún producto para controlar plagas y enfermedades contribuye a la emisión de GEI.

2.4 Siembra

Se refiere al proceso de trasplantar las plantas jóvenes, cultivadas en viveros, a las parcelas donde continuarán su crecimiento (Figura 6). Durante esta etapa, los GEI que se pueden emitir incluyen dióxido de carbono (CO_2), producto del uso de combustibles

fósiles (gasolina o diésel) utilizados por los vehículos que transportan las plantas desde el vivero hasta la parcela; así como metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) que pueden ser liberados debido a la descomposición de materia orgánica y a la aplicación de fertilizantes,

respectivamente. Para mitigar estas emisiones, se pueden optimizar las rutas de transporte para reducir la distancia y, por ende, la cantidad de combustible utilizado. Asimismo, se pueden promover la aplicación de abonos orgánicos para enriquecer el suelo.



2.5 Manejo de la parcela

Esta actividad implica una serie de prácticas agrícolas destinadas a optimizar la salud, el crecimiento y la productividad de las plantas de café. Estas labores comprenden la poda, el control de malezas, la fertilización (orgánica o mineral), y el control de

plagas y enfermedades (Figura 7). Durante esta etapa, los principales GEI emitidos son el dióxido de carbono (CO_2), resultado del uso del uso de combustibles utilizados en el transporte; el metano (CH_4), liberado por la descomposición de materia

orgánica; y el óxido nitroso (N_2O), por la aplicación de fertilizantes que incluyan nitrógeno. Para reducir estas emisiones, se puede adoptar el uso de abonos orgánicos, así como métodos biológicos para el control de plagas y enfermedades.



Figura 7. Labores de manejo en la parcela de café.

2.6 Cosecha

Consiste en recolectar los frutos maduros del cafeto en su punto óptimo de madurez para garantizar la calidad del grano (Figura 8). Durante esta etapa, se puede emitir dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), debido al uso de transporte para mover los granos desde el campo hasta los centros de procesamiento. También pueden presentarse emisiones indirectas asociadas con la descomposición de los frutos no recolectados. Para reducir estas emisiones, se podría optar por una gestión adecuada de los residuos orgánicos de la cosecha, para evitar su descomposición anaerobia y la generación de metano.



Figura 8. Cosecha de café cereza.

2.7 Despulpado

El despulpado de café es la primera etapa del beneficio húmedo, consiste en retirar la pulpa o cáscara que rodea el grano de café (Figura 9). Esta operación se realiza con máquinas despulpadoras y genera aguas residuales ricas en materia orgánica denominadas aguas

mieles. Durante su descomposición, estas aguas pueden emitir metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Además, el uso de maquinaria genera emisiones de dióxido de carbono (CO_2) derivadas del consumo de combustibles fósiles o energía eléctrica. Para minimizar estas

emisiones, es posible implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales que impidan la fermentación anaeróbica y optimizar el uso de las máquinas despulpadoras para que operen con la máxima eficiencia.



Figura 9. Despulpado de café en el beneficio húmedo.

Además, la pulpa seca o descompuesta puede ser empleada como una fuente de biomasa para la producción de combustible, como el biogás. Su alta concentración de materia orgánica la hace ideal para procesos de digestión anaeróbica, generando biogás que puede ser utilizado para producir

calefacción. Por otro lado, la pulpa de café, rica en nutrientes como nitrógeno y fósforo, es un ingrediente clave en la elaboración de abonos orgánicos. Cuando se composta adecuadamente, la pulpa se mezcla con otros materiales orgánicos para crear abonos beneficiosos que enriquecen el suelo, mejoran

su retención de agua y proporcionan nutrientes esenciales para las plantas. Estos dos usos, como fuente de energía y como componente de abonos orgánicos, resaltan la importancia de la gestión sostenible de la pulpa de café en la industria, fomentando prácticas amigables con el ambiente.

2.8 Fermentación del café despulpado

La fermentación del café tiene como objetivo eliminar el mucílago adherido a los granos (Figura 10). Durante este proceso, los granos de café se sumergen en agua y se dejan fermentar durante un

período de 12 a 48 horas, dependiendo de las condiciones ambientales. Esta fermentación puede emitir GEI como metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), debido a la descomposición

anaeróbica del mucílago. Para reducir estas emisiones, se debe controlar y optimizar el tiempo de fermentación, evitando fermentaciones prolongadas.

2.9 Lavado del café fermentado

El lavado busca eliminar los restos del mucílago y los residuos fermentativos de los granos, para ello, los granos se someten a un enjuague (Figura 11). Si bien la etapa de lavado en sí misma no es una fuente directa de emisiones de GEI, las aguas residuales resultantes, ricas en materia orgánica, pueden generar metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) al descomponerse en condiciones anaeróbicas. Para minimizar estas emisiones, se puede optimizar el uso del agua, reutilizando y recirculando el agua en el proceso, para disminuir la cantidad de aguas residuales generadas.



Figura 10. Fermentado de café despulpado.



Otra opción viable es realizar el beneficio mediante el un proceso semiseco o *honey*, que disminuye notablemente el uso de agua. Sin embargo, es necesario considerar otros factores antes de adoptar este tipo de

beneficiado, ya que implica cambios sustanciales en las operaciones tradicionales de los productores de café. Por lo que se requiere de su aceptación y de capacitación previa, esto garantiza que la calidad del producto final no

se vea comprometida, preservando así los estándares de excelencia para no disminuir la calidad en taza del producto.

2.10 Secado y obtención del café pergamino

El proceso de secado sirve para convertir el grano húmedo en café pergamino (Figura 12). Esta técnica aprovecha la energía solar, extendiendo los granos en patios o superficies planas donde el calor directo del sol reduce el contenido de humedad del café hasta un nivel adecuado

para su almacenamiento (12 %). Una vez el café ha alcanzado el nivel de humedad deseado, se introduce en sacos para transportarlos a su siguiente destino. Aunque el secado al sol es una técnica con bajo impacto ambiental en comparación con los secadores mecánicos, el transporte de los sacos

de café genera emisiones de GEI. Para reducir estas emisiones, se puede optimizar la logística de transporte, maximizando la capacidad de los vehículos para disminuir el número de viajes.



2.11 Trillado

Durante el trillado del café pergamino se retira la capa externa dura, conocida como pergamino, para obtener el grano de café verde (Figura 13). Este procedimiento se realiza utilizando máquinas trilladoras. En términos de emisiones de GEI asociadas con el trillado se encuentra

el consumo energético, si esta energía proviene de fuentes fósiles (motores de combustión interna), se generará dióxido de carbono (CO_2) de manera directa; en cambio, si se utiliza energía eléctrica (motores eléctricos) se consideran emisiones indirectas (emitidas al momento de generar esta

energía). Además, se pueden generar emisiones indirectas de GEI por el mantenimiento y operación de las trilladoras. Para minimizar las emisiones de GEI durante esta etapa, se debe mantener las trilladoras en buen estado para reducir el consumo energético y las emisiones indirectas.



Figura 13. Trillado y su residuo cascarilla.

2.12 Tostado

El tostado transforma los granos verdes en los aromáticos y marrones que se consumen (Figura 14). Durante este proceso, los granos de café se calientan a temperaturas elevadas en un tueste controlado, desencadenando una serie de reacciones químicas que desarrollan el sabor y el aroma

del café. Cuando se utiliza gas para alimentar los tostadores, se generan GEI como dióxido de carbono (CO_2), que es el principal GEI emitido durante la combustión de gas natural. También se genera metano (CH_4), en menor cantidad que el CO_2 , durante la combustión incompleta del gas. Para

disminuir las emisiones de GEI durante el tostado del café con gas se debe garantizar una combustión completa y eficiente en los tostadores. También, asegurarse de que los tostadores estén en buen estado y sean eficientes puede reducir el consumo de gas y, por lo tanto, las emisiones de GEI.



Figura 14. Tostado de café en área de torrefacción.

2.13 Molido

El molido consiste en transformar los granos tostados en un polvo fino o grueso, adecuado para diferentes métodos de preparación del café (Figura 15). Este proceso se realiza mediante molinos que fragmentan los granos según el grado de molido deseado, desde muy fino para espresso hasta más grueso para prensa francesa o métodos de filtrado. Durante la fase de molido, si se utilizan molinos eléctricos, los principales GEI asociados son el

dióxido de carbono (CO_2), emitido de forma indirecta debido al consumo de electricidad. Para disminuir las emisiones de GEI se pueden utilizar molinos que sean energéticamente eficientes, reduciendo así el consumo de electricidad. En este caso también es importante asegurarse de que los molinos estén en buen estado para ayudar a reducir el consumo energético, así como optimizar el proceso de molido.



Figura 15. Molido de café en área de torrefacción.

2.14 Empaquetado

Consiste en introducir el café ya procesado en envases diseñados para conservar la frescura, aroma y sabor del producto (Figura 16). Durante este proceso, se utilizan máquinas que sellan el café en envoltorios herméticos.

En esta etapa, los principales GEI que podrían emitirse son dióxido de carbono (CO_2) como resultado del consumo de electricidad de las máquinas de empaque. Para reducir las emisiones de GEI por esta actividad

se deben seleccionar y mantener máquinas de empaque eficientes para reducir el consumo eléctrico, así como elegir envases que tengan un menor impacto ambiental, como los reciclables o composteables.



Figura 15. Selladora y empaquetado del producto final de café molido



¿Por qué es importante disminuir la Huella de Carbono?

3



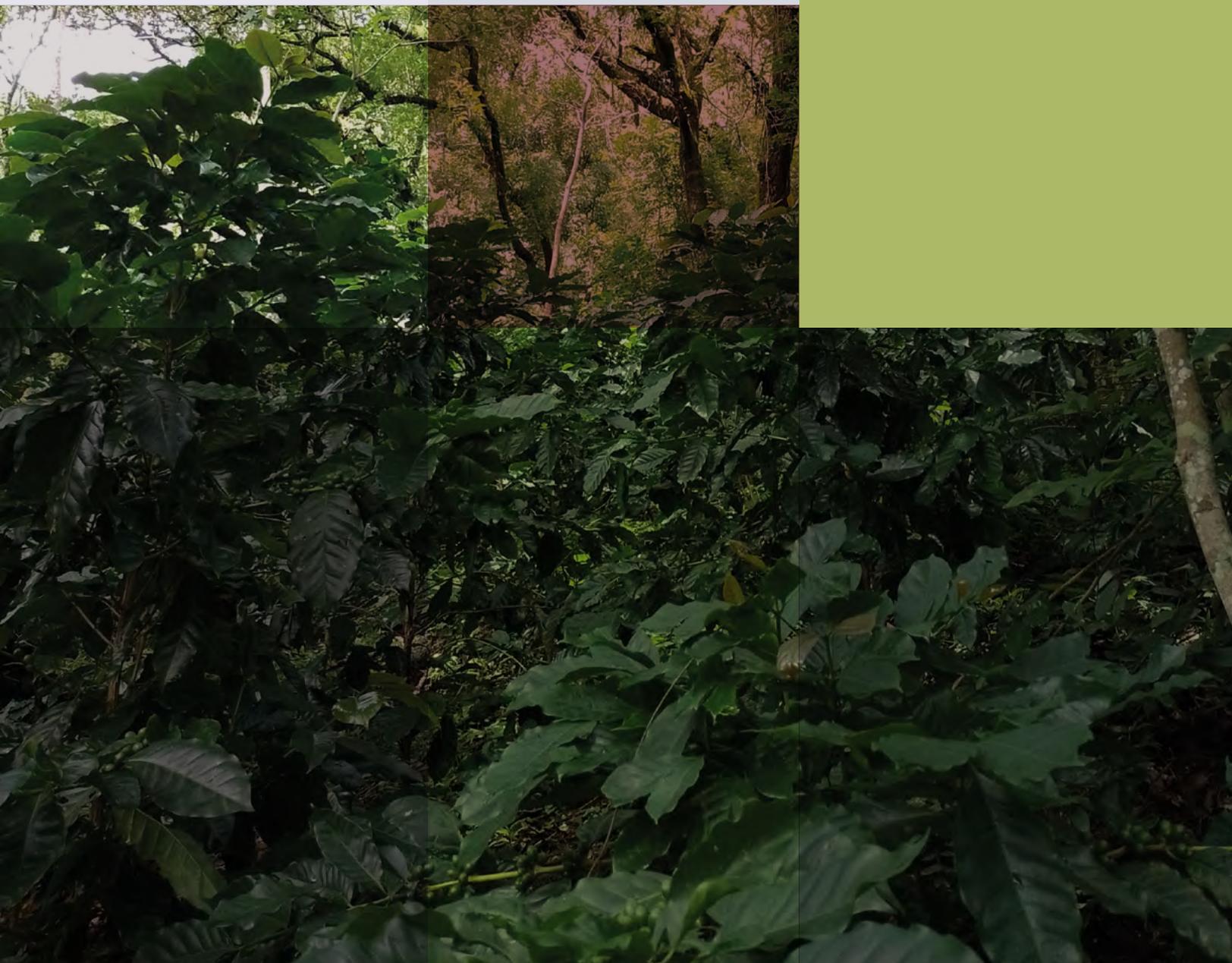
Disminuir la HC es esencial por múltiples razones:

- **Mitigación del cambio climático:** La principal causa del cambio climático es el incremento en la concentración de GEI en la atmósfera. Al reducir la HC, se disminuyen las emisiones de estos gases, especialmente el CO₂, que es el más predominante. Este paso es crucial para atenuar el aumento de la temperatura global y la alteración de los patrones climáticos.
- **Conservación de la biodiversidad:** Una menor HC conlleva a una reducción en la alteración de ecosistemas y destrucción de hábitats, protegiendo así la biodiversidad.
- **Sostenibilidad:** Las acciones que generan una elevada HC agotan los recursos naturales más rápido. Reducir nuestra HC significa aprovechar estos recursos de manera sostenible, asegurando su disponibilidad para futuras generaciones.
- **Salud humana:** Una HC reducida conlleva a una menor contaminación del aire, previniendo enfermedades respiratorias y cardiovasculares.
- **Responsabilidad y economía:** Desde una perspectiva empresarial, reducir la HC no solo cumple con responsabilidades socioambientales, sino que también puede conducir a ahorros económicos, dada la mejora en la eficiencia energética y la reducción de desperdicios.
- **Información y políticas:** Medir y reducir las emisiones de GEI permite a las empresas identificar ineficiencias y riesgos. Esta información es vital para que los gobiernos desarrollen políticas climáticas y para que consumidores y proveedores tomen decisiones informadas.
- **Competitividad:** Cumplir con regulaciones y tener un producto con baja HC puede ser un diferenciador competitivo en el mercado.

En resumen, reducir la HC es una medida integral que beneficia al medio ambiente, a la salud humana, a las economías, y fortalece la responsabilidad social y competitividad de las empresas.

¿Cómo los sistemas
de producción de
café bajo sombra
ayudan a disminuir
la Huella de Carbono?

4



Los sistemas de producción de café bajo sombra (Figura 17, Figura 18 y Figura 19) son esenciales en la lucha contra el cambio climático y la reducción de HC por las siguientes razones:

- Captura de carbono: Estos cafetales actúan como sumideros de carbono, absorbiendo bióxido de carbono presente en la atmósfera mediante el proceso de fotosíntesis, lo que contribuye directamente a mitigar el cambio climático.
- Regulación ambiental: Al ofrecer sombra, se crea un microclima favorable que beneficia el crecimiento de raíces, ramas, hojas y frutos, no solo del café, sino de toda la biodiversidad presente en el cafetal.
- Diversidad de ingresos: Los agroecosistemas de cafetales bajo sombra no solo producen café, sino que también ofrecen madera, leña y otros frutos, generando diversas fuentes de ingreso y ahorro para las familias.
- Refugio de la biodiversidad: Estos sistemas sirven de hábitat y refugio para diversas especies de fauna, fomentando la biodiversidad y ofreciendo beneficios ecológicos.
- Resiliencia climática: Los cafetales bajo sombra protegen los cultivos contra eventos climáticos extremos como sequías y tormentas fuertes. Además, actúan como barreras naturales contra la erosión del suelo y los deslizamientos de tierra, fortaleciendo la salud y estabilidad del ecosistema.

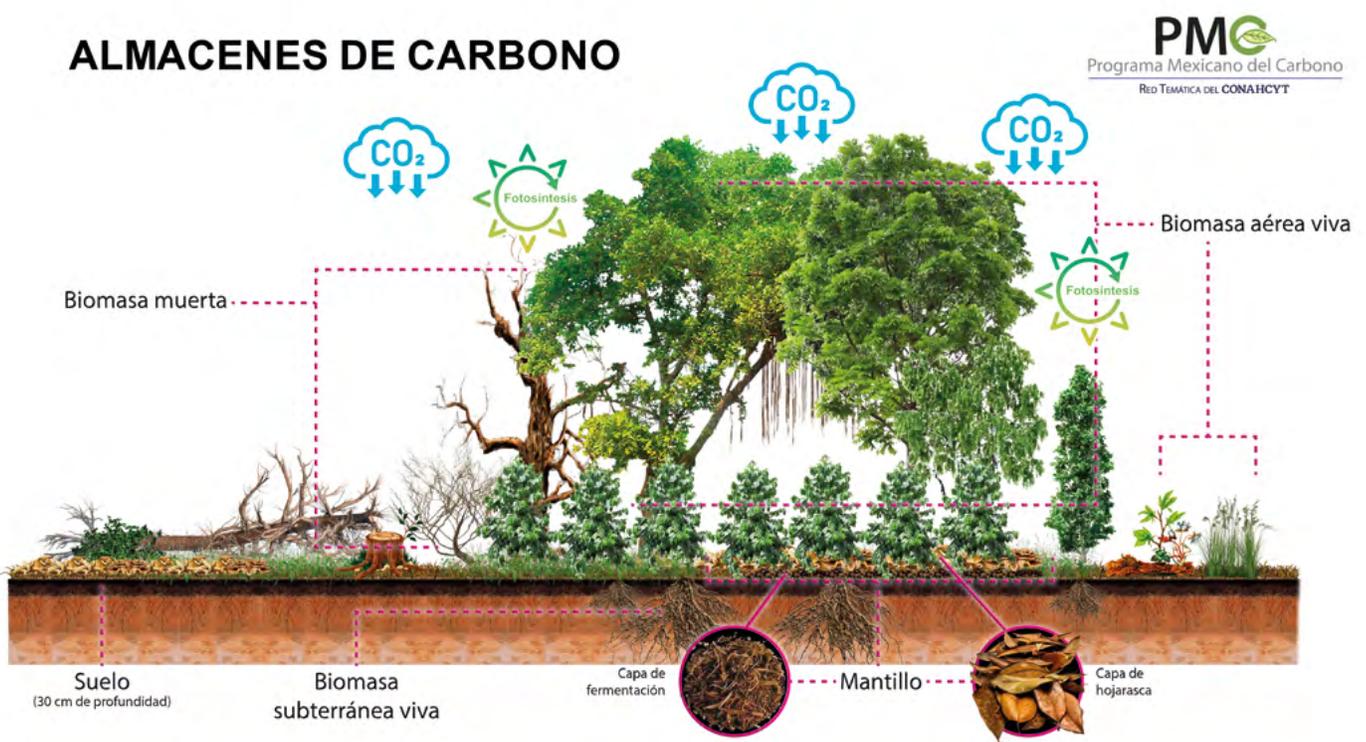


Figura 17. Almacenes de carbono en un sistema agroforestal de café.

De esta manera, los cafetales bajo sombra no solo contribuyen a disminuir la HC de esta actividad mediante la captura de carbono, sino que también ofrecen beneficios ambientales, económicos, ecológicos, sociales y culturales.



Figura 18.
Sistema Agroforestal de café.

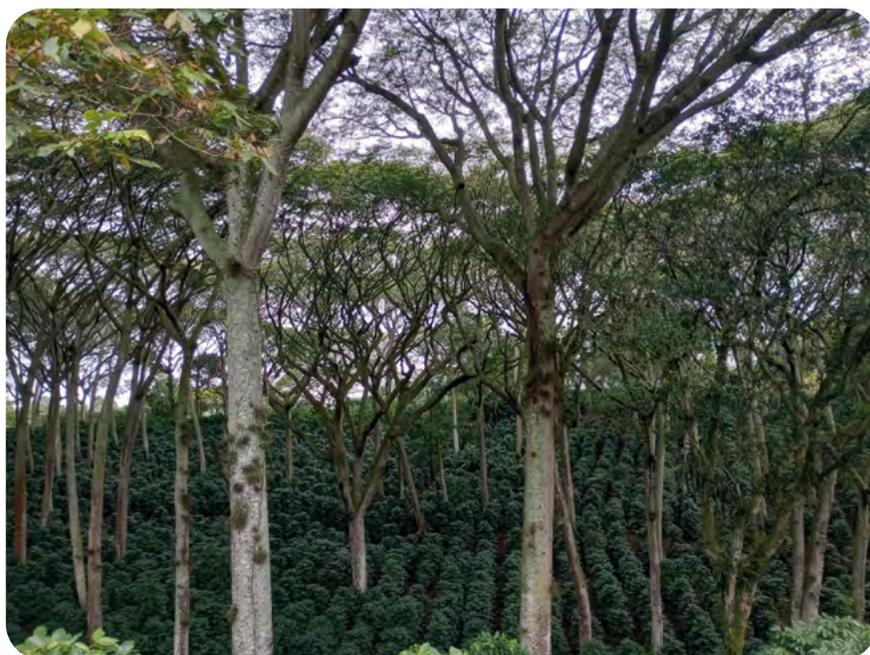


Figura 19.
Sistema Agroforestal de café.



¿Qué acciones se pueden
implementar en los
sistemas de producción
de café bajo sombra para
disminuir la Huella de
Carbono?

5



Para combatir de manera eficiente el cambio climático y reducir la HC en los sistemas de producción de café bajo sombra, se pueden implementar las siguientes acciones:

- **Evitar la deforestación:** Es esencial abstenerse de cambiar el uso del suelo por medio de la deforestación o disminución excesiva de la cobertura arbórea. Esto preserva los sumideros de carbono naturales y protege la biodiversidad.
- **Regeneración natural:** Fomentar la regeneración natural en zonas deterioradas, especialmente cerca de ecosistemas como ríos, manantiales y humedales, fortaleciendo así la barrera natural de estos hábitats.
- **Uso de especies nativas:** Se deben preferir especies autóctonas tanto para proporcionar sombra al café como para salvaguardar y mejorar el ecosistema circundante.
- **Incorporación de árboles:** Plantar árboles o especies leñosas en la parcela, en bordos, cercas o áreas no utilizadas, ya que se intensifica la captura de carbono y se enriquece la biodiversidad.
- **Mantenimiento de la sombra:** Sostener la sombra en los cafetales es vital. No sólo conserva la humedad y regenera nutrientes, sino que también protege el cultivo de elementos climáticos adversos, mejora la calidad del grano, mantiene la fertilidad y combate la erosión del suelo.
- **Créditos de carbono:** Implementar prácticas agrícolas sostenibles puede llevar a la generación de créditos de carbono. Estos créditos, tras rigurosos procesos de monitoreo, reporte y verificación, pueden representar ingresos adicionales para los productores de café y posicionar a los cafés de México a nivel internacional.

Estas actividades, no sólo contribuyen a disminuir la HC, sino que también podrían potenciar la sostenibilidad de las regiones cafetaleras, garantizando un café de calidad y respetuoso con el ambiente.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más sincero agradecimiento a las sociedades cooperativas de café orgánico, **Comon Yaj Noptic S.P.R. de R.L.** y **Mujeres en acción para el desarrollo sustentable, A.C. (Café Metik)**, por su invaluable colaboración y apoyo en la creación del folleto informativo titulado “Huella de carbono en los sistemas de producción de café bajo sombra”. Su compromiso, experiencia y conocimiento en la producción de café orgánico han sido fundamentales para enriquecer este proyecto y brindar información valiosa a los productores, contribuyendo así al fomento de prácticas amigables con el ambiente en la industria cafetalera.

Literatura citada

- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. 1994. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/doc_ncc_un_convencion.aspx#para2
- García, G. (2013). Departamento del medio ambiente de AB. Azucarera iberia del medio ambiente de la AEC, 8p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2013). Glosario. In S. (ed.)). [Planton (Ed.), Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nau. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity. In *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis* (p. 923–1054). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>
- Liu, C., D. Plaza-Bonilla, J. A. Coulter, H. R. Kutcher, H. J. Beckie, L. Wang and Y. Gan. (2022). Diversifying crop rotations enhances agroecosystem services and resilience. In *Advances in Agronomy* 173:299–335. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.007>
- Pandey, D., M. Agrawal and J.S. Pandey. (2011). Carbon footprint: current methods of estimation. *Environ Monit Assess* 178:135–160. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1678-y>
- Ritchie, H., Rosado, P. and M. Roser. (2020). Greenhouse gas emissions. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>.
- Schneider, S. (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. LC/W.298. Copyright © Naciones Unidas. Todos los derechos reservados. Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile. 46 p.
- Vallero, D. A. (2019). Air pollution biogeochemistry. In *Air Pollution Calculations* (p. 175–206). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814934-8.00008-9>
- Wiedmann, T. and J. Minx. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA Reino Unido Research Report. 07-01. ISA Reino Unido Research & Consulting.







ISBN: 978-607-99797-6-8



9 786079 979768



**COLEGIO DE
POSTGRADUADOS**



CONAHCYT
CONSEJO NACIONAL DE HUMANIDADES
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

PM
Programa Mexicano del Carbono
RED TEMÁTICA DEL CONAHCYT