





Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el tostado de café: Un enfoque innovador y sostenible

Marisol, Lima-Solano, Marisol¹; Morales-Ramos, Victorino¹
Córdoba-Mora, Yazmín Rubí²; Contreras-Oliva, Adriana^{1*}

¹ Colegio de Postgraduados – Campus Córdoba. Programa de Innovación Agroalimentaria Sustentable. Km. 348. Carretera Córdoba-Veracruz. Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C.P. 94953.

* Autor de correspondencia: adricon@colpos.mx

Problema

El tueste de café (*Coffea arabica* L.) es un proceso esencial que transforma los granos verdes en un producto listo para la infusión, modificando sus propiedades químicas, físicas y sensoriales mediante reacciones térmicas. Durante este tratamiento, los granos se exponen a temperaturas entre 160 y 240 °C, con tiempos de tueste que varían entre 8 y 20 minutos, dependiendo de factores como la densidad, la humedad y el perfil deseado. Estas variaciones influyen en la calidad del café y plantean retos en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. En el caso de los tostadores a pequeña escala, se emplean distintos equipos, desde métodos artesanales hasta sistemas mecanizados que requieren fuentes de energía derivados de combustible fósiles.

El tostador de tambor rotatorio es uno de los más utilizados, ya que permite un control preciso de la temperatura y una distribución uniforme del calor. No obstante, la mayoría de estos equipos funcionan con gas debido a su capacidad para alcanzar rápidamente las altas temperaturas, generando emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Ante este escenario, resulta necesario comparar los diferentes equipos de tueste para evaluar alternativas más sostenibles. La identificación de indicadores ambientales que cuantifiquen estas emisiones permitirá desarrollar estrategias para reducir el impacto ambiental del proceso sin afectar la calidad del café tostado.

Solución planteada

Para enfrentar este reto, este proyecto plantea algunas alternativas sostenibles que contribuyan a la disminución de las emisiones de GEI y el impacto ambiental asociado al proceso de tostado de

Cómo citar: Lima-Solano, M., Morales-Ramos, V., Córdoba-Mora, Y. R., & Contreras-Oliva, A. Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el tostado de café: Un enfoque innovador y sostenible. *Agro-Divulgación*, 5(1). <https://doi.org/10.54767/ad.v5i1.411>

Editores académicos: Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza y Dr. Jorge Cadena Iñiguez.

Publicado en línea: Octubre, 2025.

Agro-Divulgación, 5(1). Enero-Febrero, 2025. pp: 53-59.

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International



café. Además, de ofrecer una alternativa de generación de ingresos al capacitarse en la valorización del café verde, transformándolo en café tostado con bajas emisiones de GEI.

Preparación y homogenización de la muestra

Antes de tostar el café, es esencial seleccionar cuidadosamente los granos evaluando el tamaño, densidad y contenido de humedad. De esta forma se asegura que todos los granos se tuesten de manera uniforme, lo que mejora la calidad del café y reduce el consumo de energía. Esto disminuye las emisiones de GEI, ya que un tueste homogéneo requiere menos tiempo y calor. Para lograrlo, se deben seguir estos pasos clave:

- Toma de muestra representativa y pesaje inicial: Se extrae una muestra representativa del lote de café, según la Specialty Coffee Association (SCA), el tamaño recomendado de las muestras de café oro es de 350 g para realizar el análisis físico. Posteriormente, la muestra se pesa para establecer un valor base antes de iniciar cualquier proceso, asegurando que el análisis sea preciso y consistente (Figura 1a).
- Clasificación por tamaño (tamizado): Se utiliza un conjunto de mallas con diferentes tamaños de poro (14-18 mm) para clasificar los granos según su diámetro y asegurar homogeneidad en el tueste (Figura 1b).
- Eliminación de granos defectuosos: Se identifican, separan y clasifican granos defectuosos (quebrados, inmaduros, fermentados o dañados). El porcentaje de granos defectuosos no debe superar el 5-7% (Figura 1c).
- Análisis de humedad: Se mide el contenido de humedad de los granos, asegurando que esté entre 10-12%. Granos con alta humedad ($>12\%$) requieren más energía para tostar y los granos con baja humedad ($<10\%$) podrían perder aceites y aromas esenciales, afectando el perfil sensorial del café (Figura 1d).

Niveles de tueste

El grado de tueste de café puede variar desde claro hasta oscuro, y cada uno tiene un impacto ambiental distinto. De acuerdo con los expertos, el tueste medio es el mejor ya que el café desarrolla mejores características de aroma y sabor, además de que tiene mayor eficiencia energética y menos emisiones de GEI (Figura 2). Este grado de tueste preserva los sabores característicos del café y mantiene una mayor concentración de ácidos clorogénicos, al tiempo que consume menos energía en comparación con un tueste oscuro. El

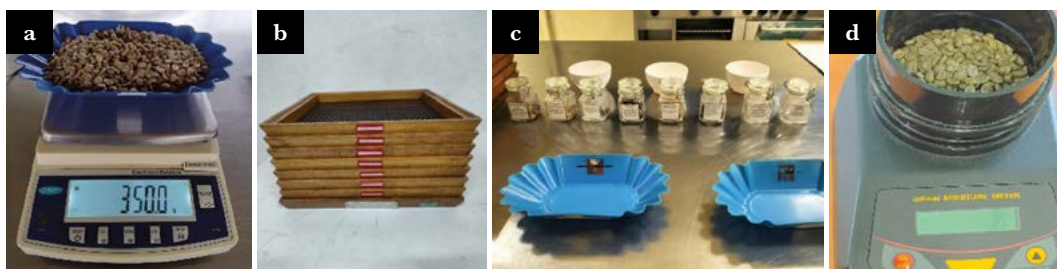


Figura 1. Pasos para el análisis físico del café.

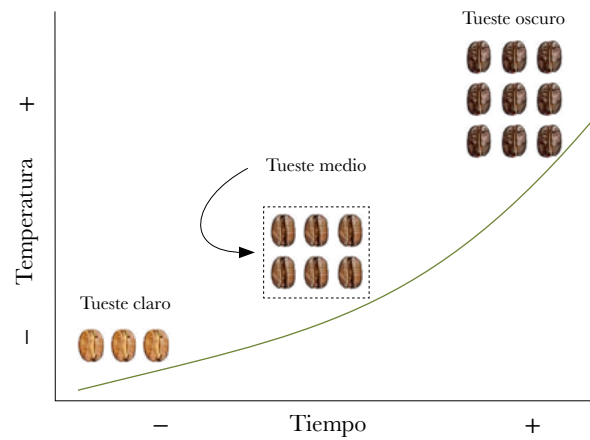


Figura 2. Correlación de temperatura y tiempo por tipo de tueste.

grado de tueste se midió con la escala AGTRON, un sistema que asigna un valor numérico según el color del grano tostado. En esta escala, los tuestes claros obtienen números altos, entre 75-95, los tuestes medios entre 55-65, mientras que los oscuros se encuentran en el rango bajo con 25-45.

Equipos de tostado

Se evaluaron dos tipos de tostadores de muestras, un tostador eléctrico (220 V) y un tostador convencional que utiliza gas LP y energía eléctrica (110 V). Cada uno tiene ventajas y desventajas en sistemas de precalentamiento, términos de eficiencia energética y emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO_2e). El tostador eléctrico puede ser una alternativa más limpia si se utiliza energía renovable, mientras que el tostador convencional, aunque más común, dependerá del tipo de gas utilizado (LP, natural, etc.) y del voltaje requerido (110 o 220 V), así como la fuente de energía para su generación. Esta evaluación es fundamental para que los productores puedan escoger la tecnología que mejor se adapte a sus necesidades, minimizando su impacto ambiental durante el proceso de tueste (Figura 3).



Figura 3. Tostadores utilizados en el proyecto: a) Tostador de gas LP de dos cabezas marca Promor y b) Tostador eléctrico de aire marca Cafemasy®.

Eficiencia energética

La eficiencia energética es esencial para reducir las emisiones de GEI durante el tostado del café, y esto depende de variables clave como la temperatura y el tiempo. Al optimizar estos factores, se logra disminuir la cantidad de energía necesaria para tostar el café sin comprometer su calidad. Un control preciso de la temperatura y el tiempo mejora el nivel de tueste y minimiza el consumo de energía, reduciendo las emisiones de GEI. Además, esta optimización puede generar ahorros económicos para los productores, reflejados en los recibos de consumo energético. La transición hacia tostadores más eficientes, ya sean a gas LP con electricidad (110 V) o eléctricos (220 V), hace que las prácticas sostenibles sean más viables y atractivas para los productores, favoreciendo tanto el medio ambiente como su rentabilidad (Figura 4).

Huella de carbono

En el estudio se compararon dos tecnologías de tostado: un tostador eléctrico (220 V) y otro que combina gas LP con energía eléctrica (110 V), siguiendo la fórmula para la estimación de la huella de carbono (Figura 5). Los resultados indicaron que, bajo las condiciones específicas del experimento, el tostador de gas LP generó aproximadamente un 40%



Figura 4. Seguimiento a las emisiones de GEI generadas por cada tostador, Monitoreo y registro de datos del consumo de energía a) del tostador de gas LP y b) del tostador eléctrico.

$$\begin{array}{c}
 \text{Footprint icon} \\
 \text{CO}_2
 \end{array}
 = \text{Datos de actividad} \times \text{Factor de emisión}$$

Figura 5. Ecuación para el cálculo de la huella de carbono.

menos de emisiones de GEI en comparación con el tostador eléctrico. Sin embargo, esta diferencia depende de factores como la eficiencia del equipo, el tipo de energía utilizada y la configuración del proceso de tostado. Por ello, es fundamental analizar cada sistema en función de sus características técnicas y operativas antes de establecer conclusiones generales sobre su impacto ambiental.

Retribución social

Los beneficios de este proyecto no se limitan al medio ambiente. La adopción de tecnologías y prácticas de tostado sostenibles puede mejorar la calidad de vida de las comunidades cafetaleras. Al reducir las emisiones, estamos contribuyendo a la protección de los recursos naturales de los que dependen estas comunidades. Además, al adoptar estas prácticas más sostenibles desde el beneficiado (seguimiento en el secado para controlar la humedad de los granos de café verde entre 10-12%) hasta el tostado (tueste medio para disminuir el tiempo de exposición a altas temperaturas, mantenimiento de los equipos y utilizar fuentes de energía menos contaminantes) los productores pueden acceder a mercados más exigentes, donde los productos sostenibles son mejor valorados y mejor remunerados. Esto fortalece la economía local y asegura que las futuras generaciones puedan continuar cultivando café en un entorno saludable y próspero.

El curso-taller titulado “Impacto ambiental del tostado de café” se realizó en dos ocasiones en el Área de Ciencia y Tecnología del Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, dirigido a productores de café, comercializadores y público en general de la Microrregión de Atención Prioritaria Centro. El objetivo principal fue sensibilizar a los participantes sobre los efectos ambientales del proceso de tostado del café. El taller se dividió en una sección teórica y tres prácticas. La parte teórica introdujo conceptos sobre cambio climático, GEI y cómo el tostado de café contribuye a la huella de carbono. La homogenización de granos y el tostado eléctrico se desarrollaron en el área de generación de nuevos productos y el tostado con gas LP en el laboratorio de análisis sensorial. A través de estas actividades, los asistentes adquirieron conocimientos técnicos sobre el proceso de tostado y entendieron la importancia de adoptar prácticas sostenibles para reducir su impacto ambiental (Figura 6).

Retribución social

Caso de éxito: Compromiso ambiental del productor Jorge de Gabriel Hernández

El Sr. Jorge de Gabriel Hernández, productor de café comprometido con el cuidado del medio ambiente, ha implementado prácticas agroecológicas en sus fincas para producir café de manera sostenible. Motivado por su interés en reducir las emisiones de GEI y minimizar su impacto ambiental, el Sr. De Gabriel adquirió un tostador eléctrico, con el objetivo de evaluar y comparar las emisiones generadas en comparación con las de su tostador a gas LP. Además de buscar mejorar la sostenibilidad de su producción, el Sr. De Gabriel comparte activamente sus hallazgos con las visitas que recibe en sus fincas, utilizando sus experiencias para crear conciencia sobre la importancia de elegir tecnologías más limpias en el proceso de tostado de café. Este esfuerzo por medir, comparar y comunicar el impacto ambiental de los distintos métodos de tostado lo convierte en un referente para otros pro-



Figura 6. Evidencia fotográfica de los cursos talleres impartidos.

ductores de café que desean reducir su huella de carbono y adoptar prácticas responsables en beneficio del medio ambiente y la sostenibilidad de sus cultivos (Figura 7).



Figura 7. Caso de éxito en la implementación de prácticas sostenibles y mejoras en eficiencia energética.

Agradecimientos

Este proyecto titulado: Tostado de café bajo en emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), fue financiado por el Colegio de Postgraduados a través de los Proyectos Internos en la convocatoria CONV_CCYR-HH_2024_25, derivada de la Convocatoria 2024-05 para apoyar proyectos de investigación e incidencia orientados a fortalecer el desarrollo, y/o identificación de prácticas de producción sostenible en el sector agropecuario y acuícola pesquero frente a los riesgos agroclimáticos (Acciones para la adaptación y mitigación al cambio climático y reducción de huella hídrica).

Innovación, impacto e indicadores

Nivel de Innovación	Descripción	Transferido	Impacto		Indicador General de Políticas Públicas	Indicadores Específicos	Subindicador
			Sector	Ámbito			
Procesos	Implementación de una nueva o significativa mejora de un método de producción o de suministro.	Asociaciones de Productores Productores independientes Comunidades Agrarias	Primario: Agricultura, Ganadería, Pesca, Explotación forestal, Minería	Social Económico Ambiental Conocimiento	Ciencia y Tecnología Económico Responsabilidad Ambiental	Competitividad Comercio Capacitación	Número de publicaciones Número de familias beneficiadas Empresas formadas Transferencias tecnológicas Desarrollo de productos y servicios para la sociedad Exportación incremento (%) Aplicación de técnicas y conocimientos tecnológicos para el desarrollo social y económico
Modelo de negocio	Creación o reinención de un negocio	Poblaciones en particular	Secundario: Actividades económicas que transforman las materias primas en productos elaborados (Agroindustria)				
Innovación sostenible	Desarrollo de productos y procesos que contribuyen al desarrollo sostenible		Procesos de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)				

