

Uriel de Jesús Cruz Calderón, Marcela Gaytán Martínez y Anai Zavala Franco



El papel del calentamiento óhmico del maíz, una tecnología emergente para un proceso sustentable

Resumen

El maíz es clave en la alimentación y en la cultura mexicanas. La nixtamalización tradicional mejora el valor nutricional del maíz, aunque consume una gran cantidad de agua y de energía. El calentamiento óhmico, en cambio, es una tecnología emergente que ofrece una alternativa rápida y uniforme que genera calor dentro del grano de maíz mediante el uso de electricidad, lo que hace el proceso más sustentable.

Abstract

Maize plays a key role in Mexican food and culture practices. The traditional nixtamalization process improves maize's nutritional value, but it requires a lot of water and energy. Ohmic heating, on the other hand, is an emerging method that uses electricity to heat the interior of maize grains, making the process faster, more even, and more sustainable.

Introducción

Desde la antigüedad, el maíz es y ha sido mucho más que un simple alimento. Para las civilizaciones mesoamericanas, como los mayas y los aztecas, este grano no sólo representó la base de su dieta, sino que estaba profundamente ligado a su ideología, rituales y economía. Hoy en día su importancia sigue intacta: el maíz es uno de los cereales más cultivados en el mundo, con diversas aplicaciones, aunque en México se utiliza principalmente para consumo humano. A lo largo del tiempo, la manera en que se transforma el maíz desde el grano hasta convertirse en alimento ha cambiado mucho. Algunos métodos, como la **nixtamalización**, han sido la base para el desarrollo de procesos industriales que buscan mejorar la eficiencia, aumentando la calidad y el rendimiento del grano. De esta manera, ha surgido una tecnología muy innovadora para procesar el maíz:

Nixtamalización

Proceso en el que el maíz es cocido en agua con cal, lo que facilita la digestión del grano y mejora su contenido de nutrientes.



el calentamiento óhmico. Esta tecnología hace uso de la electricidad para generar calor en el interior del alimento, por lo que revoluciona por completo la forma de cocinar y procesar al maíz. Su capacidad para reducir los tiempos de cocción, mejorar la calidad del producto y optimizar el uso de energía la convierte en una alternativa prometedora frente a los métodos tradicionales.

¿Qué hace del calentamiento óhmico una opción viable para la industria del maíz? ¿Cómo puede transformar la producción de harinas, tortillas y otros derivados? En las siguientes secciones se explorará cómo la combinación de un alimento ancestral como el maíz y una tecnología emergente puede marcar un antes y un después en la industria alimentaria.

El maíz y su transformación: de la nixtamalización a la innovación

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal de la familia Poaceae (poaceas o gramíneas, una familia de plantas como los cereales), reconocido por su alto rendi-

miento y versatilidad en la industria alimentaria. Su grano, estructuralmente complejo, está compuesto por tres partes principales: el endospermo, que representa aproximadamente el 82 % del peso del grano y es rico en almidón y proteínas; el germen, que constituye cerca del 12 % y contiene la mayor parte de los lípidos, vitaminas y minerales esenciales, y el pericarpio, la capa externa que protege al grano y aporta estructura en productos procesados, principalmente compuesta de fibra y una pequeña parte de lípidos.

Este cereal ha sido un alimento básico en diversas culturas y su procesamiento ha evolucionado con el tiempo para mejorar su calidad nutricional y sensorial. Uno de los métodos más utilizados para el procesamiento de este grano es la nixtamalización, un proceso ancestral que ha permitido mejorar las propiedades nutricionales y funcionales del maíz desde hace miles de años. Consiste en la cocción de los granos en una solución alcalina, generalmente agua con hidróxido de calcio (cal), seguida de un reposo, enjuague y molienda para la obtención de masa que se utiliza en la elaboración de tortillas y otros productos derivados (Figura 1).

Este proceso facilita la eliminación del pericarpio del grano y al mismo tiempo aumenta la biodisponibilidad de nutrientes esenciales como la niacina (vitamina B3) y disminuye aquellos **antinutrientes** como el ácido fítico (compuesto que inhibe la absorción de minerales en el ser humano). Además, la nixtamalización mejora la textura, sabor y aroma de la masa, favoreciendo su elasticidad y su capacidad de retención de agua, lo que resulta en productos con mejor calidad sensorial, como las tortillas.

A pesar de ello, la nixtamalización tradicional presenta desafíos significativos en términos de consumo de agua, generación de residuos y eficiencia energética. El proceso requiere grandes volúmenes de agua para la cocción y el enjuague del maíz, lo que genera un subproducto conocido como nejayote, un residuo alcalino que puede representar un problema ambiental si no se trata adecuadamente. Además, los tiempos de cocción prolongados significan mayor gasto económico y energético para los productores.

Antinutrientes

Sustancias que se encuentran de forma natural en los alimentos y que "bloquean" o dificultan que nuestro cuerpo aproveche al máximo los nutrientes de esa u otras comidas.



Figura 1. Nixtamalización tradicional. Imagen creada por los autores mediante ChatGPT.

Para resolver esta problemática, ha adquirido relevancia la incorporación de nuevas tecnologías que buscan optimizar el proceso de nixtamalización, reducir el consumo de agua y energía, y minimizar los residuos generados. Entre estas innovaciones, el calentamiento óhmico constituye una alternativa eficiente para llevar a cabo la nixtamalización de manera más rápida y sustentable, preservando —e incluso mejorando— las características que han hecho de este proceso una pieza clave en la cultura e industria alimentaria.

¿Cómo funciona el calentamiento óhmico y por qué es una revolución?

El calentamiento óhmico es una tecnología que está transformando la industria alimentaria ya que ofrece una forma eficiente y sostenible de procesar alimentos. Su principio es sencillo, pero poderoso: en lugar de calentar un alimento desde una fuente externa —como ocurre con los métodos convencionales de cocción—, el calentamiento óhmico utiliza corriente eléctrica para generar calor directamente en el interior del material.

Imaginemos el sistema básico de todos los sistemas eléctricos: un circuito eléctrico. Éste se compone de una fuente de electricidad (como una batería), una resistencia (componente moderador de energía) y un receptor (supongamos, un foco), unidos a un sistema de cables de algún material conductor, generalmente cobre (Figura 2). Si cerramos este circuito por medio del sistema de cables, la batería es capaz de generar electricidad que viaja desde su polo positivo hacia el foco, convirtiendo esta energía eléctrica en luz. Hasta este punto la energía sigue fluyendo en el sistema hasta volver al polo negativo de la batería, donde recorrerá el mismo camino tanto como necesitemos que este foco siga produciendo luz.

Ahora bien, si sustituimos cuidadosamente el foco por un recipiente con un alimento y dos electrodos metálicos en sus extremos, y reemplazamos la batería con un generador de corriente alterna (la corriente eléctrica de nuestros hogares), seguimos en el mismo canal del circuito eléctrico. Esto funcionaría de la manera que se explica a continuación.

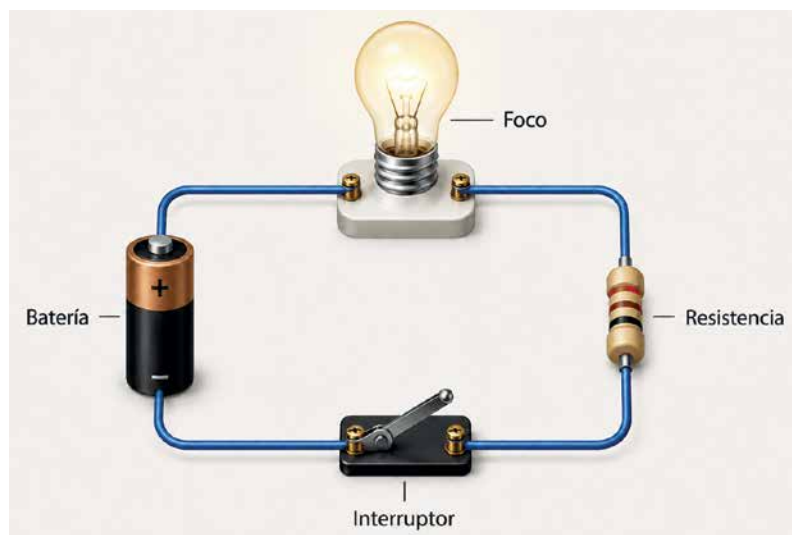


Figura 2. Circuito eléctrico convencional. Imagen creada por los autores mediante ChatGPT.

Los alimentos son una fuente rica de macronutrientes, minerales y agua. Cuando una corriente alterna pasa a través de un material de este tipo, el material ofrece conductividad eléctrica y resistencia al flujo de electricidad, lo que provoca que se genere calor internamente. En términos prácticos, significa que el alimento se calienta de adentro hacia afuera, con lo que se logra una cocción rápida y homogénea.

Un generador de corriente alterna permite el flujo de energía que se alterna de modo positivo y negativo, a diferencia de una batería. Los alimentos poseen componentes que, por su naturaleza química, son sensibles a esta corriente —como el agua, los carbohidratos, los minerales y las proteínas—, o bien contribuyen a que haya conductividad eléctrica, que es la capacidad de un material de permitir el paso de una corriente eléctrica. Otros componentes, como la fibra y los lípidos, no poseen esta cualidad, lo que crea una oposición al flujo de la energía, el cual se había denominado resistencia.

La corriente alterna viaja a través del alimento de un polo positivo al negativo, haciendo que los componentes conductores se orienten hacia ambos polos mientras se encuentran en constante cambio. Si una corriente alterna convencional atraviesa el alimento, estamos hablando de una frecuencia de 60 Hertz, que es el número de ciclos o cambios de polaridad que efectúa una corriente alterna. Esto

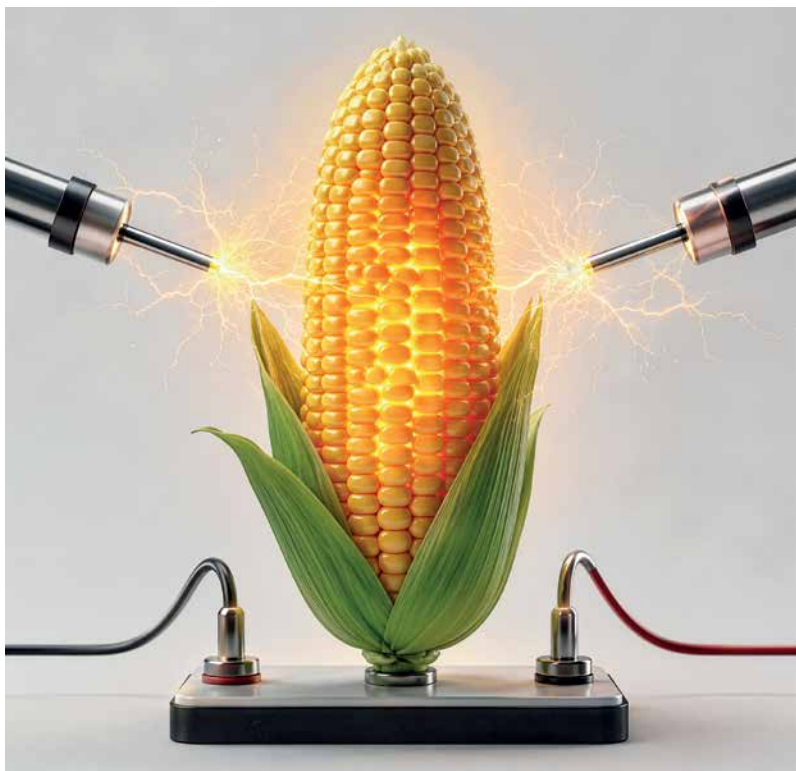


Figura 3. El efecto Joule en el maíz. Imagen creada por los autores mediante ChatGPT.

significa que si cada ciclo es un cambio en dos direcciones, los componentes se mueven 120 veces en un segundo. Esto provoca fricción y, por ende, generación de calor por las colisiones o choques entre la electricidad y estos componentes. Este efecto es conocido como efecto Joule y es el responsable de la cocción del alimento que estamos “electrificando” (**Figura 3**), lo que constituye la base del calentamiento óhmico.

El calentamiento óhmico ha sido adoptado en diversas aplicaciones dentro de la industria alimentaria, como la pasteurización de líquidos, la conservación de frutas y la cocción de productos cárnicos. Sin embargo, en el caso del maíz, su potencial es especialmente relevante debido a la posibilidad de mejorar la eficiencia y calidad de productos nixtamalizados y harinas precocidas.

El futuro del maíz procesado podría estar marcado por la integración de esta tecnología en plantas industriales, lo que permitiría producir harinas, masas y tortillas con mejor perfil nutricional, menor impacto ambiental y una calidad superior.

■ **Beneficios del calentamiento óhmico en la nixtamalización del maíz**

■ Comparando este método con la nixtamalización tradicional, las ventajas son significativas, ya que permite una distribución uniforme del calor, eliminando zonas frías o sobrecalentadas y reduciendo la posibilidad de una cocción desigual. Además, el proceso se lleva a cabo en menor tiempo, debido a la transferencia de calor instantánea, lo que agiliza la cocción y mejora la eficiencia. Otra ventaja clave es la preservación de nutrientes y compuestos bioactivos, ya que, al reducir los tiempos de exposición al calor, se minimiza la degradación de vitaminas y antioxidantes presentes en el maíz. A esto se suma una mayor eficiencia energética, pues, a diferencia del calentamiento convencional —que desperdicia gran parte de la energía en el entorno—, el calentamiento óhmico optimiza el uso de la energía aplicada directamente al alimento. Por último, este método contribuye a la reducción del consumo de agua, pues en la nixtamalización convencional se requieren grandes volúmenes del líquido para la cocción y enjuague de los granos. Con el calentamiento óhmico, este consumo se minimiza, promoviendo una producción más sustentable.

El calentamiento óhmico también puede emplearse en la fabricación de *snacks* a base de maíz, como totopos o nachos, al optimizar la cocción de la masa y mejorar la expansión del producto final. Esto provee mejoras en la textura y crocancia del producto, así como una mejor absorción de sabores y aceites durante procesos de fritura y horneado.

Por otro lado, el uso de corriente eléctrica en el calentamiento óhmico contribuye a la reducción de antinutrientes, toxinas, microorganismos y patógenos en el maíz y sus derivados. Esto hace que sea una opción viable para mejorar la seguridad alimentaria y prolongar la vida útil de productos elaborados con maíz.

■ **Conclusión**

■ Al generar calor directamente dentro del maíz mediante electricidad, el calentamiento óhmico ofrece beneficios en eficiencia energética, conservación de

nutrientes, reducción del consumo de agua y tiempo de procesamiento, mejora la seguridad alimentaria y prolonga la vida útil de los alimentos. Desde la producción de harinas nixtamalizadas hasta la optimización de *snacks* y productos a base de maíz, el calentamiento óhmico presenta un enfoque sustentable y de alto rendimiento para la industria alimentaria.

Sin embargo, su adopción a gran escala aún enfrenta retos relacionados con costos de implementación, regulación y optimización de parámetros de procesamiento, aunque la mayor parte de estos factores se deben a que es una tecnología que aún no se usa de manera masiva. A medida que más estudios confirmen su viabilidad industrial y se ajusten los modelos de producción, es probable que esta tecnología se convierta en una herramienta esencial para la manufactura de productos a base de maíz en el futuro.

El desafío ahora es impulsar su integración en la industria, de modo que los beneficios del calentamiento óhmico lleguen no sólo a los productores, sino también a los consumidores que buscan alimentos de mayor calidad y sostenibilidad. Así, el maíz, un alimento milenario, encuentra en la electricidad y el calentamiento óhmico aliados inesperados para seguir nutriendo al mundo con la misma fuerza con la que lo ha hecho desde hace siglos.

Uriel de Jesús Cruz Calderón

Universidad Autónoma de Querétaro.
ucruz28@alumnos.uaq.mx

Marcela Gaytán Martínez

Universidad Autónoma de Querétaro.
marcelagaytanm@yahoo.com.mx

Anai Zavala Franco

Universidad Autónoma de Querétaro.
anai.zavala.f@gmail.com

Lecturas recomendadas

- Anaya Esparza, L. M., V. M. Gómez-Rodríguez, H. Ramírez Vega, S. Hernández Estrada, L. A. Hernández-Villaseñor y B. Z. Villagrán de la Mora (2024), "Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México", *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1): 23-39. Disponible en: <https://doi.org/10.26495/z1k1kc46>.
- Cruz-Calderón, U. (2024), "Evaluación del proceso de nixtamalización por calentamiento óhmico como un método de destoxificación de aflatoxinas en las tortillas de maíz", tesis para obtener el título de Ingeniero Químico en Alimentos, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Disponible en: <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/11049/1/FQLIN-259002.pdf>, consultado el 20 de julio de 2026.
- Galindo-Olguín, C. N., N. S. Cruz-Cansino, E. Ramírez-Moreno, J. A. Ariza-Ortega, G. I. Camacho-Bernal y A. Cervantes-Elizarrarás (2021), "El maíz y la nixtamalización: modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla", *Educación y Salud, Boletín Científico del Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(19):205-213. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7236>.
- Gavahian, M. y S. K. Sastry (2020), "Ohmic-assisted peeling of fruits: Understanding the mechanisms involved, effective parameters, and prospective applications in the food industry", *Trends in Food Science & Technology*, 106:345-354. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.10.027>.
- Gaytán-Martínez, M., F. Martínez-Bustos y E. Morales Sánchez (2000), "Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(4):366-373.