

## Efecto de cinco factores en el rendimiento y color de tortillas tostadas durante su elaboración

 Luis Antonio Carrillo Cruz<sup>1</sup>,  Sahara Bermúdez Rodríguez<sup>2</sup>,  Juan Pablo Muñoz Durán<sup>3</sup>  Karen Alejandra Guzmán Puga<sup>4</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán – TecNM. Nochistlán de Mejía, Zacatecas, México, Carr. A Los Sandoval km 2.8/Coordinaciones de Ingeniería Industrial y Administración del ITSN. <sup>4</sup> Instituto Tecnológico Superior de Nochistlán.

*Autor para correspondência/Author for correspondence: luis.cc@nochistlan.tecnm.mx*

**RESUMEN.** El rendimiento y el color de la tortilla tostada de maíz, son dos características determinantes de calidad para productores y consumidores, las cuales se ven influenciadas por el efecto de diferentes factores en los procesos de nixtamalizado, tortillado y dorado. Este estudio experimental se llevó a cabo en una empresa local de Nochistlán de Mejía Zacatecas, bajo condiciones controladas para minimizar factores de perturbación. Se empleó un diseño experimental de arreglo ortogonal (AO)  $L_{27}$  ( $3^{5-2}$ ). El tiempo de cocción del nixtamal mostró mayor influencia en el rendimiento, mientras que la cantidad de cal y la temperatura de cocción afectaron significativamente el color. El tratamiento 11 presentó el mayor rendimiento considerando los cinco factores analizados. Para el color, los tratamientos óptimos correspondieron a combinaciones con niveles bajos de cal y niveles bajos o medios de temperatura. Estos hallazgos destacan la importancia de controlar cuidadosamente las variables clave para optimizar la calidad de la tortilla tostada en términos de rendimiento y color.

**Palabras clave:** tortilla tostada, nixtamalización, rendimiento de masa, color tortilla, arreglo ortogonal.

RBEC	Tocantinópolis/Brasil	v. 9	e19483	UFNT	2024	ISSN: 2525-4863
------	-----------------------	------	--------	------	------	-----------------



## Effect of five factors on the yield and color of toasted tortillas during processing

**ABSTRACT.** Yield and color of toasted corn tortillas are key characteristics for producers and consumers, influenced by several factors in the nixtamalizing, tortilla making and browning processes. This experimental study was carried out in a local company in Nochistlán de Mejía, Zacatecas, under controlled conditions to minimize disturbance factors. An  $L_{27} (3^{5-2})$  orthogonal array experimental design was used. Nixtamal cooking time had the greatest influence on yield, while the amount of lime and cooking temperature significantly affected color. Treatment 11 had the highest yield, considering the five factors analyzed. For color, the optimum treatments corresponded to combinations with low levels of lime and low or medium levels of temperature. These findings highlight the importance of carefully controlling key variables to optimize the quality of the toasted tortilla in terms of yield and color.

**Keywords:** toasted tortilla, nixtamalization, dough yield, tortilla color, orthogonal arrangement.

## Efeito de cinco fatores no rendimento e na cor das tortilhas tostadas durante o processamento

**RESUMO.** O rendimento e a cor das tortilhas de milho tostadas são características importantes para produtores e consumidores, influenciadas por vários fatores nos processos de nixtamalização, tortillado e escurecimento. Este estudo experimental foi realizado em uma empresa local em Nochistlán de Mejía, Zacatecas, sob condições controladas para minimizar os fatores de perturbação. Foi usado um projeto experimental de matriz ortogonal  $L_{27}$  ( $3^{5-2}$ ). O tempo de cozimento do nixtamal mostrou a maior influência sobre o rendimento, enquanto a quantidade de cal e a temperatura de cozimento afetaram significativamente a cor. O tratamento 11 apresentou o maior rendimento, considerando os cinco fatores analisados. Quanto à cor, os tratamentos ideais corresponderam a combinações com baixos níveis de cal e níveis baixos a médios de temperatura. Essas descobertas destacam a importância do controle cuidadoso das principais variáveis para otimizar a qualidade da tortilha tostada em termos de rendimento e cor.

**Palavras-chave:** tortilha tostada, nixtamalização, rendimento da massa, cor da tortilha, arranjo ortogonal.

## Introducción

En México, el maíz es un alimento básico cuyo consumo es habitual en la dieta de los mexicanos. Su importancia se hace más clara en las comunidades rurales donde los habitantes continúan cultivando el maíz y comiendo tortillas de manera tradicional (De la Cruz Urbina y Buendía Ábalos, 2021). Los mitos de los nativos del estado de Chiapas aluden al maíz como alimento sagrado e incluso como elemento de la formación física y espiritual (López Arévalo et al., 2015).

Desde el punto de vista cultural se destaca la importancia de la producción de tortillas de forma tradicional, así mismo se tiene una mayor preferencia por las tortillas recién elaboradas por tener mayor valor nutrimental así como mejores propiedades sensoriales (Rivera Chavira et al., 2021). Esta actividad, además, se integra profundamente en la dinámica comunitaria, donde el trabajo se distribuye según la edad y el género, con un rol destacado de las mujeres en el proceso de tortillado, en zonas rurales; puesto que conlleva el trabajo en equipo con la milpa, esto implica una relación de dependencia con el trabajo de campo y la educación rural como un elemento esencial para mantener el saber que esa comunidad tiene para un propósito social. Desde este punto de vista, la elaboración de alimentos es vista como una característica cultural que mantiene la vida personal y familiar dentro de la comunidad (De la Cruz Urbina y Buendía Ábalos, 2021).

Los productos elaborados de maíz como la tostada y sus productos derivados, es de los alimentos de mayor consumo en México, hechos a partir del proceso de nixtamalizado, teniendo un consumo per cápita de 56.70 kg en el medio urbano y 79.50 kg en el medio rural (Quintero Gutiérrez et al., 2014) (Escobedo Garrido J. S., 2023) (Hernández Santoyo y Ayala Ortiz, 2024) y son de los productos que mayor aportación tienen como fuente de energía en la dieta de los mexicanos (García Chávez et al., 2020). La nixtamalización fue una invención crucial que llevaron a cabo los habitantes de Mesoamérica hace aproximadamente 2,400 años, ya que permitió que el maíz se transformara en el pilar de su dieta. Sin este procedimiento, el consumo de maíz como componente esencial de la alimentación provoca enfermedades serias, como la pelagra (Gómez Galvarriato, 2022). La nixtamalización consiste en una cocción termo-alcalina del grano y la adición de una solución de cal aproximadamente al 1% a una porción de maíz. Esta preparación se cuece aproximadamente 90 minutos (Paredes López et al., 2009) (Galindo Olguín et al., 2021) (Muñiz Alvarado, 2024) y se deja en reposo por varias horas, lo que

incrementa las características nutritivas del maíz y permite su almacenamiento por periodos más extensos (Gómez Galvarriato, 2022), para después pasarlo al proceso de molienda y la producción de masa, que requiere la adición de agua con la finalidad que llegue a tener de 48 a 55% de humedad (Paredes López et al., 2009) (De la Cruz Urbina y Buendía Ábalos, 2021).

Las tostadas elaboradas con masa de maíz se laminan en capas finas que se cortan en pedazos pequeños, usualmente triangulares (totopos) o redondos (tostadas) los cuales se cuecen parcialmente, se enfrían y posteriormente se fríen (Quintero Gutiérrez et al., 2014) (Estrada Pereyra, 2021). De acuerdo al Instituto Nacional de Geografía y Estadística - INEGI (2024), dentro de la industria de alimentos, se encuentran 110,132 entidades económicas especializadas en la producción de tortillas de maíz y molienda de nixtamal, incluyendo las compañías especializadas en la fabricación de tostadas. El 84% de las tostadas de maíz que se han envasado afirman haber sido fabricadas con harina de maíz nixtamalizada, el 8% con maíz nixtamalizado y el 8% restante con una mezcla de ambos (Sainz Trapaga et al., 2022). Sobre las características físicas y de apariencia de las tortillas y tostadas que los consumidores aprecian son: el sabor, olor, frescura, tamaño y color (Escobedo Garrido y Jaramillo Villanueva, 2019). En las tortillas, las condiciones del proceso de nixtamalización influyen en el color; especialmente, la cantidad de cal empleada durante la fase de cocimiento modifica el color del producto final (Gutiérrez Llanos et al., 2023).

El rendimiento y la excelencia de la tortilla de maíz son determinantes de calidad muy apreciadas por los agricultores e industriales de la masa y la tortilla, así como de la harina nixtamalizada (López Morales et al., 2019). Es importante resaltar que el rendimiento de la masa se debe a diferentes factores como lo menciona Salinas Moreno y Aguilar Modesto, (2010) el rendimiento se ve influenciado por la habilidad del grano de absorber agua y mantenerla durante las fases de los procesos de nixtamalizado, molido y tortillado (Vázquez Carrillo et al., 2020). Algunos de los maíces estudiados que poseían alta humedad en el nixtamal, no proporcionaron tortillas con alta humedad, lo que resultó en rendimientos inferiores al valor de referencia de los productores de masa y tortilla (Salinas Moreno et al., 2010). El rendimiento esperado en kilogramos (kg) de masa por kg de maíz blanco nixtamalizado es de 1.937 kg (Ramírez Muñoz et al., 2021).

Mejorar procesos y la calidad de los productos es una idea que se hizo popular en la segunda mitad del siglo pasado y ha traído muchas ideas nuevas que han sido útiles en diferentes áreas del saber (Gutiérrez Pulido, 2014) y una de las metodologías más utilizadas en el conocimiento y la mejora de proceso es la aplicación de diseños de experimentos controlados

los cuales han resultado eficientes y eficaces durante el proceso de diseño de nuevos productos, diseño del procesos y mejora de procesos ya existentes (Montgomery, 2004), algunas de estas técnicas fueron propuestas por Genichi Taguchi, a través de los arreglos ortogonales propuestos para el diseño de parámetros, diseño de sistemas y diseño de tolerancias (Domínguez Domínguez y Castaño Tostado, 2018).

La educación rural desempeña un papel esencial en este contexto, en el que el maíz es el ingrediente principal y que está estrechamente vinculado con el conocimiento tradicional transmitido a lo largo de las generaciones fundamental en la preservación de entornos de producción de alimentos (García Franco y Gómez Galindo, 2023). Proporcionar a los productores acceso a métodos que optimicen los procesos tradicionales como la nixtamalización, el tortillado y el dorado, fortalecerá la cadena de valor en la elaboración de productos a base de maíz nixtamalizado y que garanticen el cumplimiento de los requerimientos del proceso y producto, en este caso el rendimiento y color de la tortilla tostada, para preservar las tradiciones en la elaboración de un alimento esencial en las comunidades rurales. Este estudio busca generar información práctica que pueda ser integrada en programas de formación rural, para fortalecer las capacidades técnicas de los productores, campesinos y promover el desarrollo sostenible de estas comunidades; puesto que, en muchos casos, el acceso a la información y el intercambio de conocimiento es limitado y depende en su mayoría de personas clave que operan en su totalidad el proceso de producción (Santos Corral y De Gortari, 2010).

La finalidad del presente trabajo consistió en estudiar el efecto de cinco factores: cantidad de cal, temperatura de cocción, tiempo de cocción, cantidad de maicena y cantidad de Maseca; sobre el rendimiento y color de tortilla tostada en el proceso de nixtamalizado, tortillado y dorado; utilizando el método Taguchi, el diseño seleccionado fue un AO  $L_{27}$  ( $3^{5-2}$ ).

Este artículo está organizado de la siguiente manera: se describe la metodología utilizada en este trabajo, así mismo se muestran los resultados obtenidos, seguidos de la discusión de hallazgos y conclusiones.

## Metodología

El trabajo de experimentación se realizó en las instalaciones de una empresa local ubicada en el municipio de Nochistlán de Mejía, Zacatecas, para controlar los factores de experimentación, así como el manejo de manera constante de los factores perturbadores del proceso para evitar que generen efectos considerables sobre las variables de respuesta

(Montgomery, 2004). El proceso de tortillado y cocido de manera parcial se llevó a cabo en una máquina tortilladora de Grupo Villamex, después se pasó al área de secado colocándola en tendedores durante 6 horas a temperatura ambiente y posteriormente al área de dorado. Se utilizó el tipo de maíz cónico norteño que se caracteriza por sus plantas de porte bajo, mazorcas cónicas y textura de grano semidentada, estos de color blanco (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - CONABIO, 2020) y que se produce en mayor densidad en el Estado de Zacatecas con un 51.2% de la producción total (Reveles Torres et al., 2014).

Para el proceso de nixtamalización se tomó como base lo establecido por (Salinas Moreno y Aguilar Modesto, 2010), lo que permitió conjuntamente con el conocimiento previo del proceso, establecer los niveles de experimentación del factor cal (óxido de calcio) y del tiempo de cocción del nixtamal, el cual se dejó reposar entre 14 y 15 horas a temperatura ambiente para después enjuagarlo antes de pasarlo a un molino de piedras volcánicas y obtener la masa y poderle agregar otros dos aditivos en el proceso de amasado que fueron la harina de maíz blanca y fina que contiene vitaminas y minerales añadidos (MASECA) (Grupo Industrial Maseca - GRUMA, s.f.), y fécula de maíz (maicena) tradicional (Recepedia, s.f.).

Las variables de respuesta que se midieron fue el rendimiento de la masa medida en kg en el proceso de tortillado controlando el peso de la tortilla, así como el color de la tortilla tostada después del proceso de dorado a través de la evaluación visual con la experiencia de dos personas, ordenando los colores del producto final correspondiente al total de tratamientos de los más claros a oscuros en una escala de 0 a 100, siendo los colores claros los de menor valor. Resulta de interés mencionar, derivado de la disponibilidad de recursos sólo fue posible evaluarlo a través de la experiencia de dos personas.

Se definieron cinco factores control y sus niveles correspondientes como se muestran en la tabla 1, así como la unidad experimental establecida a 5 Kg de maíz para cada corrida. Se identificaron 11 factores adicionales que se controlaron de manera constante durante el total de corridas experimentales con la finalidad de evitar perturbación sobre las variables de respuesta.

El diseño seleccionado fue el método Taguchi usado para experimentar en un proceso y encontrar los factores significativos (Escalante Vázquez, 2018), específicamente un arreglo ortogonal  $L_{27}$  ( $3^{5-2}$ ), que indica el número de pruebas y los tratamientos de los factores y sus niveles (Wu y Wu, 1996), el cual permite estudiar el efecto hasta de trece factores a tres niveles, que en este caso sólo se controlaron cinco factores con 27 corridas experimentales.

Tabla 1 - Factores control y niveles.

<b>Factor</b>	<b>Nivel Bajo</b>	<b>Nivel Medio</b>	<b>Nivel Alto</b>
Cantidad de cal (g)	72.5	77.5	82.5
Temperatura de cocción del nixtamal (°C)	170	180	190
Tiempo de cocción (min)	95	105	115
Cantidad de maicena (g)	45	50	55
Cantidad de MASECA (g)	90	100	110

Fuente: Elaboración propia.

La ejecución de los 27 tratamientos tuvo una duración de 2 meses (agosto-septiembre), debido a que solo se trabajaron cuatro días a la semana y solo fue posible realizar un tratamiento por día considerando la aleatoriedad de las corridas experimentales. Durante la experimentación se controló la ejecución con la estandarización de procedimientos de nixtamalizado, molido, amasado, tortillado, secado y dorado. El análisis estadístico se realizó utilizando Minitab 21 versión 20.3, para el cálculo del análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95% ( $P\text{-value} < 0.05$ ), gráficas de efectos principales, tabla de respuestas de los factores y sus niveles y predicciones de las variables de respuesta.

## Resultados

El factor que mayor efecto presentó sobre el rendimiento es el tiempo de cocción del nixtamal considerando el  $P\text{-value}$  (0.01) como se muestra en la tabla 2, además se identificó que los factores de cantidad de maicena y temperatura de cocción contribuyen en más del 20% a la variación total del rendimiento, lo que permite deducir que, aunque el  $P\text{-value}$  correspondiente es mayor a 0.05, su efecto puede considerarse relevante sobre la variable de respuesta. En la tabla 3, así como en la figura 1, se identifica el grado de importancia de los cinco factores control sobre el rendimiento, así como el rendimiento esperado por nivel y factor.



Tabla 2 - Análisis de varianza para el rendimiento.

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SS Sec</b>	<b>SS Aj</b>	<b>MS Aj</b>	<b>F</b>	<b>P</b>
Cantidad de cal (g)	2	0.002778	0.002778	0.001389	0.33	0.726
Temperatura de cocción del nixtamal (°C)	2	0.019979	0.019979	0.009989	2.35	0.128
Tiempo de cocción (min)	2	0.052398	0.052398	0.026199	6.16	0.010
Cantidad de maicena (g)	2	0.018498	0.018498	0.009249	2.17	0.146
Cantidad de MASECA (g)	2	0.007649	0.007649	0.003824	0.90	0.426
Residual Error	16	0.068046	0.068046	0.004253		
Total	26	0.169348				

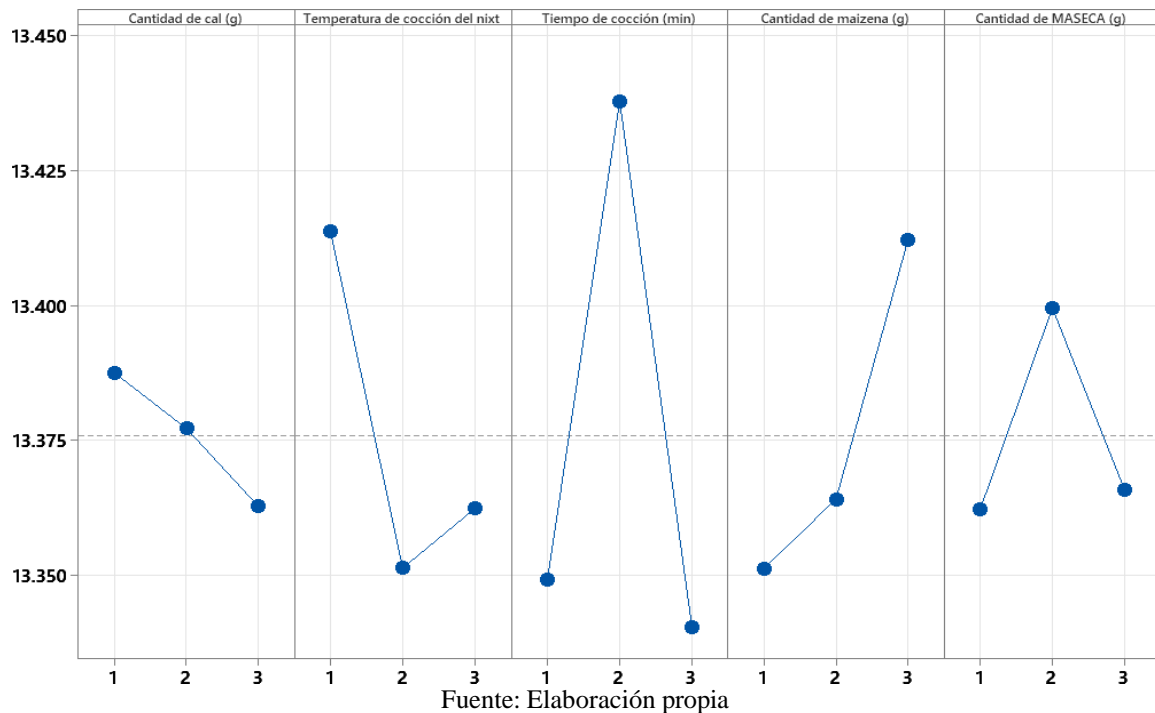
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 - Respuestas para la media (Rendimiento).

<b>Nivel</b>	<b>Cantidad de cal (g)</b>	<b>Temperatura de cocción del nixtamal (°C)</b>	<b>Tiempo de cocción (min)</b>	<b>Cantidad de maicena (g)</b>	<b>Cantidad de MASECA (g)</b>
1	13.39	13.41	13.35	13.35	13.36
2	13.38	13.35	13.44	13.36	13.4
3	13.36	13.36	13.34	13.41	13.37
Delta	0.02	0.06	0.1	0.06	0.04
Rank	5	2	1	3	4

Fuente: Elaboración propia

Figura 1 - Efectos principales para el promedio del rendimiento.



El ANOVA correspondiente a la señal ruido (S/N) que permite determinar la robustez del proceso donde se minimiza el efecto de los factores ruido sobre el rendimiento también consideró como el factor con mayor efecto al tiempo de cocción del nixtamal con un P-value menor a 0.05 como se puede observar en la tabla 4, donde también se identifica que la temperatura de cocción del nixtamal es el segundo factor más significativo con una contribución del 11.7%. En la tabla 5 y en la figura 2, se muestra el grado de importancia de los cinco factores sobre la robustez del proceso de elaboración de la tostada que se busca maximizar con la finalidad de obtener un tratamiento menos sensible a los factores externos. Para confiar en los resultados del análisis se realizó la comprobación de los supuestos de normalidad, igualdad de varianza e independencia de los residuos.

Tabla 4 - Análisis de varianza para S/N.

Fuente	GL	SS Sec	SS Aj	MS Aj	F	P
Cantidad de cal (g)	2	0.001169	0.001169	0.000584	0.32	0.728
Temperatura de cocción del nixtamal (°C)	2	0.008383	0.008383	0.004191	2.32	0.13
Tiempo de cocción (min)	2	0.022048	0.022048	0.011024	6.11	0.011

Cantidad de maicena (g)	2	0.007761	0.007761	0.003881	2.15	0.149
Cantidad de MASECA (g)	2	0.00321	0.00321	0.001605	0.89	0.43
Residual Error	16	0.028882	0.028882	0.001805		
Total	26	0.071453				

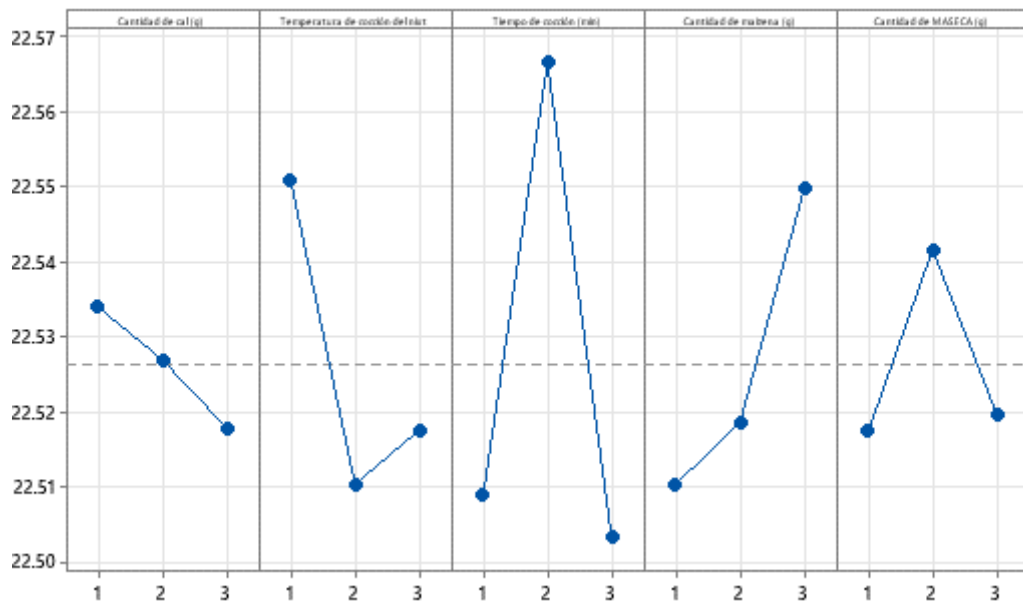
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 - Respuestas para la S/N (Rendimiento).

Nivel	Temperatura de cocción				
	Cantidad de cal (g)	del nixtamal (°C)	Tiempo de cocción (min)	Cantidad de maicena (g)	Cantidad de MASECA (g)
1	22.53	22.55	22.51	22.51	22.52
2	22.53	22.51	22.57	22.52	22.54
3	22.52	22.52	22.5	22.55	22.52
Delta	0.02	0.04	0.06	0.04	0.02
Rank	5	2	1	3	4

Fuente: Elaboración propia

Figura 2 - Efectos principales para la S/N del rendimiento.



Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la variable de respuesta del color de la tortilla tostada el factor que mayor efecto tuvo fue la cantidad de cal y la temperatura de cocción del nixtamal considerando el P-

value (0.01) que se muestra en el ANOVA de la tabla 6 con una contribución a la variación de este color del 42%, además se identificó que los factores cantidad de maicena y cantidad de MASECA también contribuyeron en un 22% a su variación y en la tabla 7, se muestran las respuestas obtenidas y el grado de importancia de los factores controlados sobre el color de la tostada. La elección de esta variable se basó en una valoración nominal evaluado por los expertos para este producto. El ANOVA de la S/N para el color de la tostada identificó la cantidad de cal y temperatura de cocción como los factores que mayor robustez generan en el proceso lo que permitió identificar la importancia que tienen los dos factores antes mencionados sobre la coloración del producto.

Tabla 6 - Análisis de varianza para el color de la tortilla tostada.

Fuente	GL	SS Sec	SS Aj	MS Aj	F	P
Cantidad de cal (g)	2	499.85	499.85	249.92	5.12	0.019
Temperatura de cocción del nixtamal (°C)	2	480.09	480.09	240.05	4.91	0.022
Tiempo de cocción (min)	2	84.17	84.17	42.08	0.86	0.441
Cantidad de maicena (g)	2	248.62	248.62	124.31	2.54	0.110
Cantidad de MASECA (g)	2	247.26	247.26	123.63	2.53	0.111
Residual Error	16	781.65	781.65	48.85		
Total	26	2341.63				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7 - Respuesta para el color de la tortilla tostada.



Nivel	Temperatura de cocción				
	Cantidad de cal (g)	del nixtamal (°C)	Tiempo de cocción (min)	Cantidad de maicena (g)	Cantidad de MASECA (g)
1	37.00	60.00	48.00	65.78	45.00
2	47.11	61.78	60.00	42.67	56.89
3	72.00	34.33	48.11	47.67	54.22
Delta	35.00	27.44	12.00	23.11	11.89
Rank	1	2	4	3	5

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se presentan los resultados correspondientes a la medición del rendimiento

y la evaluación del color obtenidos a partir de las corridas experimentales de los tratamientos 1 y 11. Se destaca que el ensayo 11 mostró el desempeño más favorable tanto en términos de rendimiento como de color. El experimento 1 se incluye como referencia comparativa para contrastar los resultados obtenidos con el tratamiento de mejor desempeño.

Tabla 8 - Resultados de dos tratamientos.

Trat.	Rendimiento(kg)	Color	Ayuda visual
1	13.36	96	
11	13.58	58	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos a través de la incorporación del conocimiento científico al proceso de elaboración de tortilla tostada, permite identificar los factores significativos que influyen y que se deben considerar en el proceso de producción de este producto para eficientar las características cuantitativas y cualitativas del mismo. Estos avances no solo aseguran mejores resultados en el producto final, además, fortalecen la cadena de valor, impulsando el desarrollo económico, social y cultural de las microempresas rurales involucradas.

## Discusión

Se identificó que el rendimiento en kg de masa fue significativamente afectado por el factor tiempo de cocción del nixtamal que se atribuye a la cantidad de pericarpio retenido después del enjuague del nixtamal. La cantidad de pericarpio que se retiene después de enjuagar el nixtamal también afecta los rendimientos por la capacidad de retener el agua (Salinas Moreno

y Aguilar Modesto, 2010 y Vázquez Carrillo et al., 2020). Con respecto a los otros dos factores que mayor efecto tienen sobre el rendimiento, se puede deducir la posibilidad que posean un efecto de interacción con el factor que mayor efecto tiene, principalmente la temperatura de cocción, por lo que sería necesario realizar un diseño experimental que contemple los efectos de interacción para comprobar la significancia de dichos efectos. El tratamiento que mayor rendimiento proporcionó fue el 11 (2, 1, 2, 3, 2) nivel medio, bajo, medio, alto y medio, considerando los cinco factores controlados en la experimentación, pero, es de suma importancia identificar la posibilidad de mover los factores que menor efecto tienen a sus niveles más convenientes, debido a que no afectarían de manera significativa la variable de respuesta. Se trabajaron las predicciones a través del modelo de regresión lineal para identificar el tratamiento que optimizó (maximizar la variable de respuesta) el rendimiento con un resultado de 13.537 kg.

Con respecto al color de la tortilla tostada se observó que los factores que mayor efecto tienen es la cantidad de cal, seguido de la temperatura de cocción, como lo menciona Gutiérrez Llanos et al., (2023), una mayor cantidad de álcali produjo tortillas más luminosas, las tortillas cambiaron de color debido a las variadas cantidades de álcali utilizadas en el proceso de nixtamalización. En lo que respecta al calcio, se ha notado que la cantidad de este mineral en la masa se ve influenciada por la cantidad de cal añadida y la temperatura de cocción de acuerdo a Paredes López et al. (2009), Galindo Olgún et al. (2021) y Muñiz Alvarado, (2024). Con el del sistema de evaluación utilizado para esta característica se buscó un objetivo de 60+-5 unidades, resultando como óptimo los tratamientos donde la cantidad de cal se encuentra en su nivel bajo y la temperatura en su nivel bajo (color de 60.3), o bien, nivel bajo y medio respectivamente (color de 63.5). Es relevante mencionar que para mayor confiabilidad de los resultados sobre el color puede ser posible utilizar un colorímetro Color Gard System (Morales Pérez y Vélez Ruiz, 2011) para la evaluación, pero por recursos disponibles sólo fue posible evaluarlo a través de la experiencia de dos personas en una escala de 0 a 100.

## Conclusiones

La realización del proyecto hizo posible la identificación de los factores que impactan en el rendimiento, así como en el color de la tortilla tostada que para este caso fue elaborada a partir de maíz cónico norteño. Se determinó que es el tiempo de cocción del nixtamal el factor que resultó ser más significativo para optimizar el rendimiento, seguido de la temperatura de

cocción y finalmente la cantidad de maicena. Los hallazgos muestran la importancia de establecer controles para estos parámetros con mira de maximizar la producción y obtención de producto consistente.

En relación con el color de la tostada, se identificó que la cantidad de cal, así como la temperatura de cocción del nixtamal son los factores que tienen una mayor influencia, esto se alinea con otras investigaciones que muestran una relación directa entre cantidad de álcali y luminosidad del producto final. En este caso, aun cuando el método utilizado para medir el color fue visual por restricción de recursos, los resultados presentan coherencia con la literatura revisada.

La metodología Taguchi utilizada en este estudio, permitió realizar diversas combinaciones y determinar los factores óptimos que facilita el poder realizar los ajustes necesarios a los procesos actuales para ser replicados en los contextos apropiados con miras a mejorar la calidad, así como la eficiencia en los procesos de producción de tortilla tostada, sobre todo donde el consumo de tortilla es un alimento de la canasta básica.

La importancia que tiene el desarrollo y aplicación de este proyecto, sobre todo en comunidades y en microempresas productoras de tortilla tostada es relevante dado que mejora el rendimiento de los procesos y por ende del producto final, lo cual permite incrementar la productividad y calidad los productos, beneficiando a los productores sobre todo de áreas rurales. Este estudio además genera vínculos de colaboración entre empresas productoras de tortilla tostada y las instituciones de educación superior, que fortalece a microempresas y comunidades rurales a través de la incorporación de conocimientos científicos y técnicos que contribuyen al fortalecimiento económico y cultural de los productores locales.

## Referencias

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - CONABIO. (02 de octubre de 2020). *Cónico Norteño*. <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas/grupo-conico/conicoNorteno>

De la Cruz Urbina, F., & Buendía Ábalos, G. (2021). La tortilla tradicional: un contexto de significación para la matemática de la variación. *Revista de Investigación Educativa de la Rediech*, 12, 1-19. <https://doi.org/10.33010/ierierediech.v12i0.1098>

Domínguez Domínguez, J., & Castaño Tostado, E. (2018). *Diseño de Experimentos*. México CDMX: Alfaomega.

Escalante Vázquez, E. J. (2018). *Seis - Sigma metodología y técnicas*. Limusa.

Escobedo Garrido, J. S. (2023). Experiencias de encadenamientos en el sistema agroalimentario maíz-masa-tortilla. Región centro de Puebla. *Región y Sociedad*, 35. <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1710>

Escobedo Garrido, J. S., y Jaramillo Villanueva, J. L. (2019). Las preferencias de los consumidores por tortillas de maíz. El caso de Puebla, México. *Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*.

Estrada Pereyra, A. G. (2021). Preferencia sensorial por tostadas de maíz nativo de Chiapas (Tesis de Licenciatura). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/4167>

Galindo Olgún, C. N., Cruz Cansino, N. d., Ramírez Moreno, E., Ariza Ortega, J. A., Camacho Bernal, G. I., & Cervantes Elizarrarás, A. (2021). El maíz y la nixtamalización: modificación de sus componentes, técnicas de proceso y enriquecimiento de tortilla. *Educación y Salud. Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 10(19), 205-213. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7236>

García Chávez, C. G., Monterrubio Flores, E., Ramírez Silva, I., Aburto, T. C., Pedraza, L. S., & Rivera Dommarco, J. (2020). Contribución de los alimentos a la ingesta total de energía en la dieta de los mexicanos mayores de cinco años. *Salud Pública de México*, 166-180.

García Franco, A., & Gómez Galindo, A. A. (2023). La milpa y la alimentación en México. *Educación Química*, 34, 108-116. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2023.4.86339e>

Gómez Galvarriato, A. (2022). La industrialización del nixtamal y la elaboración de la tortilla en México. *Revista del Instituto Riva-Agüero*, 231-274.

Grupo Industrial Maseca - GRUMA. (s.f.). *Harina de maíz de calidad internacional*. <https://www.maseca.com.mx/con%C3%B3cenos/#>

Gutiérrez Llanos, M., Alemán de la Torre, I., Salinas Moreno, Y., Santillán Fernández, A., Ramírez Díaz, J. L., y Ledesma Miramontes, A. (2023). Color y características nutraceuticas de tortillas de maíces (*Zea Mays* L.) nativos preparados con diferentes dosis de álcali y refrigeradas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(2), 115 - 126. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.2.115>

Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y productividad*. México D.F.: McGRAW-HILL.

Hernández Santoyo, A., & Ayala Ortiz, D. A. (2024). Cultivo de maíz y soberanía alimentaria en regiones lacustres de Michoacán. Consideraciones para su fortalecimiento. *Relaciones. Estudios de historia y sociedad*, 45(178), 136-166. <https://doi.org/10.24901/rehs.v45i178.1053>

Instituto Nacional de Geografía y Estadística - INEGI. (15 de septiembre de 2024). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas*. <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/Default.aspx?idee=7462770>



López Arévalo, J., Martínez Velazco, G., & Sovilla, B. (2015). Tortillas de maíz: Simbolismo nacional e incremento de precios en un contexto de diferenciación social en el área urbana de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. *Revista Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 6-50.

López Morales, F., Vázquez Carrillo, M. G., García Zavala, J. J., López Romero, G., Reyes López, D., & Molina Galán, J. D. (2019). Estabilidad y adaptación del rendimiento y calidad de tortilla en maíz Tuxpeño, Valles-Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1809-1828.

Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y análisis de experimentos*. México D.F.: Limusa.

Morales Pérez, J., & Vélez Ruiz, J. F. (2011). Estudio del Efecto Combinado del Secado y Freido en las Propiedades de Tortillas Tostadas. *Información Tecnológica*, 55-68.

Muñiz Alvarado, A. (2024). Manual para la nixtamalización del maíz en Chiapas. Procedimiento, recomendaciones y precauciones (Tesis de Licenciatura). Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México: Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. <https://repositorio.unicach.mx/handle/20.500.12753/5573>

Paredes López, O., Guevara Lara, F., & Bello Pérez, L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 60-70.

Quintero Gutiérrez, A. G., González Rosendo, G., Solano Navarro, A., Reyes Navarrete, G. E., Villanueva Sánchez, J., & Bravo Rivera, G. (2014). Caracterización de una tortilla tostada elaborada con maíz (*Zea mays*) y alga (*Ulva clathrata*) como prospecto de alimento funcional. *Revista española de nutrición comunitaria*, 22-28.

Ramírez Muñoz, E., Jiménez Vera, R., & González-Cortés, N. (2021). Rendimiento de nixtamal, masa y tortilla de maíces criollos pigmentados de perote, veracruz. *CIENCIA UANL*.

Recepedia. (s.f.). *Fécula de maíz maizena*. <https://www.recepedia.com/es-mx/maizena/products/7501005110389-fecula-de-maiz-maizena/>

Revels Torres, L. R., Luna Flores, M., Mejía Gurrola, A., Hernández Martínez, J., & García Hernández, S. (2014). Razas actuales de maíz de secano en el estado de Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1155 - 1168.

Rivera Chavira, B. E., Morales Corral, D., Gómez Méndez, M. G., & Nevárez Moorillón, G. V. (2021). Consumo responsable de la tortilla de maíz, una herencia que debemos cuidar. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 25(73), 9-14.

Sainz Trapaga, R., Álvarez Ramírez, M. M., & Rosas Nexticapa, M. (2022). Aditivos químicos añadidos a la tortilla y tostada de maíz y su regulación en la legislación mexicana. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 2-24.

Salinas Moreno, Y., Gómez Montiel, N. O., Cervantes Martínez, J. E., Sierra Macías, M., Palafox Caballero, A., Betanzos Mendoza, E., & Coutiño Estrada, B. (2010). Calidad

Nixtamalera y Tortillera en Maíces del Trópico Húmedo y Sub-Húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 509-523.

Salinas Moreno, Y., & Aguilar Modesto, L. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (zea mays l.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5-11.

Santos Corral, M. J., & De Gortari, R. (2010). *Aprendizaje e innovación en microempresas rurales*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Vázquez Carrillo, M. G., Martínez Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Espinosa Calderón, A., Tadeo Robledo, M., & Turrent Fernández, A. (2020). Estabilidad de rendimiento y características fisicoquímicas de grano de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1803-1814. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.1990>

Wu, Y., & Wu, A. (1996). *Diseño robusto utilizando los Métodos Taguchi*. Díaz de Santos.

#### Informações do Artigo / Article Information

Recebido em: 27/11/2024  
Aprovado em: 02/12/2024  
Publicado em: 23/02/2025

Received on November 27th, 2024  
Accepted on December 02nd, 2024  
Published on February, 23th, 2025

**Contribuições no Artigo:** Os(as) autores(as) foram os(as) responsáveis por todas as etapas e resultados da pesquisa, a saber: elaboração, análise e interpretação dos dados; escrita e revisão do conteúdo do manuscrito e; aprovação da versão final publicada.

**Author Contributions:** The author were responsible for the designing, delineating, analyzing and interpreting the data, production of the manuscript, critical revision of the content and approval of the final version published.

**Conflitos de Interesse:** Os(as) autores(as) declararam não haver nenhum conflito de interesse referente a este artigo.

**Conflict of Interest:** None reported.

#### Avaliação do artigo

Artigo avaliado por pares.

#### Article Peer Review

Double review.

#### Agência de Fomento

Não tem.

#### Funding

No funding.

**Como citar este artículo / How to cite this article**

APA

Carrillo Cruz, L. A., Bermúdez Rodríguez, S., Muñoz Durán, J. P., & Guzmán Puga, K. A. (2024). Efecto de cinco factores en el rendimiento y color de tortillas tostadas durante su elaboración. *Rev. Bras. Educ. Camp.*, 9, e19483.

ABNT

CARRILLO CRUZ, L. A.; BERMÚDEZ RODRÍGUEZ, S.; MUÑOZ DURÁN, J. P.; GUZMÁN PUGA, K. A. Efecto de cinco factores en el rendimiento y color de tortillas tostadas durante su elaboración. **Rev. Bras. Educ. Camp.**, Tocantinópolis, v. 9, e19483, 2024.