

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

DEPTO. DE QUÍMICA

TESIS

**DESARROLLO Y EVALUACIÓN ALIMENTARIA Y FUNCIONAL DE  
TOTOPOS ADICIONADOS CON HUITLACOCHÉ**

PRESENTA

Karla Yuritzí Amador Rodríguez

PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

TUTORES

Dr. Fidel Guevara Lara

Dra. Laura Eugenia Pérez Cabrera

ASESOR

Dr. Francisco Aníbal Posadas del Río

Aguascalientes, Ags., Diciembre de 2015

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

**AUTORIZACIONES**



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

**KARLA YURITZI AMADOR RODRIGUEZ**  
**DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**PRESENTE.**

Estimada alumna:

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los revisores de su trabajo de tesis y/o caso práctico titulado: **“Desarrollo y evaluación alimentaria y funcional de totopos adicionados con huitlacoche”**, hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su examen de grado.

Sin otro particular me permito saludarle muy afectuosamente.

**ATENTAMENTE**

Aguascalientes, Ags., 18 de noviembre de 2015

*“Se lumen proferre”*

**EL DECANO**

**M. en C. JOSÉ DE JESÚS RUIZ GALLEGOS**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE AGUASCALIENTES

FORMATO DE CARTA DE VOTO APROBATORIO

**M. EN C. JOSÉ DE JESÚS RUÍZ GALLEGOS**  
DECANO DEL CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS

*PRESENTE*

Por medio del presente como Tutores designados de la estudiante **KARLA YURITZI AMADOR RODRÍGUEZ** con ID 19733 quien realizó la tesis titulada: **DESARROLLO Y EVALUACIÓN ALIMENTARIA Y FUNCIONAL DE TOTOPOS ADICIONADOS CON HUITLACOCHÉ**, y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia, nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla, y así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, nos permitimos enviarle un cordial saludo.

**ATE NTAMENTE**

**“Se Lumen Proferre”**

*Aguascalientes, Ags., a 13 de Noviembre del 2015*

**DR. FIDEL GUEVARA LARA**  
Tutor de tesis

**DRA. LAURA E. PÉREZ CABRERA**  
Tutor de tesis

c.c.p.- Interesada  
c.c.p.- Secretaría de Investigación y Posgrado  
c.c.p.- Jefatura del Depto. de Química  
c.c.p.- Consejero Académico  
c.c.p.- Secretario Técnico

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto que se gestó durante 4 años, se realizó debido al apoyo y participación de importantes Instituciones y capital humano, que tuvieron aportaciones invaluableles en él.

A la Universidad Autónoma de Aguascalientes la cual ha sido parte medular en mi formación desde el bachillerato; al Centro de Ciencias Básicas y al Centro de Ciencias Agropecuarias donde realicé parte de mi trabajo de posgrado, como también al Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN, Unidad Querétaro.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo económico que tuve durante mi Doctorado, que sin él, no hubiera sido posible llevar a cabo mis estudios.

A mis tutores: el Dr. Fidel Guevara Lara y la Dra. Laura E. Pérez Cabrera; a mi asesor el Dr. Francisco Aníbal Posadas del Río; al Dr. Fernando Martínez Bustos y a la Dra. Norma Angélica Chávez Vela, por adentrarse y apoyarme durante este proyecto, por los conocimientos y la formación que me brindaron.

Al personal de apoyo que tuve en los laboratorios: Ma. Lorena Sandoval Cardoso, Rosa Elena Carrillo, Juan Veles, Edmundo Rodríguez, José Eleazar Urbina, Mario Rodríguez, Marta Evelia Pérez.

## DEDICATORIAS

A mi hijo Rodrigo, mis papás Arturo y Pita, mis hermanas Mariana y Estefania. A mis familiares y amigos

Para ellos con mucho cariño ...



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE TABLAS .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
RESUMEN.....	6
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	12
Aspectos generales del maíz.....	13
Aspectos botánicos .....	14
Composición anatómica del maíz.....	15
Composición química del maíz.....	18
CAPÍTULO II. NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ .....	26
Antecedentes .....	26
Proceso de nixtamalización.....	26
a)Cocimiento. ....	27
b)Lavado. ....	28
c)Molienda.....	29
Ventajas de la nixtamalización.....	31
Obtención de harina de maíz nixtamalizado.....	34
Antecedentes .....	34
Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado .....	34
Ventajas del uso de harina de maíz nixtamalizado .....	35
CAPÍTULO III: BOTANAS .....	37
Proceso de elaboración de botanas de maíz a partir de harinas de maíz nixtamalizado .....	39
Tendencias en la elaboración de botanas .....	46
Ingredientes incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado .....	48
CAPÍTULO IV: EL HUITLACOCHÉ COMO UN INGREDIENTE FUNCIONAL.....	51
Aspectos generales del huitlacoche .....	51
Composición química del huitlacoche.....	52
Compuestos bioactivos del huitlacoche .....	53
CAPÍTULO V. HIPÓTESIS .....	65
CAPÍTULO VI. OBJETIVOS .....	66
Objetivo general .....	66
Objetivos específicos.....	66
CAPÍTULO VII: MATERIALES Y MÉTODOS .....	67
MATERIALES .....	68
Diseño experimental.....	76
Proceso de producción.....	77
MÉTODOS .....	79
Análisis físicos.....	79
Análisis químicos.....	83
Análisis fisicoquímicos.....	84
Análisis de propiedades tecnológicas .....	85

Análisis de propiedades funcionales.....	87
Análisis estadístico.....	89
CAPÍTULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	90
Caracterización de materias primas.....	90
Características fisicoquímicas de harinas.....	94
Caracterización de masas.....	99
Caracterización de totopos.....	110
CONCLUSIONES.....	129
GLOSARIO.....	132
BIBLIOGRAFÍA.....	134



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz. ....	18
Tabla 2. Fracción de carbohidratos presentes en el grano de maíz.....	19
Tabla 3. Composición proteica del grano de maíz.....	22
Tabla 4. Composición de lipídica del grano de maíz. ....	23
Tabla 5. Composición de vitaminas y minerales del grano de maíz dulce. ....	25
Tabla 6. Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.....	38
Tabla 7. Composición proximal del huitlacoche.....	52
Tabla 8. Contenido de fenoles solubles totales, antocianinas y taninos condensados en muestras de huitlacoche colectado en diferentes estados del centro de la República Mexicana y generado en diversas variedades de maíz criollo. ....	55
Tabla 9. Fenoles solubles totales en extractos de compuestos fenólicos solubles de huitlacoche y <i>P. ostreatus</i> .....	56
Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos insolubles: melanina y residuos de la extracción de melanina en huitlacoche. ....	57
Tabla 11. Porcentaje de actividad antirradical (% ARA) encontrado en muestras de huitlacoche colectado (Aguascalientes e Irapuato) y generado (Pipitillo y Negro). ....	60
Tabla 12. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y oligosacáridos de la familia de la rafinosa en muestras de huitlacoche colectado en diferentes localidades del centro de México y generado en variedades criollas de maíz. ....	63
Tabla 13. Actividad antimutagénica y promutagénica de extractos metanólicos de huitlacoche en dos cepas de <i>Salmonella typhimurium</i> cada una con diferente mutación.....	64
Tabla 14. Rendimiento de huitlacoche a partir de mazorcas infectadas con el hongo <i>Ustilago maydis</i> .....	90
Tabla 15. Caracterización de granos y harinas de maíz azul nixtamalizado. ....	91
Tabla 16. Clasificación de la dureza de granos de maíz.....	93
Tabla 17. Propiedades térmicas de harinas de maíz nixtamalizado. ....	99
Tabla 18. Caracterización de las masas de maíz azul nixtamalizado. ....	102
Tabla 19. Facilidad subjetiva de maquinado de las formulaciones. ....	108
Tabla 20. Color de totopos de maíz azul adicionados con huitlacoche.....	112
Tabla 21. Contenidos de grasa cruda, proteína cruda, fibra cruda, fibra dietaria total y contenido de humedad de los totopos. ....	117
Tabla 22. Contenido de compuestos fenólicos solubles totales, antocianinas y capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de las materias primas. ....	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema mundial de la importancia del maíz en el consumo humano...	13
Figura 2. El maíz (detalle).	14
Figura 3. Estructura de la semilla del maíz.	16
Figura 4. a) Cocimiento artesanal de maíz. b) Paila de acero inoxidable para cocimiento de maíz.	27
Figura 5. a) Lavado de maíz manual; b) Lavadora de maíz nixtamalizado.	29
Figura 6. a) Molienda ancestral en el metate y b) Molino de nixtamal de acero inoxidable.	30
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado.	45
Figura 8. Huitlacoche fresco.	52
Figura 9. Esquema general del proyecto de investigación.	67
Figura 10. a) Maíz azul; b) Harina comercial de maíz azul; c) Totopos comerciales de maíz azul horneados.	68
Figura 11. Procesamiento de huitlacoche fresco: a) Mazorcas infestadas de huitlacoche; b) eliminación de hojas de la mazorca para preparar la mazorca y eliminar las agallas del huitlacoche; c) agallas de huitlacoche antes de su precocción y d) huitlacoche en pasta.	70
Figura 12. Esquema general de nixtamalización.	72
Figura 13. Nixtamalización de maíz azul: a) Cocimiento de maíz azul; b) Maíz después de 15 horas de reposo posterior al cocimiento. c) Eliminación de agua de cocimiento (nejayote) y lavado del maíz.	73
Figura 14. Molienda de granos nixtamalizados en molino de piedra volcánica.	74
Figura 15. Deshidratación <i>flash</i> .	75
Figura 16. Esquema de adición de huitlacoche en pasta a las harinas de maíz nixtamalizado, los porcentajes de adición se realizaron para los tres tipos de harinas.	76
Figura 17. Moldeado, troquelado y precocción de testales de maíz nixtamalizado.	78
Figura 18. Medición del tamaño del grano de maíz (longitud, anchura y espesor).	79
Figura 19. Medición del peso hectolítrico.	80
Figura 20. Índice de flotación de granos de maíz.	81
Figura 21. Colorímetro Konica Minolta.	82
Figura 22. Parámetros establecidos para la evaluación de facilidad de maquinado en masas.	86
Figura 23. Perfil viscoamilógrafo de harinas de maíz nixtamalizado.	96
Figura 24. Termogramas de harinas de maíz nixtamalizado.	98
Figura 25. Capacidad de absorción de agua (CAA) de harinas de maíz nixtamalizado.	100
Figura 26. Cohesividad y adhesividad de las masas.	105
Figura 27. Masa procesada en la tortilladora para todas las formulaciones. a) Formación de la cortina de masa en los rodillos de acero inoxidable. b) Cortado de totopos por los rodillos y precocimiento.	109
Figura 28. Formulaciones precocidas.	110
Figura 29. Formulaciones horneadas.	110
Figura 30. Fuerza de ruptura de totopos de tortilla de maíz azul nixtamalizado. A) Ejecución del ensayo de crujencia en el Texture Analyzer. B) Crujencia de totopos de maíz azul horneados adicionados con huitlacoche a 0, 3, 6, 9%.	114

Figura 31. Contenido de fenoles solubles totales en totopos adicionados con huitlacoche..... 122

Figura 32. Contenido de antocianinas en totopos de maíz azul adicionados con huitlacoche..... 123

Figura 33. Capacidad antioxidante (TEAC) de totopos horneados adicionados con huitlacoche..... 125

Figura 34. Estructura de los totopos al microscopio electrónico de barrido. (A) Totopos de maíz azul adicionado de pasta de huitlacoche, corte transversal (500x). (B) Teliosporas de huitlacoche incrustadas en un corte transversal de totopo (3500x). (C) Estructuras de un corte transversal (1000x). (D) Estructuras de un corte transversal (150x). ..... 128



## ACRÓNIMOS

HP	Huitlacoche en pasta
CG	Maíz azul variedad cónica
DPPH	2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl
EAG	Equivalentes de ácido gálico
EC3G	Equivalentes de cianidina-3-glucósido
ET	Equivalentes de Trolox
HC	Harina de maíz azul nixtamalizado variedad cónico
HM	Harina de maíz azul nixtamalizado comercial
HX	Harina de maíz azul nixtamalizado variedad criollo
MC	Masa de maíz azul nixtamalizado variedad cónico
MM	Masa de maíz azul nixtamalizado comercial
MX	Masa de maíz azul nixtamalizado variedad criollo
TC	Totopos de maíz azul variedad cónico
TEAC	Capacidad antioxidante equivalente a Trolox
TM1	Totopos de harina comercial de maíz azul nixtamalizado
TM2	Totopos comerciales horneados de maíz azul
TX	Totopos de maíz azul variedad criollo
XG	Maíz azul variedad criolla

## RESUMEN

Este estudio analizó el efecto de la adición del 0, 3, 6, 9, 12, 15 y 18% de pasta de huitlacoche (HP) al procesamiento de totopos de maíz azul nixtamalizado, y su posible influencia en los parámetros fisicoquímicos, funcionales y estructurales de masas y totopos horneados. Se utilizaron dos variedades de maíz azul: Cónico y Criollo, los cuales se procesaron para obtener harinas de maíz nixtamalizado; se utilizó una harina comercial de maíz azul (HM) adicional como control, y un totopo comercial horneado de maíz azul (TM2). Los resultados mostraron que las características del grano tuvieron efectos importantes sobre las propiedades térmicas, de absorción de agua y la cohesión de masa ( $P < 0.05$ ); estas propiedades están relacionadas con el contenido de proteína, el almidón y sobre todo con el destino final de los granos para su procesamiento en diversos productos. Además, la adhesividad de masas fue influenciada por el porcentaje de adición del huitlacoche en pasta, un parámetro importante para la mecanización de masa en procesos semi-industriales; valores superiores a 0.813 N resultaron no aptos para procesarse, debido a su alta adherencia (pegajosidad) y densidad. La cohesión de las masas se vio afectada de manera negativa por adiciones superiores al 12% de huitlacoche en pasta. En producto terminado (totopos), la crujencia fue influenciada de manera positiva por la HP, ya que la adición de la pasta disminuyó los valores requeridos para la fractura de la pieza, sin perder su crujencia; esta disminución también se vio influenciada por el tipo de harina utilizado. El HP incrementó significativamente el contenido de fenólicos solubles en los totopos horneados ( $P < 0.05$ ). TC mostró incrementos de 17.5 a 36.1 mg EAG/100 g de muestra; TX aumentó de 23.2 a 36.8 mg EAG/100 g de muestra. La capacidad antioxidante de TC y TX aumentó a medida que se añadió el HP, mostrando valores de 6.74 a 7.98  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra a las adiciones de 0, 3, 6 y 9%, respectivamente. TX presentó el mismo comportamiento desde 6.84 hasta 7.80  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, conforme se adicionó HP. TM1 mostró un comportamiento diferente, TM1-0 registró 7.70  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, TM1-3 disminuyó hasta 7.02  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, y se incrementó en TM1-6 con 7.44  $\mu\text{mol ET}$  y a 7.51  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra en TM1-9. El totopo comercial (TM2) presentó 7.59  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra. HP no modificó el contenido total de

antocianinas, TC osciló entre 26 y. TM1 y TM2 presentaron valores de aproximadamente 50 mg EC3G/kg.

Los resultados sugieren que los totopos de maíz azul horneados y adicionados con huitlacoche de un 3 a un 9%, pueden ser una alternativa para procesar este hongo tradicional en una forma industrial y a gran escala, y producir botanas más saludables que las tradicionales, además de incrementar el valor funcional de algunos compuestos bioactivos.



## ABSTRACT

This study analyzed the effect of the addition of 0, 3, 6, 9, 12, 15 and 18% huitlacoche paste (HP) in baked tortilla chips processing, evaluating its possible effects on the physicochemical, functional and structural changes. Two blue corn materials were nixtamalized, stone milled, air-dried and milled to obtain flour; an additional commercial blue corn flour was used. Results showed that grain characteristics had major effects on flour viscosity, thermal properties, water absorption, masa cohesiveness and tortilla chip crispiness ( $P < 0.05$ ), and these properties are related to protein and starch content in the grains. HP addition influenced masa adhesiveness, an important parameter for masa machinability in semi-industrial processes; values higher than 0.813 N were too sticky and heavy to process. The cohesion of the masas was affected negatively by more than 12% additions of huitlacoche paste. In the finished product (chips), the crispiness was influenced positively by HP, since the addition of the paste decreased the required values for the fracture of the piece, without losing its crispiness, this decrease also was influenced by the type of flour used.

The HP significantly increased soluble phenolic content in baked tortilla chips ( $P < 0.05$ ). CT showed increases of 17.5 to 36.1 mg EAG / 100 g of sample; TX increased from 23.2 to 36.8 mg EAG / 100 g sample. The antioxidant capacity of CT and TX increased as HP was added, showing values of 6.74 to 7.98 mol TE / g shows the additions of 0, 3, 6 and 9%, respectively. TX presented the same behavior from 6.84 to 7.80 mol TE / g sample, as HP was added. TM1 showed a different behavior, TM1-0 recorded 7.70 mol TE / g sample, TM1-3 decreased to 7.02 mol TE / g sample, and increased ET; TM1-6 with 7.44 mol and 7.51 mol TE / g shown in TM1- 9. The commercial baked chips (TM2) provided 7.59 mol TE / g sample. HP did not change the total content of anthocyanins, it ranged between 26 and TC. TM1 and TM2 values presented EC3G about 50 mg / kg.

The results suggest that blue corn tortilla chips baked and added with huitlacoche from 3 to 9%, may be an alternative to process this traditional mushroom on a large scale, and produce healthier than traditional snacks, plus increase the functional value of some bioactive compounds.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la población a nivel mundial ha experimentado cambios en su estilo de vida; cada vez hay más mujeres con hijos que salen a trabajar, personas que tienen que trasladarse grandes distancias, además de personas con más de un empleo o diversas actividades. Esto ocasiona que ya no se pueda dedicar tiempo para la preparación de alimentos en el hogar, que se realicen a veces las tres comidas diarias fuera del hogar e incluso que éstas sean de comida rápida.

Algunos de los productos más demandados por la población han sido los alimentos denominados botanas o *snacks*, los cuales son alimentos listos para consumirse, dulces o salados, que se consumen entre comidas, por la simple necesidad de comer, por carencia de tiempo para cocinar, por hambre, por antojo, convivencia social o laboral, etc. Los niños y jóvenes presentan una preferencia evidente hacia las botanas. Esto puede ser debido a que el fenómeno publicitario constituye uno de los pasos que condicionan el cierre del proceso producción-consumo. En estas etapas de la vida, la cantidad y calidad nutricional de la proteína son particularmente importantes debido a su esencial función en el desarrollo físico y mental ([Almeida-Domínguez et al., 1990](#)).

Estos productos, aunque de alto consumo, han sido catalogados como “alimentos chatarra”, sin tomar en cuenta que aportan energía, proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales en mayor o menor proporción. Por lo ya mencionado y aunado a la problemática de salud en la población, se ha observado en los últimos años un aumento en la demanda de alimentos más saludables: básicamente bajos en grasas, altos en fibra y con la adición de ingredientes funcionales a los productos tradicionales. Esto ha derivado en el desarrollo de nuevas formulaciones y procesos para producir botanas bajas en grasa, con propiedades sensoriales óptimas a un precio razonable ([Xu y Kerr, 2012](#)), además ahora llevándolos a una tendencia en crecimiento como es la incorporación de aspectos funcionales, es decir, la adición de ingredientes para los que se ha demostrado una relación directa entre su contenido y el mejoramiento de alguna función fisiológica.

Las botanas con ingredientes funcionales siguen desarrollándose en la actualidad, y aunque ya se pueden encontrar algunos productos en el mercado, cada vez más las áreas de desarrollo de nuevos productos se enfocan en investigar qué ingredientes se pueden adicionar y cuáles son los cambios y efectos derivados de estas adiciones.

Un alimento funcional es el huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*), un hongo que se ha consumido ancestralmente en México y que ha acaparado la atención científica y culinaria por considerarse un alimento exótico y con capacidades antioxidantes importantes. A pesar de ser considerada una enfermedad que afecta el cultivo del maíz, ha ido tomando una connotación diferente, consumiéndose actualmente como un alimento tradicional en las regiones centro y sur de México, y que en la gastronomía mundial ha acaparado la atención como un ingrediente funcional y a su vez *gourmet*.

A pesar de su gran valor nutricional y funcional, el huitlacoche presenta la problemática de ser un alimento altamente perecedero por su alto contenido de agua; una manera de ampliar su diversidad tecnológica es incorporarlo como ingrediente a otros alimentos como un medio de conservación y de diversificación de este producto.

El futuro de las botanas tradicionales también depende del desarrollo de nuevas formas y sabores, así como del surgimiento de un nuevo tipo de botana, una botana más saludable, una botana que además de su contenido nutricional aporte algún beneficio a la salud, es decir una botana que se incorpore al rubro de los alimentos funcionales.

## CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

El maíz es un alimento fundamental para la alimentación de más de 900 millones de personas en el mundo que tienen ingresos promedio de 2 dólares al día. El maíz, el arroz y el trigo proveen el 30% de las calorías de 4.5 billones de personas en 94 países en desarrollo ([CIMMYT, 2014](#)). México se encuentra entre los países en los que el consumo *per cápita* supera los 127 kg anuales ([Nadal y Wise, 2005](#)) convirtiéndose en el cereal más importante en la dieta de la población. [González-Hernández et al. \(1997\)](#) encontraron que el consumo de maíz aporta 1,061 calorías por persona diariamente, y 27.1 g de proteínas, lo que representa el 45.3% y 38.8% de los requerimientos diarios, respectivamente, pero estos datos se incrementan de manera significativa en zonas rurales, alcanzando hasta el 70% de la energía y 50% de las proteínas. Sin embargo este consumo ha venido disminuyendo, por la problemática que presenta el establecimiento y variación del precio, recordando que este producto es parte esencial de la canasta básica del mexicano. En las últimas décadas ha presentado un incremento del 30% por kilo de maíz, y la tortilla pasó de \$8 hasta \$14 por kilo. Estos han sido factores importantes para la reducción del consumo; según un estudio de GRUMA el principal productor de harina de maíz nixtamalizado (HMN), en 2007 el consumo *per cápita* de tortilla alcanzó los 70 kg ([Figura 1](#)).

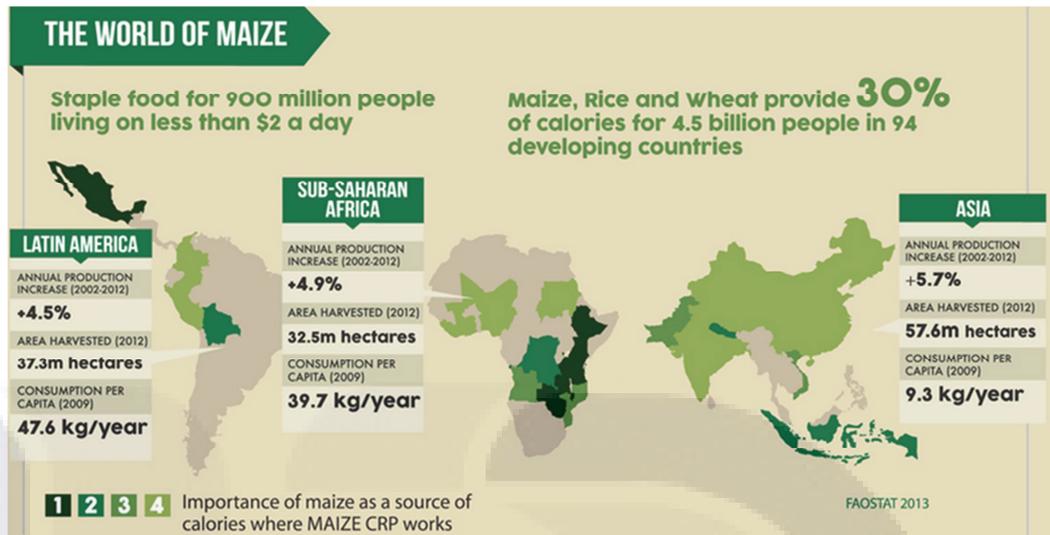


Figura 1. Esquema mundial de la importancia del maíz en el consumo humano.

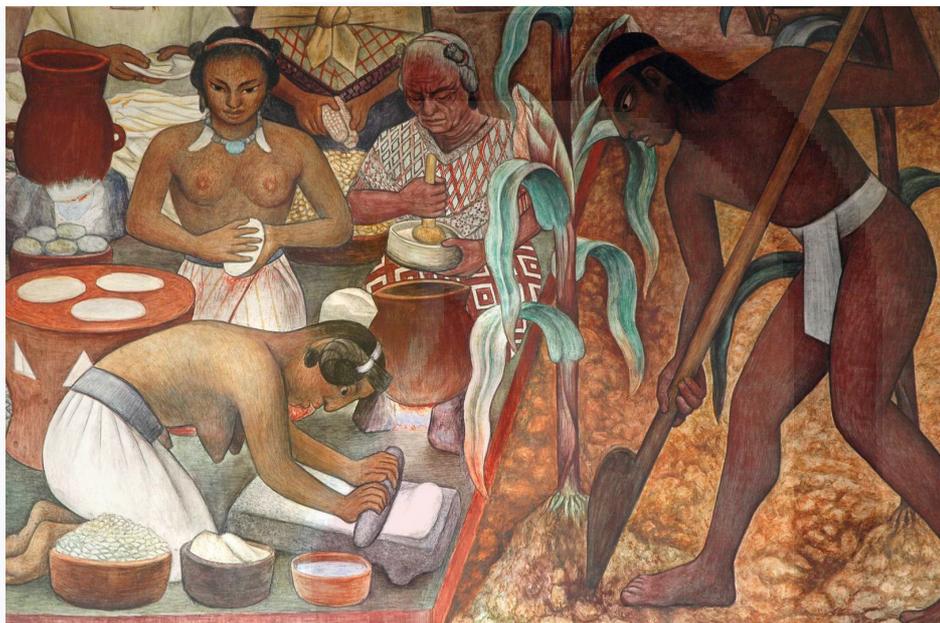
Fuente: [FAOSTAT, 2013](#).

El maíz para consumo humano en México, desde tiempos remotos, ha sido en forma nixtamalizada (del náhuatl *nixtli* cal de cenizas y *tamalli* masa de maíz cocida ([Cabrera, 1992](#)). Este proceso de cocimiento del maíz con cal (nixtamalización) se cree fue inventado hace 3500 años. El proceso ancestral de nixtamalización consistía en calentar maíz por alrededor de media hora en agua en una olla de barro y poner un puño de cal; se dejaba reposar durante de 12 horas aproximadamente; normalmente se hacía en la noche, después se lavaba, se molía en un metate (molino manual de piedra volcánica) y se obtenía masa de nixtamal, con la cual de elaboraban diversos productos desde alimentos como tortillas, totopos, arepas, tlayudas, sopes, enchiladas, hasta bebidas como el atole, tesgüino, pozol, y otras.

### Aspectos generales del maíz

El maíz es la planta más domesticada y evolucionada del reino vegetal ([Figueroa y Aguilar, 1997](#)). El maíz del género *Zea*, perteneciente a la familia de las gramíneas; en México, los nahuas lo denominaron *centli* (al maíz) o *tlaolli* (al grano). Es una planta originaria de América, que tenía gran importancia en la vida religiosa, política, social y cultural en los pueblos Mesoamericanos. En Mesoamérica el maíz fue un factor muy importante en el desarrollo de las civilizaciones ([Katz et al., 1974](#)). En

México, lo divinizaron y lo adoraron con el nombre de *Centeótl*, diosa de la tierra y del maíz ([Figura 2](#)), rindiéndole culto en cada uno de sus distintos aspectos, bien como *Chicomecóatl*, diosa de los mantenimientos; *Centeotícíhuatl*, la del maíz maduro; *Xilonen*, la del maíz tierno; entre otros, así mismo todos los grupos étnicos que habitaron Mesoamérica consideraron al maíz como raíz de su origen: “Fue creado entonces el hombre de maíz y los dioses vieron coronados sus esfuerzos”.



**Figura 2. El maíz (detalle).**  
Fuente: [Rivera \(1940\)](#).

Moneda, alimento y religión, el maíz es un elemento asociado a varios siglos de nuestra historia nacional. México al igual que otros países de América Latina, es una cultura de maíz; gran parte de las actividades individuales y sociales de sus habitantes dependen de esta planta ([Véles Medina, 2004](#)).

### **Aspectos botánicos**

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas, tribus de las maideas. Se trata de una planta anual de gran desarrollo vegetativo que puede alcanzar 4 m de altura, cuyo tallo lleva de 12 a 20 hojas de limbo bien desarrollado

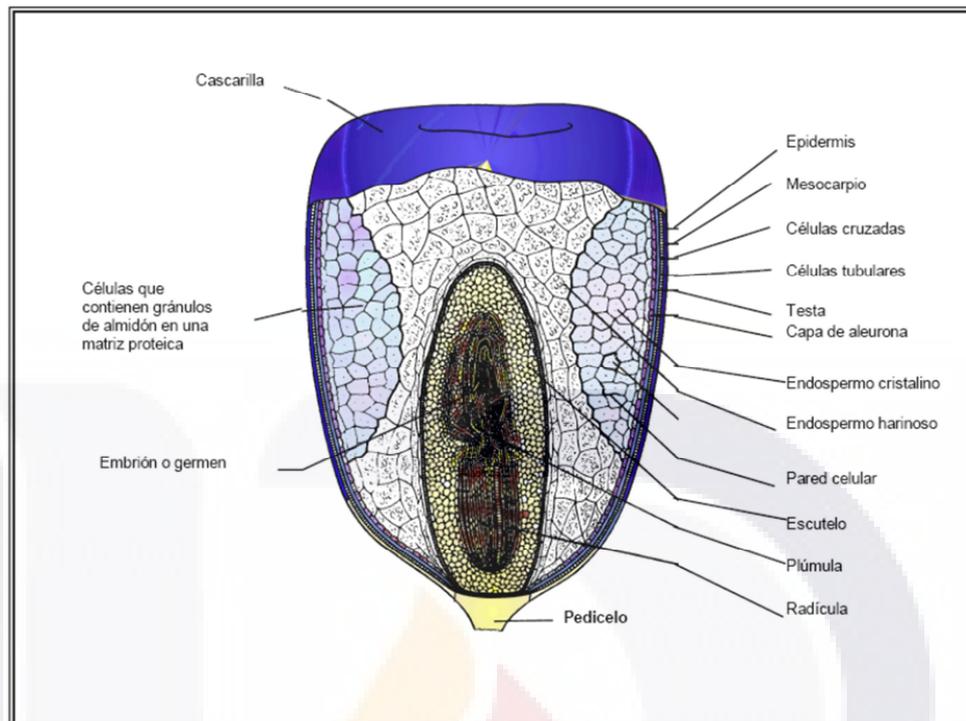
(35 a 50 cm de longitud; 4 a 10 cm de ancho). El tallo puede emitir varios brotes. El sistema radicular de tipo fasciculado está formado por tres tipos de raíces: las raíces seminales (nacidas de la semilla), las raíces secundarias (que constituyen casi la totalidad del sistema radicular), y las raíces adventicias que aparecen en el último lugar, a nivel de los primeros nudos situados por encima de la superficie del suelo ([Fleury et al., 1979](#)).

Debido a su excelente capacidad para adaptarse a diversos ambientes, es capaz de desarrollarse tanto en latitudes altas que varían desde el Ecuador ligeramente a 50° al norte y sur, así como también al nivel del mar y hasta 3000 metros de altura, bajo condiciones de fuertes lluvias y condiciones semiáridas, en climas frescos y calientes y con ciclos de cultivos que van desde 3 a 13 meses ([Anónimo, 1997](#)).

A pesar de varias controversias sobre el origen del maíz en América, considerándose el método científico para establecer el origen geográfico de las plantas cultivadas desarrollado por el naturista [Alphonse de Candolle \(1882\)](#) y analizándose los cuatro tipos de evidencias: históricas, lingüísticas, arqueológicas y botánicas sugieren que la selección del maíz tuvo lugar inicialmente en México, que fue el centro primario de su origen y domesticación hace 7 a 10 mil años ([Mangelsdorf, 1974](#)); y donde se encuentran 50 variedades de maíz de las 300 encontradas en todo el Continente Americano ([Vigouroux et al., 2008](#)).

### **Composición anatómica del maíz**

La semilla del maíz está compuesta básicamente de cuatro partes principales: pericarpio y aleurona, pedicelo, endospermo y germen. En la [Figura 3](#) se muestra la estructura de la semilla.



**Figura 3. Estructura de la semilla del maíz.**

Fuente: [Wheat Flour Institute \(1964\)](#).

La semilla de la planta del maíz es una carióspside y está formado por las siguientes partes:

**a) Pericarpio:** Cubierta del fruto de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara. Ésta es la verdadera cubierta o cáscara del grano, compuesta por todas las capas exteriores. El pericarpio está compuesto por una capa de cutícula cerosa que cubre a la epidermis, ambas retardan la absorción de humedad al interior del grano por el mesocarpio, compuesto por células alargadas y estrechamente adheridas con numerosas cavidades que proveen interconexiones capilares entre todas las células y facilitando la absorción de agua. Todo el pericarpio está compuesto por células muertas que son de forma tubular ([Earle et al., 1946](#); [Watson, 1988](#); [Jackson y Shandera, 1995](#)).

**b) Pedicelo:** Representa aproximadamente el 0.8% del grano y es la estructura celular con la que el grano se encuentra unida al olote; está compuesto de haces vasculares

que terminan en la porción basal del pericarpio, consta de una capa exterior de abscisión que sella la punta del grano maduro. A esta capa le sigue una serie de células parenquimatosas en forma de estrellas, ligadas por sus puntas, formando una estructura frágil y porosa, conectada con la capa de células cruzadas del pericarpio. Esta estructura es responsable de la absorción de líquidos del pedicelo al pericarpio ([Earle et al., 1946](#); [Jackson y Shandera, 1995](#)).

**c) Endospermo:** Tejido de reserva de la semilla, que alimenta al embrión durante la germinación. Ésta compuesto por células alargadas con delgadas paredes de material celulósico, empacadas con gránulos de almidón (de 5 a 30  $\mu\text{m}$ ) sumergidos en una continua matriz proteica (almidón-proteína); es depositada y contenida en grandes estructuras celulares. El endospermo constituye aproximadamente el 82.3% del grano en peso seco y está compuesto principalmente por almidón (86.4%) ([Earle et al., 1946](#); [Watson, 1988](#); [Jackson y Shandera, 1995](#)).

Hay dos regiones bien diferenciadas en el endospermo: la primera zona es dura, donde se encuentra el almidón cristalino y la otra es blanda, donde se encuentra el almidón harinoso ([Hoseney, 1998](#)); la proporción depende de la variedad. La unión e integridad estructural entre la proteína y los gránulos de almidón hace completamente duro al grano de maíz. Son estas diferencias en la estructura del grano las que afectan el comportamiento de las harinas resultantes del proceso de nixtamalización del grano, obtención de masa, desecado y molienda ([Narváez-González et al., 2006](#)).

**d) Embrión o germen:** Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla. Es el embrión u órgano reproductor del grano y está compuesto por plúmula, radícula y escutelo. El escutelo constituye el 90% del germen y funciona como un órgano o almacén de nutrientes y hormonas que son movilizados por enzimas sintetizadas durante la etapa inicial de germinación hacia la plúmula ([Earle et al., 1946](#); [Watson, 1988](#); [Jackson y Shandera, 1995](#)). Todas las células del embrión y el escutelo son potencialmente activadas metabólicamente durante la hidratación de la semilla (imbibición) ([Watson, 1988](#)).

Cada una de las partes anatómicas tiene constituyentes químicos en diferentes proporciones, en la [Tabla 1](#) se muestran sus contenidos.

**Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.**

<b>Componente químico (%)</b>	<b>Pericarpio</b>	<b>Endospermo</b>	<b>Germen</b>
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Almidón	7.3	87.6	8.3
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: [Watson y Ramstad \(1987\)](#).

En la nixtamalización el endospermo y germen sufren pérdidas menores, en cambio el pericarpio que contiene el 86.7% de fibra es perdido durante el lavado del maíz y desechado con otros residuos nutrimentales como vitaminas, minerales, ácidos grasos y proteínas en un líquido residual altamente contaminante llamado nejayote.

**Composición química del maíz**

**a) Carbohidratos.** El componente químico principal del grano de maíz es el almidón (que es la forma en que los cereales almacenan energía) al que corresponde hasta el 73% del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano ([Tabla 2](#)).

**Tabla 2. Fracción de carbohidratos presentes en el grano de maíz.**

Carbohidratos	%
Carbohidratos totales	76.7
Almidón	72.4
Fibra dietaria total	12.8
Fibra dietaria soluble	1.1
β-Glucanos	-
Pentosanos	6.1
Azúcares Solubles	1.9

Fuente: [Serna-Saldívar et al. \(2001\)](#).

El almidón es el polisacárido más importante y abundante en el grano de maíz, seguido por la celulosa. El gránulo de almidón tiene una forma poligonal o esférico, con un tamaño de entre 5 y 25 µm; su temperatura de gelatinización es de 62-72 °C, formado un gel de viscosidad media, opaco, con una tendencia muy alta a gelificar, lo cual nos hace obtener productos procesados más sólidos.

El almidón está conformado de dos polisacáridos muy similares: la amilosa y la amilopectina.

La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30% del almidón. La amilosa es un producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α(1-4), con largas cadenas lineales de 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón de daltones. Tiene la forma de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa.

El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75% del almidón. La amilopectina contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol, las ramas están unidas al tronco central por enlaces α(1-6) cada 15-25 unidades lineales de glucosa; su peso molecular es muy alto hasta 200 millones de daltones.

La matriz proteica que rodea los gránulos de almidón es más gruesa en el endospermo vítreo que en el endospermo harinoso ([Wang y Eckhoff, 2000](#)). [Narváez-González et al. \(2006\)](#) encontraron un alto nivel de compactación del almidón en maíces con gran densidad proteica que rodea los gránulos de almidón.

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura es altamente organizada, y a que presenta una gran estabilidad por las múltiples interacciones que existen entre sus dos polisacáridos constituyentes. Debido a esto, durante la hidratación de harinas de maíz nixtamalizadas es deseable agregar agua entre 40-50 °C para favorecer la absorción de agua y formación de la masa; a medida que se incrementa la temperatura se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen; una vez que la parte amorfa se ha hidratado completamente, la cristalina inicia un proceso semejante y para esto se requiere más energía. Estos gránulos en exceso de agua expuestos al calor, o aun dañando mecánica, química o enzimáticamente, gelifican formando estructuras sólidas. Este proceso es irreversible.

Este proceso de fenómenos se denomina gelatinización y es el que provee información importante acerca de la funcionalidad, los requerimientos energéticos y el uso final de este cereal ([Narváez-González et al., 2007](#)). Tanto la amilosa como la amilopectina y su estructura molecular influyen de manera determinante en la propiedades reológicas y funcionales del almidón en productos de maíz ([Jane y Chen, 1992](#)).

Las propiedades funcionales de la mayoría de los productos de maíz están influenciadas por el almidón, a diferencia de lo que ocurre con el trigo (*Triticum aestivum* L.) cuyas características están influenciadas principalmente por las proteínas ([Bedolla y Rooney, 1984](#); [Serna-Saldívar et al., 1990](#)).

La temperatura de cocción que sufren los productos de maíz nixtamalizado oscilan entre 180 y 270 °C; esto permite que se presente la gelatinización y solidificación de las estructuras formadas por los componentes básicos del almidón: amilosa y amilopectina, en conjunción con grasas, proteínas, agua y otros ingredientes. En granos altamente compactos, la retrogradación es más lenta pero con un alto rango de

gelatinización, y generalmente son estos granos los que utiliza la industria harinera, para tener un mayor control en la nixtamalización.

Además de su valor nutritivo, el almidón es importante a causa de su efecto sobre las propiedades físicas de muchos de nuestros alimentos. Por ejemplo: la gelificación, el espesamiento de las salsas y el fraguado de algunos postres, está todo ello fuertemente influenciado por las propiedades del almidón. El almidón también es un producto industrial importante, particularmente en la industria papelera.

Otro componente presente en el maíz es la fibra dietaria, con sus fracciones soluble e insoluble. La fracción soluble es un componente importante en el desarrollo de un producto, debido a su gran capacidad de absorber o ligar agua, conformada por  $\beta$ -glucanos y pentosanos (denominados comúnmente gomas), los cuales hacen que se tenga menos agua disponible para solubilizar con otros ingredientes y se puedan obtener texturas secas. En cambio la parte insoluble, donde encontramos celulosa y hemicelulosa, no altera el comportamiento químico del agua en el alimento, pero de igual forma hace la masa más pesada pues son partículas grandes, poco parecidas a un polvo.

La fibra soluble, desde el punto de vista de la salud, tiene una importancia muy amplia pues su consumo se ha relacionado a la reducción del colesterol sérico. Por su parte la fibra insoluble afecta el tránsito intestinal y la tasa de absorción de nutrientes, además de evitar también la absorción de glucosa, un problema latente en personas que padecen diabetes.

Otro componente presente son los azúcares solubles entre los que se encuentran principalmente: glucosa, fructosa y sacarosa; se encuentran en pequeñas cantidades, alrededor del 2%.

**b) Proteínas.** Las proteínas constituyen el segundo componente químico del grano por orden de importancia, después del almidón. El contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11% del peso del grano y en su mayor parte se encuentran en el endospermo ([Tabla 3](#)).

**Tabla 3. Composición proteica del grano de maíz.**

Proteína	%
Glutelinas	30
Prolaminas	55
Simples	41
Ligadas	14
Albúminas	7
Globulinas	2

Fuente: [Serna-Saldívar et al. \(2001\)](#).

A diferencia de los carbohidratos, el contenido proteico de cereales difiere notablemente, debido a características genóticas y condiciones ambientales. Primeramente las proteínas se dividen de acuerdo a la solubilidad: hidrosolubles (albúminas), solubles en soluciones iónicas débiles (globulinas), insolubles en agua (glutelinas).

Del total de la proteína del grano entero, alrededor de 55% son prolaminas (zeínas) que representan la principal proteína de reserva en el grano de maíz; se localizan principalmente en el endospermo del grano y conforman cuerpos proteínicos que rodean a los gránulos de almidón. Por su parte, las glutelinas (25%) se encuentran tanto en el germen como en el endospermo; éstas forman la matriz proteínica en la que se encuentran inmersos los gránulos de almidón.

Las albúminas y globulinas son disminuidas durante el proceso de nixtamalización o convertidas en una forma insoluble ([Martínez-Flores et al., 2002](#); [Ortega et al., 1986](#); [Bressani y Scrimshaw, 1958](#)). La proteína más importante que sufre un cambio durante la nixtamalización es la zeína verdadera, la cual decrece su solubilidad en un 71.6% en el proceso de elaboración de tortillas por el método tradicional y en procesos de extrusión hasta el 46.7% debido al tratamiento alcalino ([Martínez-Flores et al., 2002](#)).

En las leguminosas, como por ejemplo la soya, el contenido de gluteninas se reduce junto con las albúminas a un 10-20% y las que tienen el mayor porcentaje son las globulinas con un 70%.

Las proteínas afectan propiedades durante el procesamiento, almacenamiento y preparación de los alimentos; alteran interacciones hidrofóbicas y puentes disulfuro, lo que nos da un cambio en la elasticidad; también pueden ligar grasa y sabores por propiedades de atrapamiento. Las proteínas de la soya alteran la hidrofiliidad, hidrodinámica del tamaño y la forma aumentando la viscosidad por ejemplo en masas, además de alterar la absorción interfacial donde alteran la capacidad de absorción y retención de agua en masas.

[Kovacs et al. \(2004\)](#) encontraron que la densidad de empaque del gluten afecta su funcionalidad. Las propiedades tecnológicas y térmicas de las harinas proveen información importante acerca de su funcionalidad.

**c) Lípidos.** Dentro de la composición lipídica de los granos de maíz se encuentran diversos ácidos grasos, pero representan un porcentaje menor abarcando del 2.5-3-5% del grano ([Tabla 4](#)). El germen es rico en aceite, pero también se encuentran fracciones de proteína, carbohidratos y cenizas.

**Tabla 4. Composición lipídica del grano de maíz.**

<b>Composición</b>	<b>%</b>
Ácidos grasos	4.4
Palmítico	11.9
Esteárico	1.9
Oleico	29.3
Linoleico	55.5
Linolénico	1.0

Fuente: [Serna-Saldivar et al. \(2001\)](#).

De menor proporción que los carbohidratos y las proteínas, los ácidos grasos no presentan más del 4.5%. Esta fracción se encuentra principalmente en el germen, como todo ácido graso susceptible a la oxidación y rancidez es deseable su separación, para evitar el desencadenamiento de oxidación de ácidos grasos; en el caso del maíz sí se obtiene aceite, pero no en el caso del trigo debido a que su fracción es muy pequeña. De los ácidos grasos, el de mayor presencia en el aceite de maíz es el linoleico que representa el 50% de la composición, seguido por el oleico y el palmítico. Aunque las proporciones parecen similares, cabe mencionar que el maíz contiene el doble de ácidos grasos que el trigo. Los aceites y grasas son estructuras de mezclas de los triglicéridos y su funcionalidad o característica de aplicación que los diferencia entre sí, está en relación directa con su composición de triglicéridos. Los aceites y grasas imparten las siguientes características funcionales principales: lubricación, estructura, aireación, oclusión de humedad, medio de calentamiento, nutrición, vehículo y disolvente (aditivos grasos, vitaminas, sabores y colores).

**Vitaminas y minerales.** El contenido de los micronutrientes en el grano de maíz depende de diversos factores como el genotipo, manejo del cultivo, suelos, y también los procesos posteriores aplicados al grano como nixtamalización. En la [Tabla 5](#) se muestra la composición de algunos micronutrientes contenidos en el grano de maíz dulce.

Tabla 5. Composición de vitaminas y minerales del grano de maíz amarillo.

Componente	Contenido por 166 g de maíz	% IDR adultos
Vitamina A	355 UI	7
Tiamina (Vit B1)	0.6 mg	43
Niacina (Vit. B3)	6.0 mg	30
Folato (Vit. B9)	31.5 µg	8
Vitamina C	0.0 mg	0
Hierro	4.5 mg	25
Magnesio	211 mg	53
Potasio	476 mg	14

%IDR: Dosis diaria recomendada por la FDA para personas adultas.

Fuente: [USDA Nutrient Database \(2012\)](#).

## CAPÍTULO II. NIXTAMALIZACIÓN DEL GRANO DE MAÍZ

### ***Antecedentes***

El maíz para consumo humano ha sido procesado en México desde tiempos remotos, siguiendo la técnica precolombina llamada nixtamalización (del náhuatl *nixtli* cal de cenizas y *tamalli* masa de maíz cocida) ([Cabrerá, 1992](#)). Este proceso de cocimiento de maíz con cal se cree que fue inventado hace 3500 años. El proceso ancestral de nixtamalización consistía en calentar maíz por alrededor de media hora en agua en una olla de barro y poner un puño de cal; se dejaba reposar durante 12 horas aproximadamente; normalmente se hacía en la noche, después se lavaba, se molía en un metate (molino manual de piedra volcánica) y se obtenía masa de nixtamal, con la cual se elaboraban diversos productos desde alimentos como tortilla, totopos, arepas, tlayudas, sopes, enchiladas, hasta bebidas como el atole, tesgüino, pozol, etc.

Es indiscutible el desarrollo tecnológico y la trascendencia del proceso de nixtamalización en algunas civilizaciones; podría pensarse que este método fue inventado sólo para suavizar el grano y pareciera no tener otra función ([Figueroa y Aguilar, 1997](#)) lo cual ya representa un avance tecnológico. Sin embargo, es este cocimiento alcalino el que tiene una trascendencia tal, que hace que los alimentos derivados del maíz nixtamalizado tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo que aunque contiene casi todos los nutrimentos en mayor y menor cantidad, su composición cambia según la variedad y otros factores climáticos, genéticos, y prácticas agronómicas, entre otros factores, pero también resulta deficiente en aminoácidos esenciales (lisina y triptofano), niacina y vitaminas del complejo B que son sintetizadas a partir del triptofano ([Katz et al., 1974](#); [Trejo-González et al., 1982](#)).

### ***Proceso de nixtamalización***

El proceso de nixtamalización en la industria no ha cambiado mucho en 100 años comparado con otras industrias en alimentos; se han incluido equipos nuevos como

pailas de acero inoxidable donde se cuece el maíz, los molinos de nixtamal de piedras volcánicas, y puede ser que el equipo con más modificaciones fue la tortilladora que inicia como la tortilladora de aplasión en 1905 (un instrumento muy usual en los hogares); la tortilladora de cocimiento automático (1915); de rodillos en 1947 y en 1963 la tortilladora completamente automática (Marca Celorio), que amasa, hace la tortilla, la cuece y la enfría; ésta es la maquinaria que normalmente encontramos en la micro y pequeña empresa.

**a) Cocimiento.**

El maíz es vaciado a las marmitas de cocimiento con chaqueta de vapor. Se les agrega agua suficiente y un 1% de cal  $[Ca(OH)_2]$ . La solución se lleva a ebullición. A partir de que empiece a hervir, se inicia el tiempo de cocimiento que puede variar de 4 a 10 minutos para *tortilla chips* (totopos), 30 minutos para tortilla y de 15 a 45 minutos para *corn-chips* a una temperatura de 93°C ([Véles Medina, 2004](#)).

Una vez terminado el período de cocimiento, se agrega agua fría al maíz; esto es debido a dos razones: 1) lograr que la temperatura baje a menos de 49 °C, con lo cual se evitará que el almidón se sobregelatinice y 2) lograr que la solución tenga una mayor cantidad de agua para evitar que los granos de maíz se quiebren cuando sean bombeados con la consiguiente pérdida de sólidos.



Figura 4. a) Cocimiento artesanal de maíz. b) Paila de acero inoxidable para cocimiento de maíz.

Fuente: [G. Villamex \(2003\)](#).

Cuando los granos son sometidos a un cocimiento alcalino, muchos cambios químicos ocurren como: la gelatinización del almidón ([Gómez et al., 1992](#), desnaturalización y cambios en la solubilización de fracciones proteicas ([Martínez-Flores et al., 2002](#); [Ortega et al., 1986](#); [Vivas et al., 1987](#)), emulsificación de lípidos ([Martínez-Bustos et al., 2001](#); [Pflugfelder et al., 1988](#)); y otros cambios físicos como el reblandecimiento del grano y la desintegración de la cascarilla ([Véles Medina, 2004](#)); estos cambios juntos son necesarios para la obtención de masa de excelente textura y calidad.

Estos cambios físicos y químicos aumentan en la medida que los granos son más pequeños, están más quebrados y/o facturados, la cal es más activa y soluble, y se aplica mayor temperatura arriba de aproximadamente 60-70 °C por tiempo. El periodo del reposo debe permitir la difusión de la humedad dentro del grano para producir granos de nixtamal hidratados homogéneamente. En estas condiciones, el nixtamal es blando, prácticamente libre de pericarpio.

Los granos se hinchan debido al efecto combinado de la gelatinización del almidón, la degradación parcial de la estructura del endospermo, degradación/solubilización parcial de la pared celular y la solubilización parcial de la matriz proteica ([Morales, 1989](#)).

#### **b) Lavado.**

Una vez terminado el tiempo de reposo, el maíz es llevado al cilindro lavador, en el cual se eliminará la celulosa (cáscara) desprendida, la cabeza del grano y la cal ([Figura 5](#)). Si la celulosa y la cabeza del grano no son removidas, ocasionarán que el producto sea duro y quebradizo. El lavado tiene las funciones de eliminar el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento, además de enfriar el nixtamal dependiendo del tipo de cocimiento empleado ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

Como consecuencia del lavado el pH disminuye, se pierde materia seca, y puede mejorarse el color del producto. En ocasiones se disminuye o elimina el lavado con el propósito de conservar las gomas naturales del maíz (hemicelulosa y otras fibras solubles) y no reducir los rendimientos. Las gomas del maíz ayudan a retener el agua e imparten flexibilidad y suavidad a la masa y las tortillas. Por otro lado, cuando se retiene el exceso de cal existe un mayor riesgo de oscurecimiento del producto ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

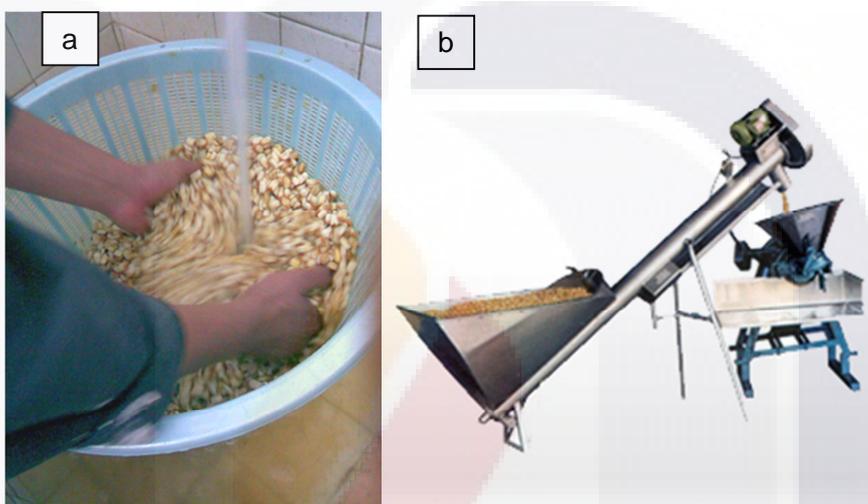


Figura 5. a) Lavado de maíz manual; b) Lavadora de maíz nixtamalizado.

Fuente: [G. Villamex \(2003\)](#).

**c) Molienda.**

Del cilindro lavador, el maíz pasa al molino de piedras, que consta de un par de piedras volcánicas dispuestas una frente a la otra, de las cuales una gira y la otra permanecen estática ([Figura 6](#)). El grado de molido del maíz puede ser determinado por la abertura existente entre las piedras. No es conveniente agregar agua al maíz en el molino, ya que pueden aparecer estrías en la superficie del producto como resultado de la mala integración del agua a la masa, lo que ocasionará que sea pegajosa. El maíz debe adquirir la humedad requerida durante el tiempo de reposo. Debe vigilarse

que la masa no se sobretrabaje en el molino, debido a que se le formarán ampollas al producto.

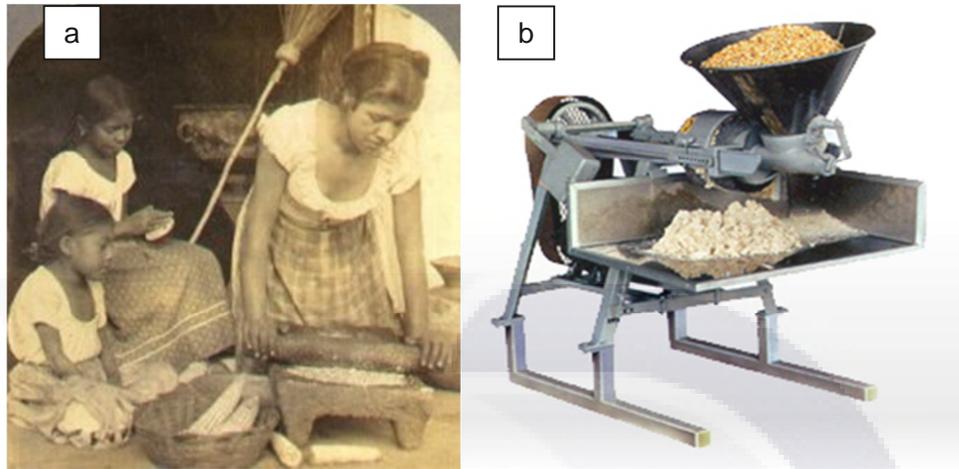


Figura 6. a) Molienda ancestral en el metate y b) Molino de nixtamal de acero inoxidable.

Fuente: [G. Villamex \(2003\)](#).

Es importante que las dos piedras del molino sean colocadas paralelamente, con una abertura entre las mismas que debe ser igual en cualquier punto, ya que de lo contrario existirán espacios por donde escapen partículas grandes que evitarán la uniformidad de la masa; la separación entre piedras influye en la consistencia de la masa requerida. Es conveniente que siempre se usen los mismos pares de piedras, evitando combinar piedras de diferentes pares. Para que el picado de las piedras sea siempre el mismo, se recomienda elaborar un molde, o de lo contrario el picado variará, lo que traerá como consecuencia una diferencia en la calidad del molido ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

Para productos fritos el nixtamal debe tener menos humedad. El tamaño, el tipo y estado del rayado y la separación entre las piedras afectan el tamaño de las partículas de la masa (finas o gruesas), la eficiencia, la fricción y el calentamiento desarrollados durante la molienda. Canales profundos en el rayado producen masa más gruesa. La adición de agua durante la molienda disminuye la fricción, evita el sobrecalentamiento y produce masa más suave. El rango de temperatura de la masa fresca común en la industria cuando sale del molino es de 50-75°C.

La molienda de nixtamal que se excedió de cocimiento, con alto contenido de humedad, entre piedras cerradas, sin adición de agua genera exceso de calor y tiende a producir masa pegajosa que se seca rápidamente. El servicio regular de las piedras y la aplicación de un rayado similar son críticos para el control de la molienda ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

La composición de la masa consiste de 10.5% de proteína, 4.2% de grasa, 1.9% de ceniza, 72.6% de almidón y 10.8% de fibra ([Gómez et al., 1989](#)).

### **Ventajas de la nixtamalización**

La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz. Durante el proceso de cocimiento alcalino, la zeína, una proteína nutricionalmente pobre, reduce su solubilidad, mientras que la glutelina, de mayor valor nutricional aumenta su solubilidad y con ello la disponibilidad de aminoácidos esenciales; pero también se ha observado por el contrario que se pierde un cierto valor nutricional con el tratamiento alcalino ([Paredes-López y Saharópulos-Paredes, 1983](#); [Bressani y Scrimshaw, 1958](#); [Trejo-González et al., 1982](#)). [Martínez-Flores et al., \(2002\)](#) encontraron que el grano nixtamalizado disminuye en 1.9% el contenido proteico, en un 10.3% el contenido de lípidos y 30.7% el de fibra dietaria.

El balance nutricional del proceso de nixtamalización es definitivamente positivo y los resultados indican un aumento de lisina y de triptófano; además las relaciones de isoleucina a leucina se incrementan 1.8 veces ([Katz et al., 1974](#)). [Bressani y Scrimshaw \(1958\)](#) observaron claramente un aumento en el balance de aminoácidos esenciales y la liberación de niacina que de otra manera permanecería sin ser aprovechada.

Es indiscutible el desarrollo tecnológico y la trascendencia del proceso de nixtamalización en las civilizaciones; podría pensarse que este método fue inventado sólo para suavizar el grano y pareciera no tener otra función ([Figueroa y Aguilar, 1997](#)), lo cual ya representa un avance tecnológico. Sin embargo, este

cocimiento alcalino tiene una trascendencia tal, que hace que los alimentos derivados del maíz nixtamalizado tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo, que aunque contiene casi todos los nutrimentos en mayor y menor cantidad, su composición cambia según la variedad y otros factores climáticos, genéticos, y prácticas agronómicas, pero también resulta deficiente en aminoácidos esenciales (lisina y triptofano), niacina y vitamina del complejo B que es sintetizada a partir del triptofano ([Katz et al., 1974](#); [Trejo-González et al., 1982](#)).

Uno de los logros tecnológicos más importantes en este campo ha sido la fabricación de harinas de maíz nixtamalizado (HMN) que comenzaron a utilizarse hace apenas 50 años. En el 2005 se destinaron 3,075 millones de toneladas de maíz para la obtención de harina a través del proceso de nixtamalización y 2,756 millones de toneladas para el procesamiento de botanas, almidones, cereales y semillas según la Cámara Nacional de Maíz Industrializado. Las HMN son en realidad harinas pre-gelatinizadas, en donde el grano ha sido sometido a un proceso térmico previo, dándole características nuevas y usos diversificados; algunas características de las harinas pre-gelatinizadas incluyen cambios en las propiedades como capacidad de absorción de agua, solubilidad, y viscosidad en un medio acuoso, entre otras ([Harper, 1981](#)).

Aparte de tener ventajas prácticas para su preparación, reducir considerablemente la mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición de granos de maíz y la generación de desechos contaminantes (nejayote) durante la elaboración del nixtamal ([Bello-Pérez et al., 2006](#)), las HMN pueden almacenarse a temperatura ambiente por periodos relativamente largos, la producción y distribución puede ser ajustada a la demanda, el producto es altamente homogéneo y tiene mejores condiciones de higiene. Sin embargo, entre algunas desventajas se tienen el incremento de los costos, así como la carencia de aroma y textura apropiada comparada con la masa de nixtamal ([Flores-Farías et al., 2002](#)).

Para la elaboración de HMN, se deshidrata la masa en un secador a una temperatura de entrada de 275 °C y a una temperatura de salida de 90 °C. El

sistema puede ser continuo si el maíz se desliza por un túnel, o por lotes (*batch*). La humedad final del producto oscila entre 8 y 10%. El material sometido a molienda se cierne para obtener diferentes granulometrías dependiendo del destino final de la harina; por ejemplo, mientras que las tortillas requieren una harina que contenga partículas finas en su distribución de tamaño de partícula para que promueva el desarrollo de mayor flexibilidad y cohesión, las harinas para elaborar tostadas de maíz y totopos requieren una distribución de tamaño de partícula gruesa ya que promueve una textura crujiente ([Fernández-Muñoz et al., 2005b](#)); generalmente se utilizan mallas de 0.8 y 2 mm ([Véles Medina, 2004](#)). El tamaño de las partículas afecta de forma muy significativa a la estabilidad de las masas, productos intermedios y finales; entre más grande sea el tamaño de las mismas mayor es la estabilidad, ya que la superficie total de las partículas es menor en relación al peso total y pueden también influir en propiedades como la capacidad de absorción y retención de agua en las formulaciones. La capacidad de absorción de agua (CAA) es la cantidad de agua que absorbe la harina para obtener una masa de consistencia apropiada para la preparación de tortillas, tostadas, totopos o cualquier producto de maíz nixtamalizado ([González et al., 1991](#)).

En cuanto al valor nutrimental de las masas de maíz nixtamalizado y de las HMN, las primeras tienen cantidades significativas de gránulos de almidón libres con bajo contenido de proteína, mientras que las HMN tienen cantidades de almidón y proteína muy similares a las presentes en el grano de maíz ([Gómez et al., 1992](#)). Por otro lado, durante la molienda ocurre un daño en los gránulos de almidón, modificando su estructura y convirtiendo las zonas cristalinas en moléculas desordenadas, que pueden hidratarse fácilmente y degradarse con enzimas amilolíticas. Además, el daño en almidón y excesivo calentamiento pueden generar una masa pegajosa, grumosa y tortillas con características poco deseadas ([Martínez-Flores et al., 1998](#)).

Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las HMN están la distribución de los tamaños de las partículas; este parámetro es muy importante en la elaboración de botanas ya que la granulometría también llega a influir en la capacidad de absorción y retención de agua, pH, reología de las

masas, absorción de aceite, y crujencia del producto final ([Figuroa y Aguilar, 1997](#); [Campus-Baypoli et al., 1999](#)).

### **Obtención de harina de maíz nixtamalizado**

#### **Antecedentes**

Uno de los logros tecnológicos más importantes en este campos es la fabricación de harinas de maíz nixtamalizado (HMN) que comenzó a utilizarse apenas hace 50 años ([Figuroa y González Hernández, 2001](#)), aparte de tener ventajas prácticas para su preparación, reduce considerablemente la mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición de granos de maíz y la generación de desechos contaminantes (nejayote) durante la elaboración del nixtamal ([Bello-Pérez et al., 2006](#)), la HMN puede almacenarse a temperatura ambiente por relativamente periodos largos, la producción y distribución puede ser ajustada a la demanda, el producto es altamente homogéneo y tiene mejores condiciones de higiene. Sin embargo entre algunas desventajas se tienen el incremento de los costos, la carencia de olor y de textura apropiada comparada con la masa de nixtamal ([Figuroa y González Hernández, 2001](#)).

[Gómez-Aldapa et al. \(1999\)](#) y [Jackson et al. \(1988\)](#) reportaron que componentes nitrogenados, almidón, lípidos, vitaminas y minerales son perdidos durante el proceso de nixtamalización. Pflugfelder et al., (1988) observo que la perdida de sólidos durante el proceso puede ser de entre 5 y 14 %.

#### **Proceso de obtención de harina de maíz nixtamalizado**

Para la elaboración de harina de maíz nixtamalizada, se deshidrata la masa en un secador a una temperatura de entrada de 275° C y a una temperatura de salida de 90° C. El sistema puede ser continuo, el maíz se desliza por un túnel, o por lotes (en batch). La humedad final del producto oscila entre 8 - 10%. El material sometido a molienda se cierce en diferentes granulometrías dependiendo del destino final de la harina, para la elaboración de productos fritos se utilizan en mallas de 0.8 y 2 mm ([Véles, 2006](#)).

Las harineras utilizan sólo maíz para producir la harina, la diferencia con el proceso tradicional es que se usa menor cantidad de cal y se le da menor tiempo de reposo al nixtamal, a fin de reducir la pérdida de material sólido en el reposo y lavado del nixtamal. Estas modificaciones en el proceso afectan la calidad de la tortilla que se produce a partir de la harina.

### **Ventajas del uso de harina de maíz nixtamalizado**

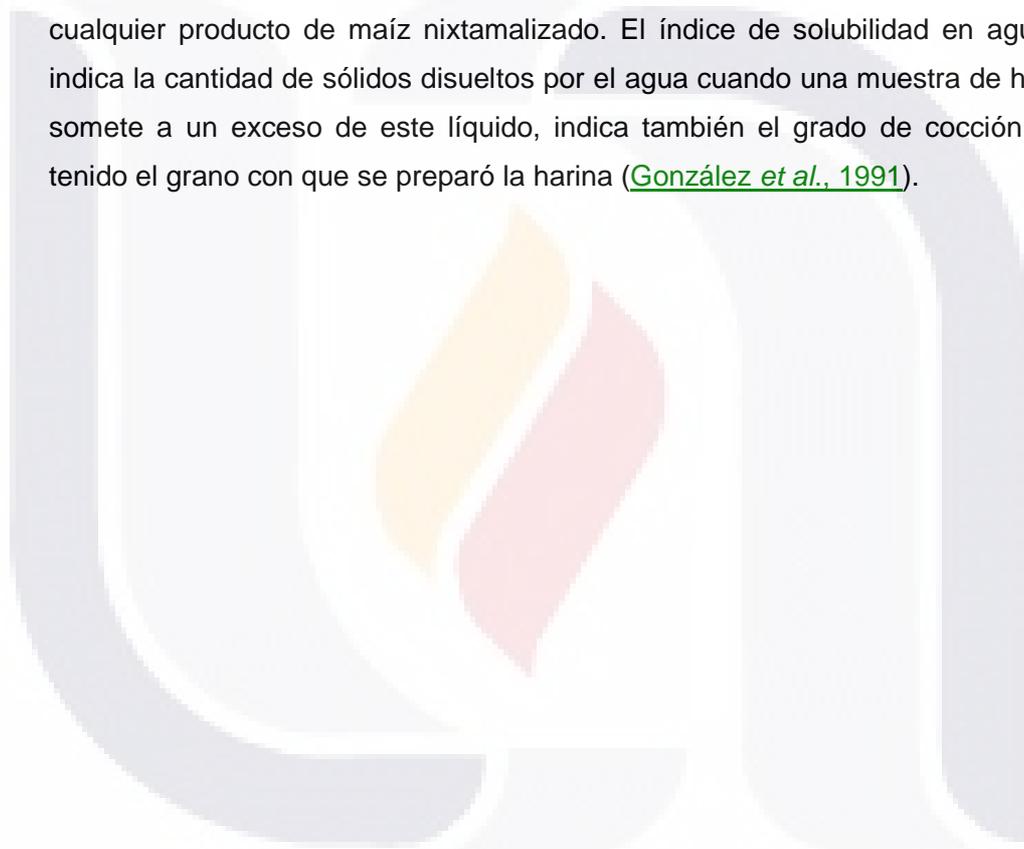
Las harinas de maíz nixtamalizado, son en realidad harinas pre-gelatinizadas, en donde el grano ha sido sometido a un proceso térmico previo, dándole características nuevas y usos diversificados; cambios en las propiedades como capacidad de absorción de agua, solubilidad, viscosidad en un medio acuoso son características de las harinas pregelatinizadas ([Harper et al., 1981](#))

En cuanto al valor nutrimental de las masas de maíz nixtamalizado y las HMN, las primeras tienen cantidades significativas de gránulos de almidón libres con bajo contenido de proteína y las HMN tienen una cantidad de almidón y proteína muy similar presentes en el grano de maíz ([Gómez et al., 1992](#)). Aunque durante la molienda ocurre un daño en los gránulos de almidón, modificando su estructura y convirtiendo las zonas cristalinas en moléculas desordenadas, que pueden hidratar fácilmente y degradarse en enzimas amilolíticas. El daño en almidón y excesivo calentamiento puede generar una masa pegajosa, grumosa y tortillas con características poco deseadas ([Martínez-Flores et al., 1998](#)).

Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) están la distribución del tamaño de la partícula, pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas ([Campus -Baypoli et al., 1999](#)).

Las tortillas requieren una harina que contenga partículas finas en su distribución de tamaño de partícula para que promueva el desarrollo de mayor flexibilidad y cohesión, mientras que las tostadas de maíz y totopos requieren una distribución de tamaño de partícula gruesa ya que promueve una textura crujiente ([Fernández-Muñoz et al., 2005a](#))

El tamaño de las partículas afecta de forma muy significativa a la estabilidad de la masas, productos intermedios y finales; entre más grande sea el tamaño de las mismas mayor es la estabilidad, ya que la superficie total de las partículas es menor en relación al peso total y pueden también influir en propiedades como la capacidad de absorción y retención de agua en las formulaciones. La capacidad de absorción de agua (CAA) es la cantidad de agua que absorbe la harina para obtener una masa de consistencia apropiada para la preparación de tortillas, tostadas, totopos o cualquier producto de maíz nixtamalizado. El índice de solubilidad en agua (ISA) indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido, indica también el grado de cocción que ha tenido el grano con que se preparó la harina ([González et al., 1991](#)).



### CAPÍTULO III: BOTANAS

Las botanas se conceptualizan como una comida ligera, que se consume entre las comidas regulares, el término se aplica desde una sobra de comida de casa o restaurante, totopos de maíz, sopas instantáneas, hasta un tazón de cereal, una barra de cereal, galletas y leche, entre otras. Es bastante notorio que el número de botanas o *snacks* que son consumidos durante el día se ha incrementado en las últimas décadas y se incrementará aún más en el futuro a corto plazo ([Cees de Graaf, 2006](#)).

[Ríos \(1989\)](#) clasificó en siete grupos los productos tipo botana de acuerdo al proceso al que eran sometidos; en la [Tabla 6](#) se presenta dicha clasificación.



**Tabla 6. Clasificación de botanas de acuerdo a su proceso.**

PROCESO	BOTANAS
Frituras	Papas fritas
	Zanahoria frita
	Plátano frito
	Derivados de papa
	Chicharrón de cerdo
	Frituras de harina
Extruidos	<i>Pellets</i> de harina
	<i>Corn chips</i>
	De masa: <i>Corn sticks</i>
	<i>Collets</i>
Troquelados	Botanas de tortilla
Recubiertos	Extruidos compuestos
	Cacahuates recubiertos
Explotados	Palomitas de maíz
Tostados	Cacahuates
	Habas
	Almendras
	Semillas de calabaza
	Semillas de girasol
	Garbanzos
Horneados	<i>Pretzels</i>

Fuente: [Ríos \(1989\)](#).

Los totopos de maíz se ubican en los productos troquelados y son botanas de tortilla. El troquelado consiste en hacer una lámina uniforme y delgada por medio de dos placas o rodillos; después por medio de un cortador o por el moldeo previo de una porción de masa se marcan piezas triangulares, circulares, entre otras formas.

El antecedente de las botanas de maíz fue la tortilla, diminutivo de torta (“pan de maíz”) que puede ser definida como un disco de masa con un diámetro de entre 160 y 250 mm y un grosor de 1 a 2 mm, la cual es cocida en un comal a temperaturas de 280 a 300 °C durante 90 a 120 segundos ([Lusas y Rooney, 2001](#)). Entonces a partir

de esta pieza cocida se empezó a “orear” y freír, lo cual cambia sus características organolépticas además de dar pie a la creación de una variedad de platillos.

### **Proceso de elaboración de botanas de maíz a partir de harinas de maíz nixtamalizado**

El proceso tradicional de elaboración de botanas de maíz a partir de HMN es relativamente sencillo; la eliminación del proceso de nixtamalización contribuye a la eliminación de la elaboración de otro producto adicional y a la estandarización de los productos finales en el caso de las botanas de maíz.

Para la formulación de masas se pueden emplear más de un tipo de harina, las cuales presentan diferencias como la granulometría, la presencia de aditivos de conservación, nutrimentos, etc. También se determina la cantidad de agua necesaria para hidratar las harinas; de igual forma las características del producto final establecen los porcentajes de agua a adicionar. En el caso de frituras de maíz, se necesita reducir el contenido de humedad desde la masa, pues es a través de los procesos térmicos aplicados que se quiere una reducción de agua hasta alrededor de 2-3% del producto frito, por lo que a mayor humedad inicial en la masa se requerirá mayor energía para llegar a esos porcentajes ([Amador-Rodríguez \*et al.\*, 2010](#)).

a) **Rehidratación de harinas y amasado.** La rehidratación de harinas consiste en lograr que cada partícula de la harina absorba agua para hidratarse y tomar la consistencia de masa. El agua a adicionar es preferible que registre temperaturas de 40-50°C, ya que es más fácil absorberla por parte de la harina además de favorecer a la pre-gelatinización del almidón. El amasado aplicado y la consistencia inicial de la masa deben combinarse para producir una masa que se pueda formar con las dimensiones deseadas: grosor, tamaño y forma, e inmediatamente pasen estas piezas, denominadas testales, a la banda transportadora que une la sección de moldeado y cortado con la banda de cocción (comal), con un mínimo de roturas, deformaciones y pérdida de testales. Es en esta etapa donde se reflejan gran parte de los efectos del cocimiento y molienda previos. Desafortunadamente, en caso de

observarse efectos indeseables, en muchos casos es demasiado tarde para corregir las características del nixtamal o la masa ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

[Del Pozo-Insfran et al. \(2006\)](#) realizaron estudios sobre los efectos que tendrían la acidificación con ácido fumárico en masas de maíz amarillo y azul sobre algunos componentes funcionales, y observaron que el contenido de antocianinas, compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante eran menos afectados por los tratamientos térmicos aplicados en la elaboración tanto de tortillas como de totopos, comparados con las masas control.

**b) Precocción.** En el primer paso del horno de la tortilladora, se calienta la pieza de masa y se sella la cara inferior con un mínimo de deshidratación. En el segundo paso la pieza se voltea, continúa el calentamiento y se sella la segunda cara. En este momento es donde divergen los procesos de elaboración de tortilla y de frituras de maíz (totopos). En el primer caso, el siguiente paso es volver a pasar la pieza por un tercer y cuarto comal, donde se aplica suficiente calor para producir vapor de agua en la pieza e inflar las tortillas. Para las frituras de maíz (totopos), el proceso de precocción termina e inmediatamente las piezas pasan a la banda de enfriado.

La precocción tiene diversas funciones: sellamiento de ambos lados de los testales para la solidificación y desarrollo de la textura final de la pieza, precocción de la parte interna del testal, posterior enfriado con la finalidad de que esas piezas no permanezcan calientes y, al momento de la recolección, no se adhieran unas a otras. El contenido de humedad de la masa para totopos debe ser menor que para la tortilla, ya que un alto contenido de humedad puede producir vapor que inflaría la pieza, ganando humedad residual que podría promover defectos posteriores durante el freído tales como mayor absorción de aceite, inflado de piezas y estancamiento de aceite en cavidades formadas por el inflado ([Amador-Rodríguez et al., 2010](#)).

El calentamiento del agua durante el horneado causa gelatinización del almidón y desnaturalización de proteínas que interaccionan con fibra y grasa creando una estructura que al deshidratarse es responsable de la textura de la tortilla. Las características físicas y químicas de la masa deben ser adecuadas para crear esta

estructura durante el horneado. En el caso de los productos fritos, es la gelatinización la que juega un rol importante en la crujencia y textura de los productos terminados ([Xue y Michael, 2007](#)).

Al salir el totopo del comal, es llevado por medio de un transportador que permite que haya circulación de aire sobre el producto, consiguiendo con ello equilibrar las humedades del centro y de la superficie, con lo cual se evita que exista un mayor grado de humedad en el centro que ocasionará ampollas cuando se fría.

**c) Deshidratación.** La deshidratación consiste en la eliminación de la mayor cantidad de agua del producto; la razón principal es porque el agua residual será intercambiada por aceite durante el freído; es decir, a mayor cantidad de agua mayor cantidad de aceite absorbido.

La deshidratación tiene la función de secar parcialmente la tortilla o totopo, impartir una apariencia ligeramente tostada y desarrollar la textura final de la tortilla. La combinación de la humedad y del tamaño de partícula de la masa con la temperatura y tiempo de residencia en el horno deben optimizarse para productos específicos ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)).

Tradicionalmente se inició usando la deshidratación solar, que consiste en “tender” las piezas precocidas en marcos durante 30 a 45 min para que el sol se encargue de deshidratar muy lentamente el producto; es un proceso artesanal y tiene la ventaja de usar la energía solar y no gastar en insumos, pero depende de los factores climáticos y es variable en las estaciones del año.

Los alimentos deshidratados siempre han sido utilizados para consumo directo en épocas de escasez, sin embargo actualmente están siendo preferidos para la formulación de otros tipos de alimentos, ya sea como ingredientes de alimentos funcionales, bocadillos, productos lácteos, desayunos integrales, barras de cereales o como parte de alimentos con componentes prebióticos o probióticos. ([Marin et al., 2006](#)).

[Kayacier y Singh \(2003\)](#) midieron la fuerza de fractura en chips de maíz horneadas tratadas con diferentes combinaciones tiempo/temperatura; encontraron que las células de aire y grietas formadas durante el horneado son importantes para los atributos de textura. Algunos autores han investigado procesos para la reducción del contenido de grasa en chips de maíz aplicando pre-tratamientos como el escaldado o el secado de impacto (*impingement drying*) antes del freído ([Lujan-Acosta y Moreira, 1997](#)).

Otra tratamiento de deshidratación que incluye condiciones de vacío ha sido estudiado en botanas de maíz ([Xu y Kerr, 2012](#)). La liberación de vapor de agua que existe en el producto crea vacíos y permite la formación de la estructura para alimentos crujientes. La deshidratación por vacío es un proceso que utiliza presión y calor para deshidratar los alimentos. Mediante la reducción del punto de ebullición del agua en los alimentos se forman burbujas en el producto en cuanto el agua emerge. La deshidratación al vacío no sólo mantiene alta calidad de los productos finales sino que también puede producir estructuras acolchonadas. El desarrollo de estructuras porosas que tienen múltiples fracturas es un requisito para botanas crujientes. [Xu y Kerr \(2012\)](#) concluyeron que el secado al vacío es un método factible para producir botanas de maíz de bajo contenido de grasa con una buena aceptación sensorial. El proceso de vacío puede crear una estructura ligeramente expandida que puede contribuir a la crujencia del producto, además de evitar menores pérdidas de nutrientes y componentes bioactivos.

**d) Freído.** Consiste en la inmersión en aceite de las piezas deshidratadas a temperaturas de entre 185-190 °C; el tiempo de inmersión es variable pues a mayor cantidad de humedad presente en el alimento, más tiempo será necesario para lograr la evaporación de agua, la formación de una estructura rígida y el desarrollo del color deseado.

Durante el freído se deshidratan rápidamente las piezas hasta un contenido de humedad del 1.5-2.5% con el desarrollo de la textura, la apariencia y el sabor del producto final. El recubrimiento de sal y otros saborizantes confieren el sabor final al producto. La temperatura del aceite, el tiempo de freído, la calidad del aceite y la

alimentación uniforme del producto a la freidora son factores de control. Se desea una combinación de parámetros que produzcan una evaporación rápida del agua a través de la formación de poros en las piezas sin formar exceso de burbujas grandes en la superficie.

La estructura de la pieza frita es rígida y porosa. El aceite penetra a las piezas a través de los poros. Las burbujas de la superficie tienden a llenarse de aceite aumentando el contenido de aceite de los productos fritos ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)). En los primeros 15 segundos del freído se tiene el mayor rango de pérdida de humedad y absorción de aceite y continua constante a medida que el freído prosigue; se incrementa la velocidad de pérdida de humedad a medida que la temperatura se incrementa ([Moreira et al., 1995](#)).

Los totopos contienen de 21-34% de aceite y este contenido varía dependiendo del tipo de grano, el proceso de cocción, la granulometría de la harina o masa, tiempo de deshidratado, y otros ([Lee, 1991](#)). Durante el freído, el 20% del aceite es absorbido por el totopo y el 80% permanece en la superficie de éste; ya durante el enfriamiento 64% se absorbe por el totopo y el otro 34% permanece en la superficie del totopo ([Kawas y Moreira, 2001](#)). La apariencia opaca y aceitosa es indeseable. Los totopos demasiado duros para romper (morder) o muy quebradizos son indeseables.

Para la elaboración de productos fritos (totopos), con textura crujiente color claro y baja absorción de aceite, las características del nixtamal y la masa deben combinarse con diversos tratamientos térmicos: precocción y deshidratado, para producir piezas con relativamente bajo contenido de humedad de 30-40% sin inflarse y que permitan una distribución homogénea del agua en la pieza durante el reposo previo al freído ([Véles Medina, 2004](#)).

El freído por inmersión es muy popular y es ampliamente usado en industrias y hogares. Muchos son los factores que se sabe que afectan la absorción de aceite. Entre ellos se incluyen la gravedad específica, el contenido de humedad y la superficie del alimento en contacto con el medio de freído ([Adambounou y](#)

Castaigne, 1981; Greenfield et al., 1984; Gamble y Rice, 1987; Makinson et al., 1987; Varela et al., 1988), el tiempo de freído (Pravisani y Calvelo, 1986), la temperatura de freído (Varela, 1977; Van Zeddemann, 1981), el número de ciclos de freído (Varela et al., 1988), los ingredientes en los alimentos (sólidos, humedad, grasa y proteína ), la porosidad, y los tratamientos previos al freído (secado, blanqueado).

El contenido de aceite en alimentos fritos se ha relacionado con el contenido inicial de humedad (Moreira et al., 1997); el tratamiento previo al freído (Gamble y Rice, 1987); cambios estructurales durante la cocción (Rock-Dudley, 1993) y el tiempo de enfriamiento (Sun y Moreira, 1994; Thoufeek et al., 1995). De la misma manera el contenido de aceite es también influenciado por el contenido de proteína, fibra y grasa y son factores que influyen en la absorción de aceite durante el freído de productos de maíz nixtamalizado y soya (Thoufeek et al., 1995).

La reducción del contenido de aceite en los alimentos fritos ha sido un área de interés de investigadores ya que es esencial para la calidad del producto y es desventajoso para el alimento y el procesador (alto costo de operación) y para el consumidor (valor nutricional) (Ziaifar et al., 2008).

En la [Figura 7](#) se presenta el proceso tradicional para la elaboración de totopos de maíz a partir de HMN.

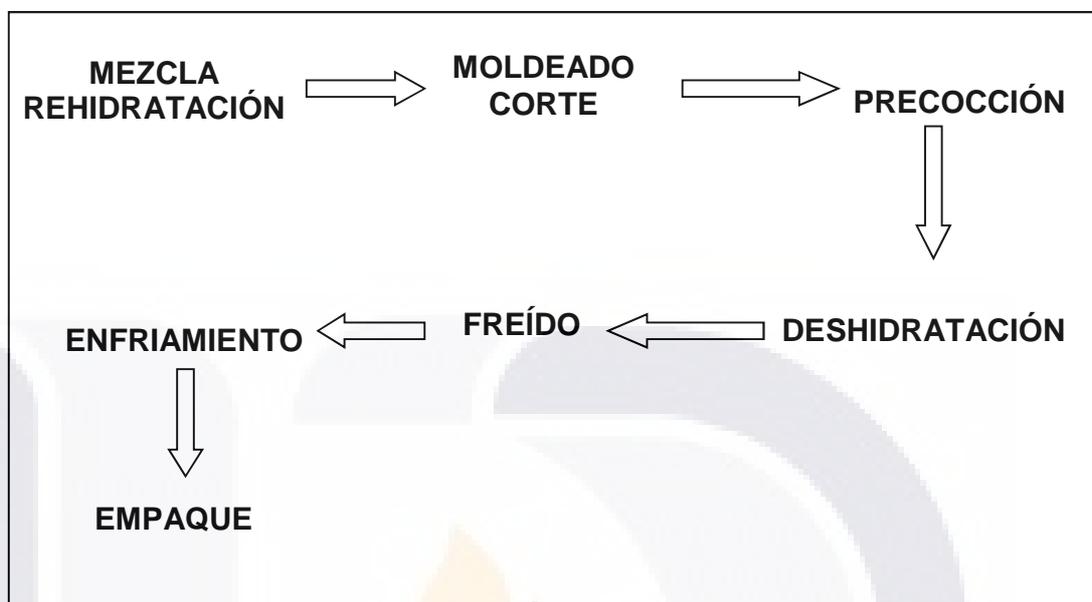


Figura 7. Diagrama de flujo del proceso tradicional de elaboración de totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado.

Según [Lusas y Rooney \(2001\)](#), algunas características de los totopos son:

1. Seguros y libres de químicos potencialmente peligrosos, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos.
2. Típicamente preparados comercialmente en grandes cantidades mediante procesos continuos.
3. Sazonados, usualmente con sal, y frecuentemente adicionados de sabores.
4. Estables en anaquel; no requieren refrigeración para su conservación.
5. Empacados listos para el consumo, típicamente divididos en piezas pequeñas, de fácil manejo con los dedos, y pueden tener apariencia aceitosa o seca dependiendo de las expectativas del cliente para el producto en específico.
6. Vendidos al cliente en condiciones frescas, frecuentemente logrado por las siguientes medidas:
  - Empleando materiales de empaqueo que excluyen del interior la humedad, el oxígeno y son ligeros, para proteger la crujencia del producto, la oxidación natural de grasas y remoción adicional de catálisis y oxidación respectivamente.

- ☑ Algunas veces empleando un empaque de atmósferas inertes (nitrógeno) y/o sistemas antioxidantes probados para una protección de grasas adicional.
- ☑ Empaques de códigos de fechas y remoción de estos de los anaqueles si no son vendidos a tiempo.

Los atributos de calidad de totopos (“tortilla chips”) que son altamente apreciados en el mercado incluyen: a) libres de exceso de aceite, b) textura característica, c) piezas delgadas, d) sin exceso de burbujas, e) color claro y brillante y f) libres de olor a rancidez. [Hardacre et al. \(2006\)](#) realizó perfiles de textura en botanas de maíz midiendo plasticidad, elasticidad y la resistencia hasta la fractura del material. Las características de textura en los alimentos depende de diferentes propiedades físicas y fisicoquímicas del producto, pero también del único y complejo sistema sensorial humano ([Moskowitz, 1987](#)). Los métodos instrumentales tienen la ventaja de proveer medidas repetitivas y reducir los problemas derivados de trabajar con personas. Sin embargo, es importante relacionar medidas instrumentales seleccionadas a características sensoriales específicas del producto ([Stone y Sidel, 1993](#)). Totopos demasiado duros para romper (morder) o muy quebradizos son indeseables.

El aumento de la preferencia por productos bajos en grasa aunado al crecimiento continuo en las ventas de totopos horneados pone un desafío adicional a los procesadores de productos de maíz nixtamalizado. Totopos bajos en grasa y con las características sensoriales de los totopos fritos es el sueño dorado de la industria de las botanas (“*snacks*”), además de la tendencia actual por diversificar un producto. Combinaciones de varios tipos de calentamiento por radiación y convección y formulaciones con aditivos están siendo empleados comercialmente para la manufactura de estos productos. Entonces el mayor desafío es mejorar el proceso de freído mediante el control y la reducción del contenido final de grasas en los productos fritos ([Ziaifar et al., 2008](#)).

### **Tendencias en la elaboración de botanas**

En las últimas décadas la población a nivel mundial ha cambiado de forma drástica los hábitos alimenticios, debido a múltiples factores laborales, sociales, económicos,

etc. Esto aunado al desarrollo y mejoramiento de alimentos por parte de la investigación y la industria han permitido disponer de alimentos fáciles de preparar, listos para consumirse, con mejores características nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales para el consumidor.

Debido al alto consumo de tortilla mencionado, y de otros productos nixtamalizados como: totopos, tostadas, extrudidos y otros; los productos nixtamalizados son un excelente vehículo para el incremento y mejora nutrimental de la ingesta de la población, ya que su consumo se da en todos los niveles socioeconómicos en México. Varios proyectos de investigación han llevado a cabo intentos para mejorar la calidad nutricional de las tortillas, incluyendo enriquecimiento con frijol de soya y garbanzo ([Massieu et al., 1954](#)), suplementos de aminoácidos ([Bressani y Elías, 1972](#)), adición de harinas concentradas de proteína de soya ([Green et al., 1977](#); [Serna-Saldívar et al., 1988](#); [Rooney, 1999](#)), o suplementos de vitaminas y minerales ([Rosado et al., 1999](#)).

En algunos casos, se han logrado importantes avances, entre ellos el sabor, aroma y color han sido cambiados o la vida de anaquel de los productos ha disminuido ampliamente ([Del Valle y Pérez-Villaseñor, 1974](#); [Green et al., 1977](#); [Collins y Sánchez, 1980](#)). Por otro lado, todos los suplementos nutricionales son muy costosos, y su inclusión en las tortillas disminuye el éxito de alcanzar la mayor parte de los grupos con bajos ingresos económicos.

Estudios previos han mostrado que el mejoramiento del cociente de eficiencia proteica (PER) es alcanzado con la adición de 4-6% de soya en la forma de grano entero, harina de soya (50%), concentrado de proteína de soya o aislado de proteína de soya ([Bressani et al., 1974, 1978](#); [Obatolu et al., 2006](#)).

[Obatolu et al. \(2007\)](#) realizó una investigación cuyo objetivo fue mejorar y diversificar la situación nutricional de la población en comunidades rurales de Nigeria desarrollando una tortilla casera cocida y frita de maíz y soya. El alto contenido mineral observado en tortillas fortificadas podría ser debido a la soya; los incrementos de los minerales fueron:

P, 1.1 g kg<sup>-1</sup>; K, 4.8 g kg<sup>-1</sup>; Ca, 1.2 g kg<sup>-1</sup>; Zn, 12 g kg<sup>-1</sup>. Determinaron que el freído mejora significativamente la aceptación general de la tortilla sobre la tortilla cocida.

### **Ingredientes incorporados en la elaboración de productos de maíz nixtamalizado**

La sustitución con harinas no convencionales (HNC) en el proceso de elaboración de productos de maíz nixtamalizado viene a enriquecer el valor nutrimental de los mismos, y ha sido estudiado en tortilla ampliamente ([Rooney, 1999](#); [Collins y Sanchez, 1980](#); [Green et al., 1977](#); [Del Valle y Pérez-Villaseñor, 1974](#); [Del Valle et al., 1976](#)). Las HNC son todas aquellas que no forman parte de la materia prima empleada para la elaboración del producto ordinario, y son incorporadas por motivos nutrimentales, tecnológicos, de reducción de costos, e incremento de rendimientos, entre otras razones.

La harina de nopal (HN) se ha utilizado en productos de maíz nixtamalizado y ha modificado el valor nutrimental del producto por su alto aporte en fibra. El rol benéfico de la fibra dietaria y otras fuentes ricas en fibra insoluble han sido demostradas por varios investigadores ([Hoedje et al., 2004](#); [Chau et al., 2004](#)); esto al parecer debido principalmente a la alta viscosidad, las fibras pueden inhibir o disminuir la digestión del almidón mediante el retraso de la absorción y difusión de la glucosa a través del tubo digestivo ([Wolf et al., 2004](#); [Ruiz-Roso, 2002](#)). La presencia de HN en tortilla no es nuevo, y han aparecido diversas marcas en el mercado, en donde el contenido de fibra se incrementa y la reducción de calorías es notoria con respecto a la tradicional.

[Sáenz \(1997\)](#) observó un 42.2% de fibra dietaria en harina de nopal de la cual 28.4% era fibra insoluble y 14.5% soluble, es decir una relación 2:1 de fibra insoluble contra la soluble. Por otro lado, [Rosado y Díaz \(1995\)](#) reportaron un 50.4% de fibra dietaria en harina de nopal deshidratado. También se ha reportado que la adición de más del 20% de HN podría afectar la textura y alterar negativamente la aceptación por los consumidores. Otra propiedad alterada es la reología; aparentemente la temperatura de rehidratación de la HN de entre 75-80 °C afecta el contenido y viscosidad del mucílago disminuyendo su efecto ([Sáenz, 1997](#)).

La sustitución con harina de soya desgrasada (HSD) en tortillas ha reportado un mejor comportamiento funcional que los concentrados y aislados de soya adicionados a niveles iguales de proteína ([Rooney, 1999](#)), otras de las ventajas de la incorporación de HSD se ha debido principalmente a su bajo costo, alto contenido de proteínas y el efecto complementario a las proteínas del maíz, lo cual eleva significativamente la calidad proteica de alimento.

Adicionalmente la soya ha sido estudiada ampliamente y se le ha reconocido con un potente rol en la protección contra el cáncer ([Herman et al., 1995](#); [Xu et al., 2000](#)); la reducción del riesgo de desarrollar cáncer mamario y de próstata ([Herman et al., 1995](#); [Lamartiniere et al., 1995, 1998](#); [Sarkar y Li, 2002](#)) y un efecto hipocolesterolémico ([Rosell et al., 2004](#); [Tovar et al., 2002](#); [Baum et al., 1998](#); [Sitori et al., 1995](#)).

[Rooney \(1999\)](#) trabajó con soya en diferentes formas: harina de soya natural, harina de soya tostada, harina de soya desgrasada y concentrado de soya. La harina de soya desgrasada natural, adicionada al maíz, reportó un mejor comportamiento funcional en las tortillas de maíz, que la harina de soya desgrasada tostada, el concentrado de soya y los aislados de soya, adicionados al maíz a niveles iguales de proteína. Las tortillas que contenían 5% de harina de soya desgrasada natural aumentaron la absorción de humedad de la masa y, en general, produjeron tortillas con un mayor contenido de humedad. La harina de soya desgrasada natural aumentó la suavidad y doblez de la tortilla durante su almacenamiento. También originó significativamente más manchas cafés y ampollas sobre la superficie de la misma. La reducción en la temperatura del horno disminuyó las manchas cafés y produjo tortillas con mayor contenido de humedad. La combinación de 0.5% de carboxi-metil-celulosa (CMC) -hidrocoloide comercial usado en fabricación de tortillas para darles flexibilidad y aumentar retención de humedad- y 5% de harina de soya desgrasada natural, produjo tortillas que permanecieron suaves y flexibles durante su almacenamiento a 23 °C y 4°C. La textura de tortillas rancias recalentadas mejoró con la adición de harina de soya desgrasada natural y el 0.5% de CMC. El uso de harina de soya desgrasada natural puede transmitir a las tortillas propiedades funcionales útiles, junto con la obvia mejora nutricional. Un panel

informal de degustación encontró aceptables el sabor y la textura de las tortillas de maíz.



## CAPÍTULO IV: EL HUITLACOCHÉ COMO UN INGREDIENTE FUNCIONAL

### Aspectos generales del huitlacoche

[Goldberg \(1994\)](#) definió a un alimento funcional como *"cualquier alimento que, además de su valor nutricional, tiene un efecto positivo en la salud, el rendimiento y el estado mental de un individuo"*. En la actualidad, se observa una clara preocupación por la posible relación entre el estado de salud personal y la alimentación que se recibe. En opinión de los expertos, muchas de las enfermedades crónicas que afligen a la sociedad de un modo particular (cáncer, obesidad, hipertensión, trastornos cardiovasculares) se relacionan de un modo muy estrecho con la dieta alimenticia. Las técnicas de investigación en el campo de la epidemiología y la dietaria permiten establecer ciertas relaciones entre los estilos de vida y los hábitos alimentarios, a la vez que es posible destacar la incidencia de algunas enfermedades en la mortalidad de la sociedad occidental. Algunos trabajos científicos han puesto de relieve que ciertos ingredientes naturales de los alimentos proporcionan beneficios y resultan extraordinariamente útiles para la prevención de enfermedades e incluso para su tratamiento terapéutico.

Algunos hongos comestibles son recursos alimentarios fisiológicamente funcionales y pueden además ser usados como materiales para el desarrollo de medicinas benéficas y no invasivas. Hay hongos patógenos que son consumidos en distintos países, un ejemplo es en México que se consumen grandes cantidades de mazorcas de maíz infectadas con el hongo *Ustilago maydis*, tanto frescas como en conserva ([Figura 8](#)); las agallas producidas por el hongo en las mazorcas de maíz (*Zea mays* L.) se conocen como huitlacoche o cuitlacoche, y en México se consume desde la época prehispánica.



**Figura 8. Huitlacoche fresco**

El huitlacoche es un basidiomiceto del orden de los Ustilaginales; algunas características de éstos son las siguientes:

- Infechan estructuras reproductivas de las plantas, principalmente flores.
- El desarrollo del micelio no es profuso.
- El promicelio está septado transversalmente, con basidiosporas laterales y terminales.
- Pertenece al género *Ustilago*, cuyas especies tienen soros con apariencia de hollín y vagamente lleno con teliosporas negras o café oscuro; la especie *maydis* es un parásito específico del maíz ([Valverde et al., 1995](#)).

### Composición química del huitlacoche

El huitlacoche contiene carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas que contribuyen a su valor nutricional. [Valverde et al. \(1995\)](#) examinaron la composición proximal del huitlacoche ([Tabla 7](#)).

**Tabla 7. Composición proximal del huitlacoche.**

<b>Componente</b>	<b>g /100 g base seca</b>
Proteínas (Nx6.25)	11.5-16.4
Grasa	1.6-2.3
Cenizas	5.2-7.0
Fibra	16.0-23.5
Carbohidratos	55.1-66.5

Hasta hace algunos años no se habían realizado análisis de los carbohidratos (principalmente polisacáridos) del huitlacoche, a pesar de que dichos componentes ya se sabía que eran mayoritarios en su composición; [Beas Fernández et al. \(2007, 2008\)](#), [Carrillo Díaz \(2008\)](#) y [Carrillo-Díaz et al. \(2007, 2008\)](#) profundizaron en el análisis de tales componentes en huitlacoche recolectado y generado en campo. Los resultados sugirieron que el huitlacoche contiene altos niveles de fibra soluble, insoluble y algunos compuestos bioactivos de naturaleza sacarídica simple, como los oligosacáridos de la familia de la rafinosa.

Con respecto a la determinación de fibra dietaria total de huitlacoche, se obtuvo un porcentaje de 54 a 65%; al parecer se encuentra por arriba de lo encontrado en ciertas variedades de frijol y maíz que tienen de 14 a 19% y de 23 a 25% de fibra dietaria total, respectivamente ([Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998](#)). Comparándolo con otros hongos comestibles como *Pleurotus sajor-caju* (35%) y *Volvariella volvacea* (28%) ([Cheung, 1996](#)), el huitlacoche también resulta más alto en fibra dietaria total. [Díez y Álvarez \(2001\)](#) encontraron en dos especies del hongo comestible *Tricholoma* de 45 a 50% de fibra dietaria. [Salazar-López et al. \(2012\)](#) obtuvieron mejores efectos funcionales en ratas diabéticas alimentadas con huitlacoche cocido en comparación con el huitlacoche crudo; entre ellos reducción de la concentración de glucosa y reducción de los daños histológicos en riñón e hígado con respecto al control.

### **Compuestos bioactivos del huitlacoche**

**a) Compuestos fenólicos.** Los hongos contienen una variedad de metabolitos secundarios, incluidos varios compuestos fenólicos, los cuales han demostrado actuar como excelentes antioxidantes ([Dubost et al., 2007](#)). Los compuestos fenólicos pueden ser clasificados como fenoles simples y ácidos fenólicos tales como el ácido gálico, ácido benzoico, ácido siríngico, ácido clorogénico y otros asociados; y polifenoles, los cuales son clasificados dentro de muchos grupos tales como flavonoides, taninos, estilbenos, entre otros. La bioactividad de los compuestos fenólicos puede estar relacionada a su capacidad para quelar metales, inhibir lipooxigenasa, y atrapar radicales libres ([Kim et al., 2008](#)). Los radicales libres

son definidos como cualquier molécula o átomo con uno o más electrones desapareados. Con la posesión de electrones desapareados, los radicales libres son usualmente inestables y altamente reactivos. El radical peroxilo ( $\text{ROO}\bullet$ ) es un paso clave en la peroxidación lipídica y es una causa importante de destrucción de la membrana celular y de esta manera ocasiona daño tisular. Así, el consumo de antioxidantes dietarios de estos recursos es benéfico en la prevención de enfermedades ([Lo y Cheung, 2005](#)).

[Beas Fernández et al. \(2006\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Guevara Lara et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), y [Beas Fernández \(2011\)](#) encontraron diferencias en el contenido de fenoles solubles totales de acuerdo a las localidades que fueron muestreadas; encontraron también una variación en los contenidos de antocianinas y taninos. Se detectaron diferencias entre las localidades que fueron muestreadas tanto para los fenoles solubles totales como para las antocianinas y los taninos condensados. En la [Tabla 8](#), se observa que el contenido de fenoles solubles totales se encuentra en un rango de 0.39 a 0.64 g de equivalentes de ácido gálico (EqAG)/100 g, el cual es mayor al encontrado en diferentes variedades de frijol, el cual presentó un rango entre 141 a 198 mg/100 g ([Guevara-Lara et al., 2006](#)).

**Tabla 8. Contenido de fenoles solubles totales, antocianinas y taninos condensados en muestras de huitlacoche colectado en diferentes estados del centro de la República Mexicana y generado en diversas variedades de maíz criollo.**

Muestras	Fenoles solubles totales (g EqAG/100 g)	Antocianinas (mg cianidina 3-glucósido/kg)	Taninos condensados (mg Eq(+)Cat/100 g)
<b>Huitlacoche colectado</b>			
Aguascalientes	0.63 ± 0.02 <sup>a</sup>	139.4 ± 20.8 <sup>b</sup>	129.3 ± 30.0 <sup>b</sup>
Jalisco	0.45 ± 0.02 <sup>b</sup>	72.1 ± 11.6 <sup>c</sup>	32.2 ± 12.8 <sup>c</sup>
Irapuato	0.45 ± 0.03 <sup>b</sup>	89.8 ± 5.2 <sup>c</sup>	43.4 ± 8.7 <sup>c</sup>
Salamanca	0.64 ± 0.03 <sup>a</sup>	226.3 ± 12.5 <sup>a</sup>	140.0 ± 12.8 <sup>b</sup>
Michoacán	0.39 ± 0.01 <sup>c</sup>	71.7 ± 5.0 <sup>c</sup>	16.2 ± 13.5 <sup>c</sup>
Puebla	0.48 ± 0.02 <sup>b</sup>	86.0 ± 4.4 <sup>c</sup>	56.3 ± 15.6 <sup>c</sup>
<b>Huitlacoche generado</b>			
Amarillo	0.50 ± 0.00 <sup>b</sup>	143.7 ± 8.9 <sup>b</sup>	65.8 ± 5.9 <sup>c</sup>
Negro	0.46 ± 0.01 <sup>b</sup>	114.4 ± 4.3 <sup>b</sup>	157.4 ± 15.6 <sup>b</sup>
Pipitillo	0.54 ± 0.02 <sup>b</sup>	126.5 ± 4.4 <sup>b</sup>	310.2 ± 23.5 <sup>a</sup>

Fuente: [Beas Fernández et al. \(2006\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Guevara Lara et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), y [Beas Fernández \(2011\)](#).

EqAG = Equivalentes de ácido gálico; Cat = Catequina.

Se muestran medias y desviaciones estándar (n=9). Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias altamente significativas según la prueba de rangos múltiples de Student-Newman-Keuls (p≤0.01).

**b) Compuestos fenólicos solubles.** [Zaragoza Monroy et al. \(2009\)](#), [Zaragoza-Monroy et al. \(2010\)](#) y [Zaragoza Monroy \(2011\)](#) determinaron el contenido de compuestos fenólicos solubles de huitlacoche (*Ustilago maydis*) y *Pleurotus ostreatus* en varios extractos: etanólico, metanólico, acuoso frío y caliente. Los resultados fueron expresados en miligramos de equivalentes de ácido gálico extraídos por gramo de muestra en base seca (mg EqAG/ g bs) ([Tabla 9](#)).

**Tabla 9. Fenoles solubles totales en extractos de compuestos fenólicos solubles de huitlacoche y *P. ostreatus***

Hongo	Extracto	mg EqAG/g bs
Huitlacoche	Etanólico	3.8 ± 0.1 d
	Metanólico	4.2 ± 0.11 d
	Acuoso Frío	6.8 ± 0.20 b
	Acuoso Caliente	4.2 ± 0.36 d
<i>P. ostreatus</i>	Etanólico	2.3 ± 0.1 f
	Metanólico	2.6 ± 0.23 ef
	Acuoso Frío	7.9 ± 0.37 a
	Acuoso Caliente	4.4 ± 0.2 cd

Fuentes: [Zaragoza Monroy et al. \(2009\)](#), [Zaragoza-Monroy et al. \(2010\)](#) y [Zaragoza Monroy \(2011\)](#). Se muestran los promedios de tres repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes son estadísticamente diferentes (prueba Student-Newman-Keuls, α=0.05). Coeficiente de variabilidad, 5.19%.

Estos resultados son muy similares a los reportados por [Beas Fernández et al. \(2006\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Guevara Lara et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), y [Beas Fernández \(2011\)](#), quienes reportaron valores de 3.8-6.4 mg/g base seca. De los datos anteriormente mencionados, se puede destacar que el huitlacoche posee rendimientos favorables de extracción y los cuales son mayores que otros alimentos como frijol donde [Guevara-Lara et al. \(2006\)](#) encontraron valores inferiores de entre 1.41-1.98 mg/g base seca. Lo anterior orienta a que existe evidencia de la presencia de niveles favorables de compuestos fenólicos, así como de sus propiedades nutraceuticas.

**c) Compuestos fenólicos insolubles.** Los compuestos fenólicos insolubles en hongos los integran principalmente las melaninas, las cuales son macromoléculas formadas por polimerización oxidativa de compuestos fenólicos o indólicos más simples. Comúnmente los pigmentos resultantes son marrones o negros en color pero muchos otros colores han también sido observados.

Las melaninas se encuentran en las paredes celulares de las hifas, y en las paredes celulares de las esporas o esclerocios fúngicos. Existe evidencia de que las estructuras melanizadas estabilizan radicales libres en los sistemas biológicos, esto debido a su gran nivel de resonancia de electrones, lo cual sugiere que la melanina representa una trampa para electrones desapareados. Este fenómeno fue interpretado por la evidencia de tres estados de oxidación de los residuos quinónicos de la melanina: hidroquinona (estado totalmente reducido), semiquinona

(radical libre estable y parcialmente oxidado), y quinona (producto de la oxidación de dos electrones).

Las propiedades funcionales y bioactivas de las melaninas son debidas a su capacidad de ser radioprotectoras y antioxidantes, son adsorbentes de radionucleidos y metales pesados y pueden proteger efectivamente a los organismos vivos de la radiación ultravioleta; por ello son usadas en medicina, farmacología, cosméticos y otros campos ([Aghajanyan et al., 2005](#)). No obstante, la fuerte actividad antioxidante de las melaninas indica que es probablemente capaz de detener la propagación de la reacción en cadena ([Hung et al., 2002](#)). Por último, se ha mencionado que las propiedades inmunofarmacológicas de las melaninas son de gran interés debido a que puede servir como un promisorio tratamiento para el SIDA ([Wang et al., 2006](#)).

El único reporte conocido de extracción, análisis químico y de rendimiento, el alto contenido de fenoles y la alta capacidad antioxidante de la melanina del huitlacoche es el de [Zaragoza-Monroy \(2011\)](#). La [Tabla 10](#) muestra algunos de los resultados del rendimiento de melanina pura así como de los residuos obtenidos durante el proceso de extracción.

**Tabla 10. Contenido de compuestos fenólicos insolubles: melanina y residuos de la extracción de melanina en huitlacoche.**

<b>Balace de la Extracción de Melanina</b>		
<b>Extracción</b>	<b>Repetición 1</b>	<b>Repetición 2</b>
Peso de la muestra (g)	5.0018	5.0007
Peso seco de la muestra (g)	4.5366	4.5356
Melanina cruda (mg)	311.1	328.9
Melanina no hidrolizable (mg)	90.2	87.1
Melanina Pura (mg)	55.4	47.8
Melanina extraída por g de muestra en base seca (mg/g)	12.21	10.54
Rendimiento de extracción (%)	1.2	1.0

Fuente: [Zaragoza Monroy \(2011\)](#).

Los porcentajes de extracción obtenidos fueron muy similares a los algunos rendimientos en otros materiales biológicos: hojas de té negro, trufa, gallina sedosa de huesos negros, entre otros.

Esto refuerza la noción de que el huitlacoche posee propiedades nutraceuticas importantes también en virtud de la melanina que contiene, ya que a las melaninas se les ha conferido una gran cantidad de beneficios al actuar como radioprotectores, antioxidantes, quelantes de metales, secuestradores de radicales libres e inmunomoduladores entre otros beneficios ([Tu et al., 2009](#); [Aghajanyan et al., 2005](#); [Hung et al., 2002](#)).

**d) Capacidad Antioxidante.** Un antioxidante es definido como una molécula capaz de detener o prevenir la oxidación de otras moléculas, mientras que un antioxidante biológico ha sido definido como *“cualquier sustancia que, cuando se presenta en bajas concentraciones comparada con aquéllas de un sustrato oxidable, significativamente retarda o previene la oxidación de ese sustrato”*. Es bien conocido que la oxidación daña varias sustancias biológicas y subsecuentemente causa muchas enfermedades. Estudios epidemiológicos, los antioxidantes de los alimentos parecen estar estrechamente relacionados a la prevención de varias patologías, incluyendo diferentes tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurológicas, y desórdenes relacionados con el envejecimiento ([Tabart et al., 2009](#); [Moon y Shibamoto, 2009](#)). Los antioxidantes fenólicos, un grupo específico de metabolitos secundarios, desempeñan un papel muy importante en la protección del organismo contra los efectos dañinos de los radicales de oxígeno y otras especies de oxígeno altamente reactivas ([Stratil et al., 2006](#)).

Por lo anterior, la medición de capacidad antioxidante de los productos alimenticios es un tema de creciente interés. Se han llevado a cabo muchos estudios *in vitro* para evaluar la capacidad antioxidante total de los productos alimenticios. Hasta ahora, sin embargo, no existe un método estandarizado oficial, y por lo tanto se recomienda que cada evaluación deba hacerse con varias condiciones de oxidación y diferentes métodos de medición ([Zulueta et al., 2009](#)). Uno de los métodos para cuantificar capacidad antioxidante equivalente a Trolox utiliza al radical DPPH (2, 2-difenil-1-picrilhidrazil), el cual es uno de los pocos radicales orgánicos de nitrógeno estables y posee un color púrpura profundo. Recientemente, el ensayo del DPPH se ha vuelto completamente popular en los estudios de antioxidantes naturales. El ensayo se basa en la teoría de que un donador de hidrógeno es un antioxidante. El

efecto antioxidante es proporcional a la desaparición del DPPH en las muestras probadas. Para estandarizar los resultados de varios estudios, ha sido utilizada la unidad equivalentes de Trolox (ET). El Trolox es un derivado sintético, hidrosoluble y comercial de la vitamina E, que posee capacidad antioxidante y con el cual se construyen curvas de calibración. Así, la capacidad antioxidante de una muestra es expresada en términos de micromoles de equivalentes de Trolox (ET) por unidad de peso o volumen de muestra ([Moon y Shibamoto, 2009](#)).

[Zaragoza Monroy et al. \(2009\)](#), [Zaragoza-Monroy et al. \(2010\)](#) y [Zaragoza Monroy \(2011\)](#) encontraron  $7.1 \pm 0.40$   $\mu\text{mol ET/g}$  muestra base seca utilizando un extracto acuoso frío para obtener este máximo valor en compuestos fenólicos solubles; por otro lado en los compuestos fenólicos insolubles, en melanina encontraron una capacidad antioxidante de  $8.8 \pm 0.96$   $\mu\text{mol ET/g}$ .

Otro método utilizado para evaluar la capacidad antioxidante mide la capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (método ORAC, del inglés *oxygen radical absorbance capacity*). La técnica original involucraba la medición del decremento en la fluorescencia de una proteína como resultado de la pérdida de su conformación cuando ésta sufre daño oxidativo causado por una fuente de radicales peroxilo ( $\text{ROO}\cdot$ ). El método medía la capacidad de los antioxidantes en la muestra para proteger a la proteína del daño oxidativo. Las sondas fluorescentes que actualmente se usan son la fluoresceína (3',6'-dihidroxispiro [isobenzofuran-1[3H], 9' [9H]-xanten]-3-ona) o la diclorofluoresceína (2',7'-diclorodihidrofluoresceína diacetato), las cuales son más estables y menos reactivas ([Prior et al., 2005](#)). [Zaragoza Monroy et al. \(2009\)](#), [Zaragoza-Monroy et al. \(2010\)](#) y [Zaragoza Monroy \(2011\)](#) midieron la capacidad antioxidante *in vitro* por este método de extractos de compuestos fenólicos solubles e insolubles de huitlacoche, y obtuvieron los valores más altos ( $136.1 \pm 21.0$   $\mu\text{mol ET/ muestra bs}$ ) con un extracto etanólico y  $13.1 \pm 0.1$  procedentes de melanina/g muestra bs.

[Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Guevara Lara et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), y [Beas Fernández \(2011\)](#), determinaron el porcentaje de actividad antirradical (% ARA) en muestras de huitlacoche colectado en diferentes regiones de México ([Tabla 11](#)).

Tabla 11. Porcentaje de actividad antirradical (% ARA) encontrado en muestras de huitlacoche colectado (Aguascalientes e Irapuato) y generado (Pipitillo y Negro).

MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE FENOLES TOTALES ( $\mu\text{M}$ )	% ARA
<b>Extractos de huitlacoche colectado</b>		
AGUASCALIENTES	1.375	74.2 $\pm$ 12.6
IRAPUATO	1.046	56.5 $\pm$ 12.1
<b>Extractos de huitlacoche generado</b>		
PIPITILLO	1.387	72.0 $\pm$ 12.8
NEGRO	0.869	57.2 $\pm$ 11.0
Antioxidante (BHT)	100	20.5 $\pm$ 9.4
	1000	80.1 $\pm$ 23.3

Fuentes: [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Guevara Lara et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), y [Beas Fernández \(2011\)](#).

Se muestran medias y desviaciones estándar (n=3).

**e)  $\beta$ -Glucanos y otros carbohidratos.** Los polisacáridos son polímeros de azúcares simples (monosacáridos) unidos entre sí por enlaces glucosídicos. Éstas son moléculas muy complejas debido a que a veces hay en ellas enlaces covalentes entre varios pares de átomos de carbono. Consecuentemente, una unidad de azúcar puede estar unida a más de dos azúcares, los cuales resultan en la formación de macromoléculas enormes altamente ramificadas ([Daba y Ezeronye, 2003](#)). El glucano es el polisacárido estructural más importante de la pared de los hongos y representa el 50-60% del peso seco de esta estructura. En los glucanos hay generalmente una cadena principal, la cual puede ser  $\beta$ -(1,3),  $\beta$ -(1,4) o una mezcla de ambos con cadenas laterales  $\beta$ -(1,6). Los hetero- $\beta$ -D-glucanos, los cuales son polímeros lineales de glucosa con otros D-monosacáridos, pueden tener actividad anticancerígena, pero los  $\alpha$ -D-glucanos de los hongos usualmente carecen de ésta actividad. El lado heteroglucano de las cadenas contiene ácido glucurónico, galactosa, manosa, arabinosa o xilosa como principal componente o en diferentes combinaciones ([Daba y Ezeronye, 2003](#)).

El  $\beta$ -(1,3)-D-glucano se sintetiza por un complejo de enzimas situado en la membrana plasmática, denominadas glucano sintetisas. Estas enzimas catalizan la

formación de cadenas lineales de glucano compuestas por aproximadamente 1,500 residuos de glucosa unidos por enlaces  $\beta$ -(1,3). En estas cadenas, cada 40-50 residuos de glucosa se unen nuevas unidades de glucosa por enlaces  $\beta$ -(1,6) para dar lugar a una estructura ramificada. Estas ramificaciones pueden unirse a otros glucanos, a la quitina o a las manoproteínas, proporcionando a la pared una gran resistencia mecánica esencial para mantener la integridad celular ([Pontón, 2008](#)). La intensidad de su actividad biológica parece estar influenciada por la solubilidad en agua, el tamaño de las moléculas, el grado y formas de las ramificaciones, el modo de unión  $\beta$ (1,6) a la cadena principal  $\beta$ (1,3), entre otros factores ([Mizuno et al., 1995](#)).

Los glucanos aislados de distintos microorganismos son diferentes y su proceso de extracción y purificación puede variar atendiendo a las características particulares de dichos microorganismos ([Sánchez et al., 1995](#)). Pero no sólo los hongos poseen glucanos. En la avena también hay  $\beta$ -glucanos y la conclusión global de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA), con respecto a la avena, es que puede disminuir los niveles de colesterol sérico, específicamente el colesterol LDL o lipoproteínas de baja densidad, sin cambiar la fracción HDL o la lipoproteína de alta densidad, en lo cual se basa la afirmación de que su consumo reduce el riesgo de enfermedades coronarias. Además, la FDA ha admitido que el principal ingrediente activo en este contexto es la fibra soluble  $\beta$ -(1,3)-(1,4)-D-glucano o  $\beta$ -glucano ([Mazza, 1998](#)).

Consecuentemente, esto ha dado paso a un incremento dramático en la demanda de productos enriquecidos con  $\beta$ -glucanos en el mercado. Además por esto la FDA permite que la etiqueta de los productos hagan la afirmación de que ayuda a la salud del corazón, siempre y cuando el producto proporcione al menos 0.75 g de  $\beta$ -glucano por porción ([Chang et al., 2006](#)). Dentro de los beneficios de los  $\beta$ -glucanos está la relación existente entre su consumo y la prevención y tratamiento del cáncer. Experiencia de países de Asia y Europa del Este muestran que los hongos podrían tener un papel importante en la prevención de enfermedades tumorales; por ejemplo, *Piptoporu betulinus* fue usado tradicionalmente en Bohemia para el

tratamiento del cáncer rectal y en enfermedades estomacales ([Lindequist et al., 2005](#)).

El glucano es un potente inductor de los mecanismos no específicos de defensa del hospedero, modulador de la inmunidad celular, humoral y del sistema retículo endotelial. Diversos  $\beta$ -(1,3)-D-glucanos estimulan varias facetas de la respuesta inmunológica en animales y en humanos. Se ha descrito la actividad antitumoral de preparaciones insolubles de  $\beta$ (1,3)-glucano en modelos de animales de laboratorio y se ha demostrado que la administración intravenosa en ratas modifica el curso de enfermedades neoplásicas experimentalmente inducidas, evidenciado por un aumento y proliferación de monocitos y macrófagos en los que se observa un incremento en la actividad citotóxica. Debido a sus características inmunomoduladoras, el  $\beta$ (1,3)-glucano se incluye dentro de los medicamentos MRB ([Sánchez et al., 1995](#)). En los últimos años, se ha sugerido que el uso diario de productos con actividades antimutagénicas y anticarcinogénicas puede ser eficiente para prevenir el cáncer. Esta propuesta es conocida como quimioprevención ([Friedmann et al., 2009](#)).

[Pérez-Téllez et al. \(2009\)](#) y [Pérez Téllez \(2011\)](#) encontraron un contenido total de  $\beta$ (1,3)-glucano en huitlacoche de entre 7.58 y 15.08 mg/100 g de muestra, encontrando el valor más alto mediante la obtención de una muestra con NaOH para su extracción. Además encontraron que, junto con los demás componentes de los extractos como proteínas y otros carbohidratos, tienen efectos sobre el sistema inmune humano, al estimular a las células mononucleares a la producción de citocinas, específicamente interferón- $\gamma$  y factor de necrosis tumoral- $\alpha$ .

El contenido de otros oligosacáridos como la rafinosa y estaquiosa entre otros, fue examinado en huitlacoche de diferentes regiones de México por [Beas Fernández et al. \(2007\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), [Beas Fernández \(2011\)](#) y se presenta en la [Tabla 12](#).

**f) Capacidad antimutagénica.** Los polisacáridos antitumorales presentes en los hongos han sido estudiados extensivamente durante los últimos 15 años; dichos

polisacáridos fueron encontrados en cuerpos fructíferos, cultivo de micelio y en cultivo líquido ([Mizuno et al., 1995](#)). Desde los 70s existen evidencias de dicha actividad. [Ikekawa et al. \(1969\)](#) llevaron a cabo en su experimento la inyección intraperitoneal del extracto acuoso de diferentes especies de hongos comestibles, encontrando la inhibición de tumores del 72 al 92% con respecto a los controles; al parecer dicha respuesta estuvo dada por la presencia de un  $\beta(1-3)$  glucano.

**Tabla 12. Contenido de glucosa, fructosa, sacarosa y oligosacáridos de la familia de la rafinosa en muestras de huitlacoche colectado en diferentes localidades del centro de México y generado en variedades criollas de maíz.**

	AZÚCARES SIMPLES (mg/100 g bs)			OLIGOSACÁRIDOS (mg/100 g bs)		
	FRUCTOSA	GLUCOSA	SACAROSA	RAFINOSA	ESTAQUIOSA	VERBASCOSA
<b>Huitlacoche Colectado</b>						
Aguascalientes	466±0.4 a	802±3.6 a	243±3.8 a	ND	124±2.8 a	ND
Jalisco	469±0.5 a	766±5.6 a	241±5.7 a	520±2.4 a	250±2.1 a	ND
Irapuato	394±2.0 b	725±1.5 a	267±0.4 b	1279±5.0 b	262±3.7 b	593±14.6 b
Salamanca	388±1.0 b	763±8.6 a	258±1.9 c	1505±2.1 b	449±6.8 c	2611±26.2 a
Michoacán	449±3.3 b	753±5.6 a	252±2.6 d	1291±9.2 b	541±7.4 d	ND
<b>Huitlacoche Generado</b>						
Amarillo	460±6.7 b	867±4.8 a	264±8.4 e	1097±6.0 c	279±3.8 e	ND
Negro	553±0.3 b	1066±1.9 a	248±1.8 f	1175±3.5 d	472±5.4 f	ND
Pipitillo	448±0.4 c	741±6.4 a	246±0.5 f	1087±4.5 d	456±0.4 g	ND

Fuentes: [Beas Fernández et al. \(2007\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), [Beas et al. \(2011\)](#), [Beas Fernández \(2011\)](#).

ND= No detectado

Se muestran medias y desviaciones estándar (n=3). Letras diferentes dentro de cada columna indican diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) según la prueba de rangos múltiples de Student-Newman-Keuls.

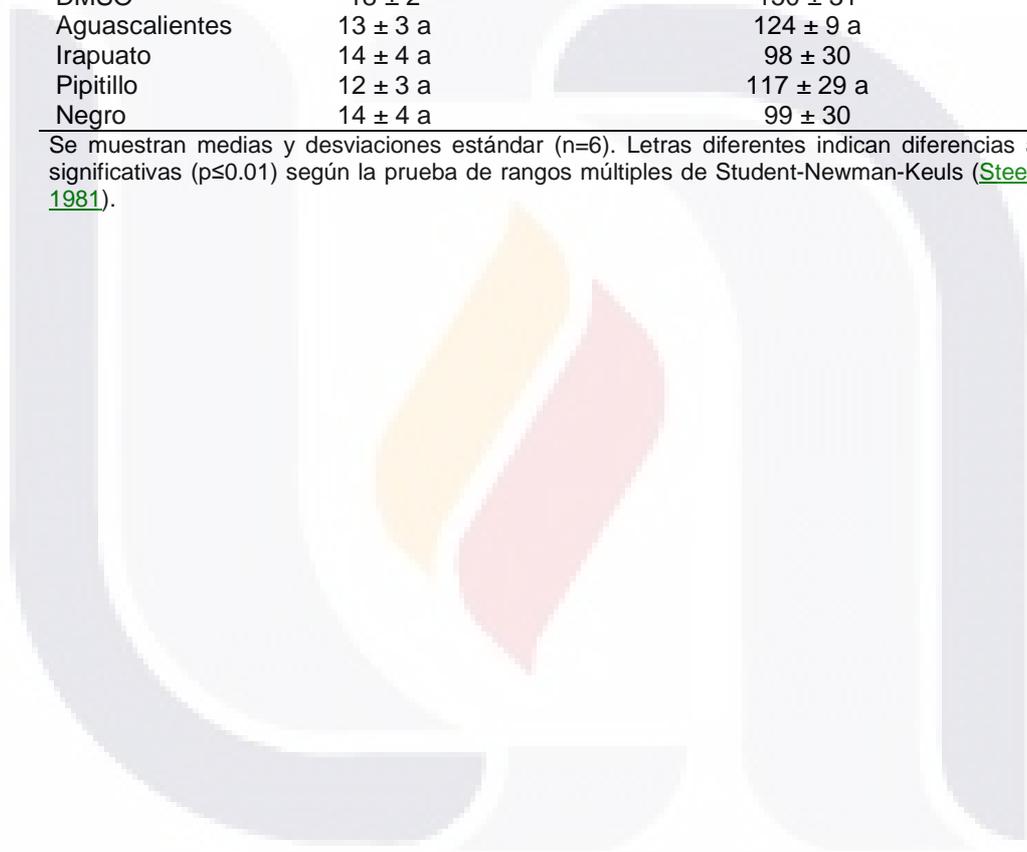
[Beas-Fernández et al. \(2007\)](#), [Beas-Fernández et al. \(2008\)](#), y [Beas et al. \(2011\)](#) analizaron la actividad antimutagénica que presentaron los extractos de huitlacoche ([Tabla 13](#)); se observó un porcentaje de inhibición elevado de hasta el 49.4%.

Es así como el huitlacoche ha demostrado ser un alimento funcional con gran potencial; desafortunadamente es un producto de temporada que está disponible en los meses de Julio y Agosto en México, además de ser un alimento altamente perecedero por la elevada actividad de agua y humedad que presenta. El presente trabajo tiene el objetivo de desarrollar una alternativa de procesamiento para contrarrestar la problemática mencionada y además como una alternativa para la industria de botanas con la inclusión de un ingrediente con propiedades funcionales que da un valor agregado al totopo.

**Tabla 13. Actividad antimutagénica y promutagénica de extractos metanólicos de huitlacoche en dos cepas de *Salmonella typhimurium* cada una con diferente mutación.**

Muestras	Cepa TA98		Cepa TA100	
	Colonias revertantes	% de inhibición	Colonias revertantes	% de inhibición
Mutágeno	1221 ± 191	0	1219 ± 28	0
Mutágeno + Ags	865 ± 66 a	29.2	1020 ± 70 a	16.3
Mutágeno + Ira	620 ± 62 b	49.2	714 ± 19 b	47.7
Mutágeno + Pip	620 ± 85 b	49.1	620 ± 39 b	41.4
Mutágeno + Ne	619 ± 68 b	49.4	633 ± 32 b	47.9
Actividad promutagénica				
DMSO	18 ± 2		150 ± 31	
Aguascalientes	13 ± 3 a		124 ± 9 a	
Irapuato	14 ± 4 a		98 ± 30	
Pipitillo	12 ± 3 a		117 ± 29 a	
Negro	14 ± 4 a		99 ± 30	

Se muestran medias y desviaciones estándar (n=6). Letras diferentes indican diferencias altamente significativas (p<0.01) según la prueba de rangos múltiples de Student-Newman-Keuls ([Steel y Torrie, 1981](#)).



## CAPÍTULO V. HIPÓTESIS

La inclusión de huitlacoche en totopos de maíz nixtamalizado influye favorablemente en las características alimentarias y funcionales de los productos.



## CAPÍTULO VI. OBJETIVOS

### Objetivo general

Desarrollar totopos de maíz evaluando el efecto de la inclusión de huitlacoche en la formulación sobre las propiedades alimentarias y funcionales de los productos.

### Objetivos específicos

1. Analizar el efecto del porcentaje de sustitución con huitlacoche en la formulación de totopos de maíz nixtamalizado, sobre las propiedades fisicoquímicas, tecnológicas y de procesamiento de las masas.
2. Evaluar el efecto del porcentaje de huitlacoche sobre las propiedades estructurales, mecánicas, fisicoquímicas y alimentarias de los totopos elaborados a partir de las diferentes formulaciones.
3. Determinar el efecto del porcentaje de huitlacoche y del procesamiento en la formulación de totopos de maíz nixtamalizado, sobre los niveles de los componentes bioactivos que aportan un efecto funcional.

## CAPÍTULO VII: MATERIALES Y MÉTODOS

En la [Figura 9](#) se presenta el esquema general de investigación. Brevemente, a partir de dos harinas de maíz nixtamalizado (variedad criolla y cónica), y una harina de maíz azul comercial, se desarrollaron las formulaciones mediante la adición de huitlacoche en pasta a diferentes porcentajes, y se procesaron totopos de maíz horneados, para luego realizar una evaluación alimentaria y funcional del efecto de la adición del huitlacoche.



Figura 9. Esquema general del proyecto de investigación.

**MATERIALES**

Se adquirieron dos muestras de grano de maíz color azul: variedad cónica (GC) del INIFAP en Celaya, Guanajuato, México y la variedad criolla (GX) en el mercado local de Xicotepec de Juárez, Puebla, México; harina comercial de maíz azul nixtamalizado (HM) (MINSA, Estado de México, México) y totopos comerciales de maíz azul horneados (TM2) (Salmas, Sanissimo, Monterrey, N.L., México)([Figura 10](#)), fueron comprados en un supermercado local de Aguascalientes, Ags.; las mazorcas de huitlacoche fueron adquiridas en un mercado local de Irapuato, Guanajuato, México.



**Figura 10. a) Maíz azul; b) Harina comercial de maíz azul; c) Totopos comerciales de maíz azul horneados.**

Se procesaron 36.43 kg de 52 mazorcas de maíz infectadas por el hongo *Ustilago maydis*, provenientes de la ciudad de Irapuato, Guanajuato, México. El procesamiento consistió en pesar las mazorcas y deshojarlas, posteriormente se

separaron las agallas manualmente y con ayuda de un cuchillo, cortando desde la base de éstas y tratando de conservar la agalla sin un daño físico ocasionado por el cuchillo, esto para ayudar a conservar la agalla con la pared celular cerrada ([Figura 11](#)). Se colocó el huitlacoche en bolsas con 1 kg cada una y se refrigeraron durante 24 h para su posterior procesamiento.



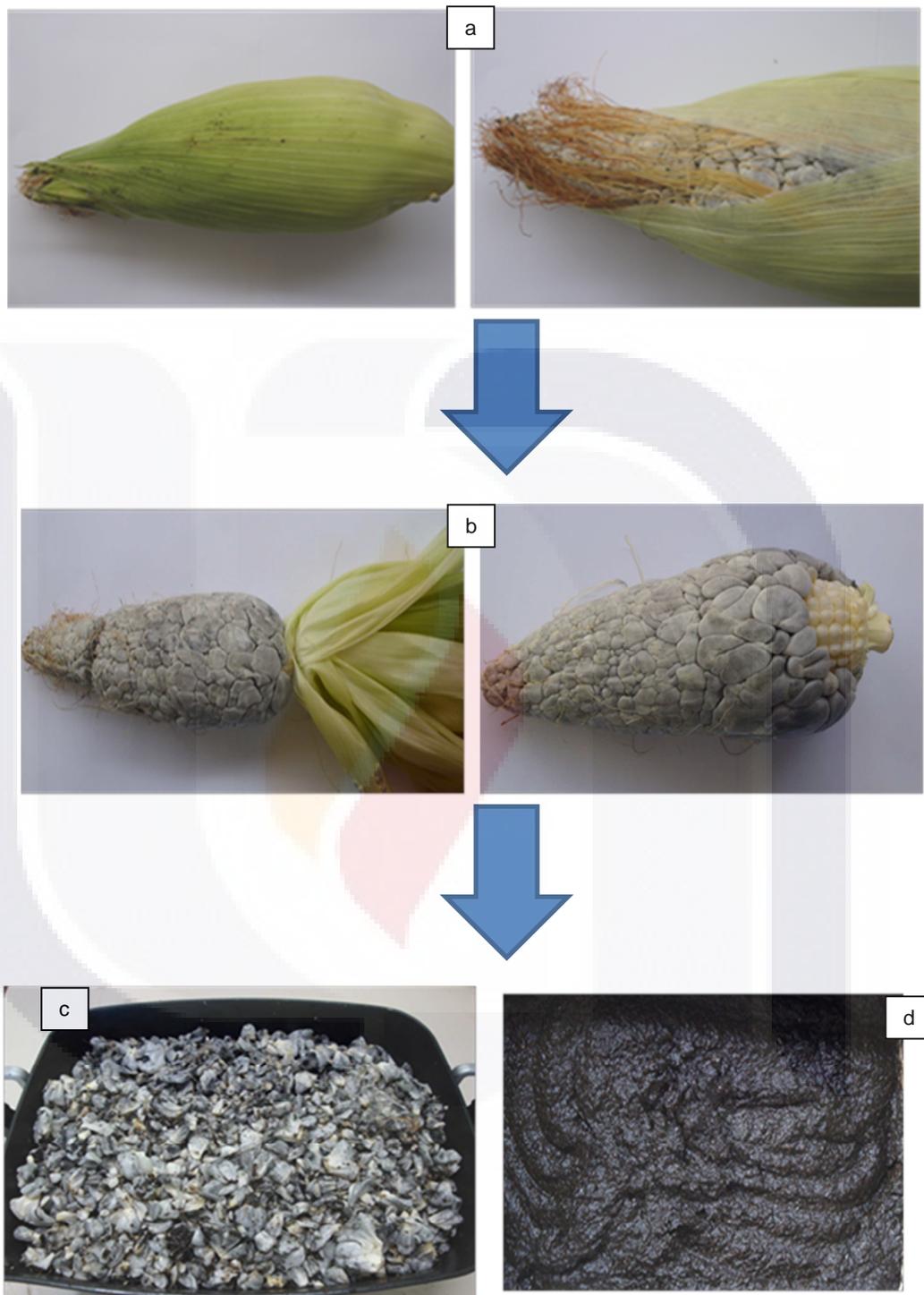


Figura 11. Procesamiento de huitlacoche fresco: a) Mazorcas infestadas de huitlacoche; b) eliminación de hojas de la mazorca para preparar la mazorca y eliminar las agallas del huitlacoche; c) agallas de huitlacoche antes de su precocción y d) huitlacoche en pasta.

El huitlacoche fresco y refrigerado se sometió a un procesamiento térmico descrito por [Salazar-López et al. \(2012\)](#), que consistió en el cocimiento sin aditivos a 80 °C durante 15 min más 5 min de enfriamiento en un sartén eléctrico marca Hamilton Beach. Posteriormente se mezclaron manualmente durante 10 min todos los lotes de 1 kg cocidos y se pesaron muestras de 1 kg las cuales se colocaron en un procesador de alimentos (procesador Quick N' Easy Black & Decker, Shelton, CT, E.U.A.) durante 1 min en la intensidad baja, y así se obtuvo una pasta uniforme; todos los lotes de pasta se mezclaron manualmente durante 10 min y se colocaron en recipientes plásticos de 1 L para su congelación a -20 °C.

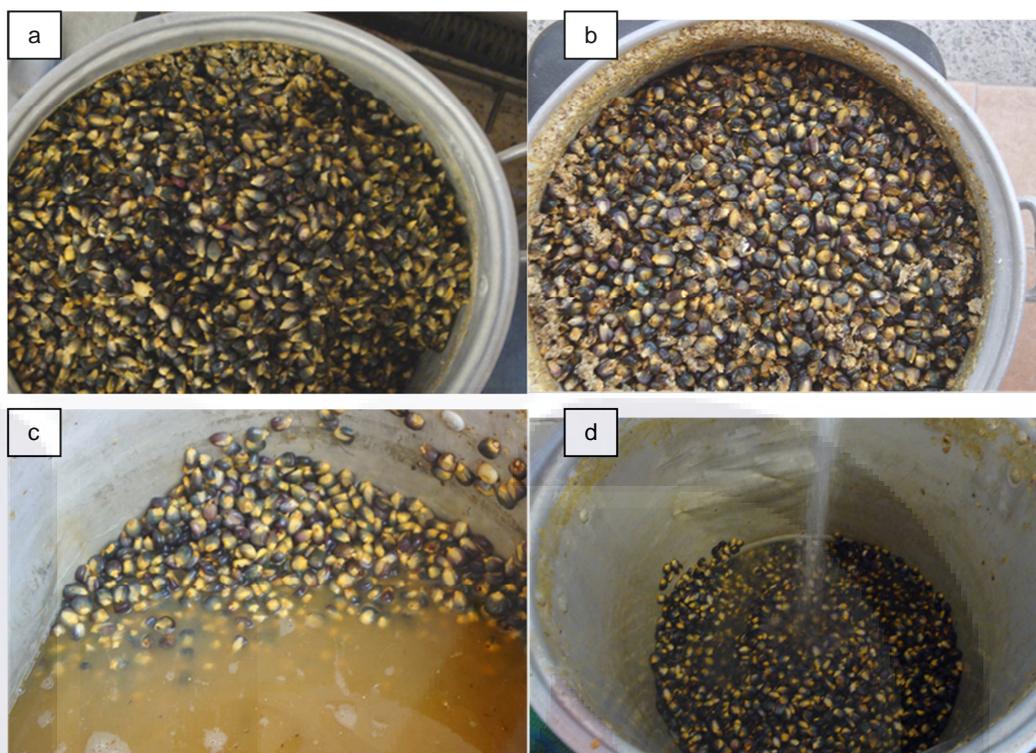
#### **Producción de las harinas nixtamalizadas de maíz azul**

Se obtuvieron harinas nixtamalizadas a partir de las dos variedades de maíz azul. Para ello se procesaron lotes de 24 kg cada uno, a los que primero se realizó la nixtamalización (método alcalino de cocción) mediante el protocolo de [Salinas-Moreno y Arellano \(1989\)](#) ([Figura 12](#)).



Figura 12. Esquema general de nixtamalización.

Brevemente, los granos de maíz (lotes de 24 kg) se cocinaron durante 30 min en solución de cal  $[Ca(OH)_2]$  al 0.8% (p/v) en agua destilada a 85 °C usando una proporción 1:2 (p/v) de grano: medio de cocción, seguido de un tiempo de reposo de 14 h. El licor de cocción se drenó y se desechó y el nixtamal (maíz cocido alcalino) se lavó con agua corriente del grifo durante 40 s ([Figura 13](#)).



**Figura 13. Nixtamalización de maíz azul: a) Cocimiento de maíz azul; b) Maíz después de 15 horas de reposo posterior al cocimiento. c) Eliminación de agua de cocimiento (nejayote) y lavado del maíz.**

El grano cocido se molió en masa en un molino de piedra (M100, Fumasa, Puebla, México) ([Figura 14](#)), y para luego ser deshidratado utilizando un secador de tipo *flash* diseñado y construido por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV-IPN) Unidad Querétaro (M2000, CINVESTAV-GAV, Querétaro, México) ([Figura 15](#)), ajustando a temperatura de entrada de 275 °C y de salida de 90 °C para evitar quemar el material. Antes del almacenamiento, la harina de maíz nixtamalizado se molió utilizando un molino de martillos (Molino Pulvex 200, D.F., México) equipado con una malla de 0.8 mm, para igualar tamaño de partícula de las harinas extrudidas.



**Figura 14. Molienda de granos nixtamalizados en molino de piedra volcánica.**

Las harinas nixtamalizadas se guardaron en bolsas de polietileno con sellado hermético y se almacenaron en refrigeración a 4 °C, hasta su utilización para los diferentes análisis.

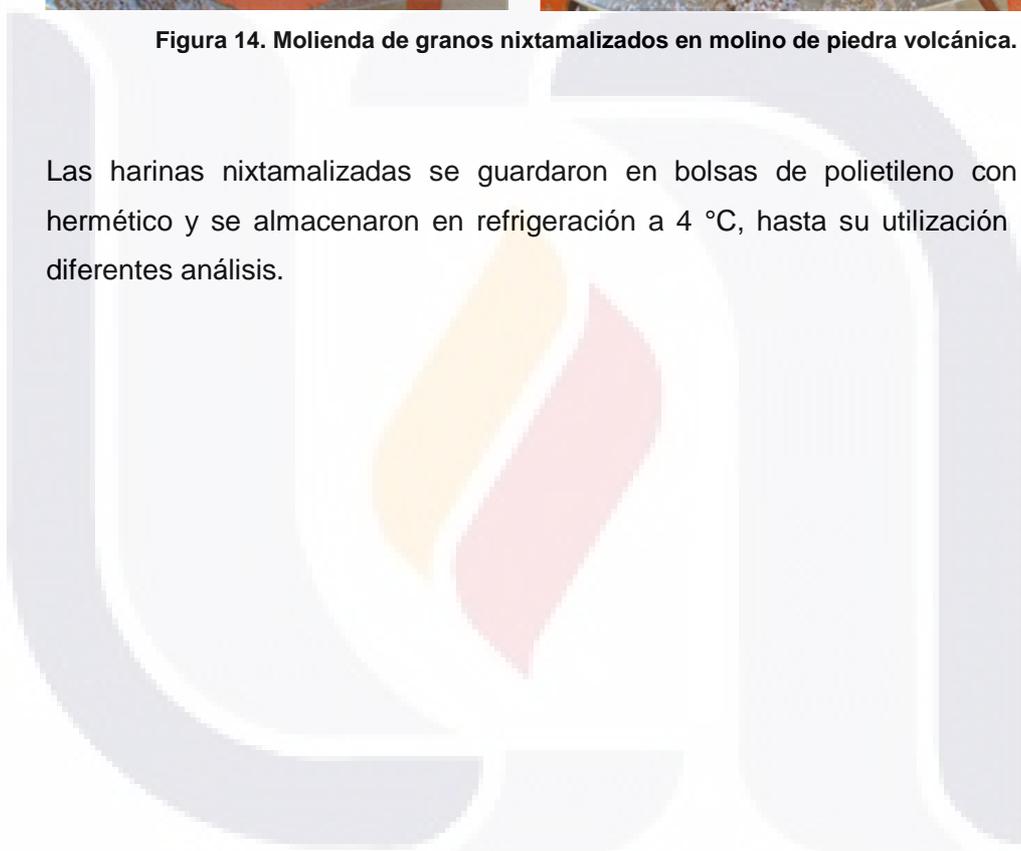




Figura 15. Deshidratación *flash*.

Fuente: [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#).

**Diseño experimental**

Las formulaciones se desarrollaron a partir de tres harinas nixtamalizadas: harina de maíz azul cónico (HC), harina de maíz azul criollo (HX) y harina comercial de maíz azul (HM). Cada harina nixtamalizada se adicionó con 0, 3, 6, 9, 12, 15 ó 18% de HP (p/p, base seca). Las formulaciones con HC y HX se adicionaron con 0.5% (p/p) de carboximetilcelulosa sódica (No. Cat. 419273, Sigma-Aldrich Química, Toluca, Estado de México, México) para mejorar la crujiencia tal como se determinó a partir de una prueba preliminar ([Figura 16](#)).

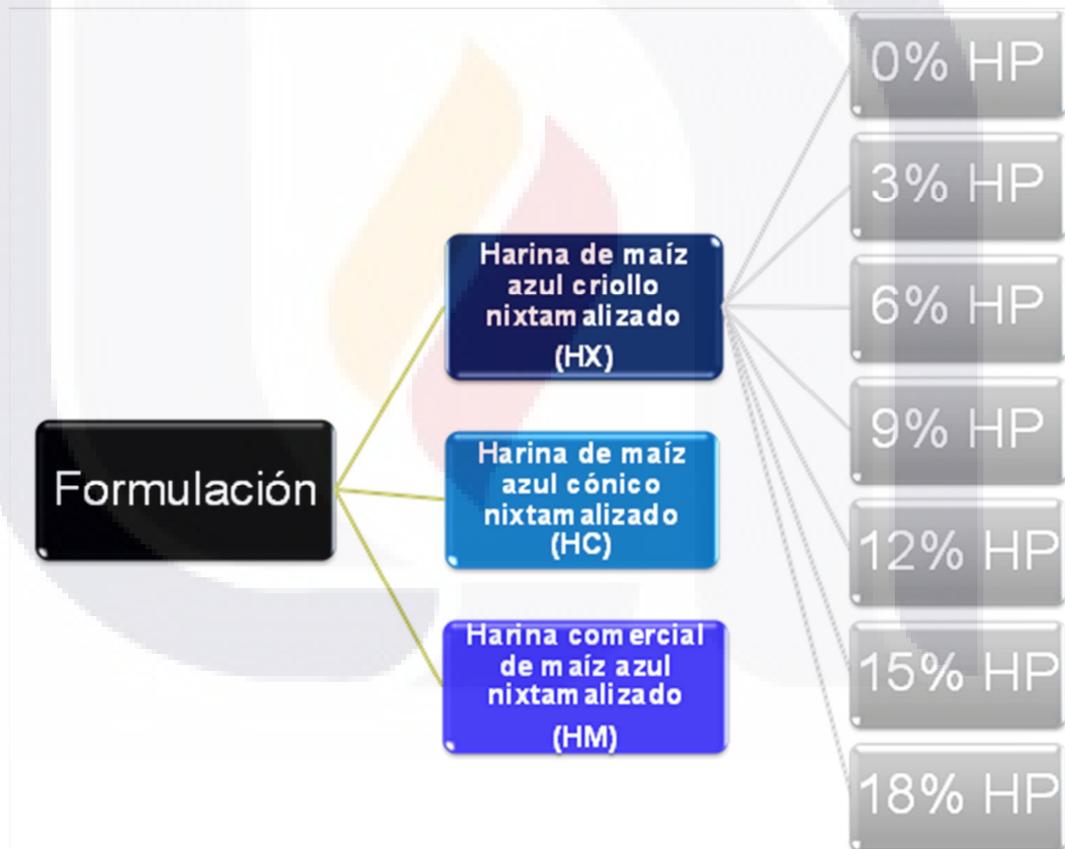


Figura 16. Esquema de adición de huitlacoche en pasta a las harinas de maíz nixtamalizado, los porcentajes de adición se realizaron para los tres tipos de harinas.

### Proceso de producción

El procedimiento de formación de masas se llevó a cabo mezclando los siguientes ingredientes: harina de maíz nixtamalizado, pasta de huitlacoche y agua purificada. Las masas se formaron por la rehidratación de la harina de maíz nixtamalizado y completar un 55% de humedad (bs), con ayuda de una batidora a dos velocidades durante 10 min (batidora de pie KitchenAid, NSF Certified Commercial Series, con tazón ascensor de 8-qt, Michigan, E.U.A.). Cada formulación se colocó en una bolsa de plástico herméticamente sellada, para su inmediato uso. Las formulaciones de masa se procesaron en una tortilladora semi-industrial (Villamex V-100, Guadalajara, México), [Figura17](#). Ya en la tortilladora, se colocaron porciones de alrededor de 2 kg de masa en los rodillos de manera constante para moldear y cortar los testales (piezas de masa previamente moldeadas, cortadas y crudas); la masa formó una cortina que se cortó en triángulos delgados de 1 mm de grosor, a continuación se pasaron a los comales donde se llevó a cabo la etapa de precocción a una temperatura de  $270 \pm 10$  °C, el tiempo de estancia de los testales (piezas crudas de masa) fue de 45 s en cada uno de los dos comales, es decir, un periodo de precoccimiento total de 60 s, y posteriormente se enfriaron los productos mediante la circulación de estos en dos bandas transportadoras con un lapso de 75 s.



**Figura 17. Moldeado, troquelado y precocción de testales de maíz nixtamalizado.**

Después de enfriar, las piezas se hornearon en un horno de convección semi-industrial a 180 °C (Zucchelli Forni, 260493, Verona, Italia) durante 15 min, después de lo cual se enfriaron y se almacenaron en recipientes herméticos hasta las evaluaciones.

## MÉTODOS

### Análisis físicos

#### Tamaño del grano

Se eligieron 30 granos al azar a los cuales se les midió la longitud, anchura y espesor con un vernier (Absolute Digimatic, Mitutoyo, Japón) ([Figura 18](#)). Los datos fueron reportados como el valor promedio  $\pm$  la desviación estándar de las mediciones.

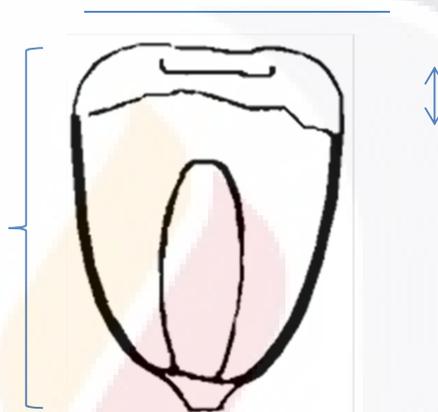


Figura 18. Medición del tamaño del grano de maíz (longitud, anchura y espesor).

#### Peso de 100 granos

Se eligieron 100 granos al azar y se pesaron en una balanza analítica (AND modelo HR-202, Japón), con una capacidad de 210 g, y una precisión de 0.0001 g. Lo anterior se realizó por triplicado y se obtuvo un valor promedio.

#### Peso hectolítrico

Para la obtención de esta medida se siguió el método 14-40 de la [AACC \(2000\)](#). Se llenó un recipiente de volumen conocido (1000 mL), y se pesó en una balanza (Seedburo Equipment Co., Chicago, IL, E.U.A.) ([Figura 19](#)). El peso hectolítrico se obtuvo al dividir el peso de los granos en kilogramos entre el volumen del recipiente

y relacionándolo a un volumen de 100 L (kg/hL). Las mediciones se hicieron con 5 repeticiones, y se obtuvo un valor promedio.



Figura 19. Medición del peso hectolítrico.

### Índice de flotación

El índice de flotación se utilizó para estimar la densidad relativa de los granos que es una medida indirecta de la dureza del grano. Se preparó una solución de nitrato de sodio ajustada a una densidad de 1.25 g/mL (246 g en 600 mL) a una temperatura de 23 °C. Se colocaron 600 mL de la solución en un vaso de 1000 mL, y se depositaron 100 granos seleccionados aleatoriamente, se agitaron y después de 1 min se tomó la lectura ([Figura 20](#)). El número de granos flotantes en la superficie de la solución se consideró como el índice de flotación. Lo anterior se realizó por triplicado y se obtuvo un promedio. La clasificación de la dureza del grano se basó en la escala propuesta por [Salinas-Moreno et al. \(1992\)](#): valores del índice de flotación entre 0 y 12% son granos muy duros, 13 a 37% son granos

duros, 38 a 62% son granos de dureza intermedia, 63 a 87% son suaves y mayor al 87% son muy suaves.

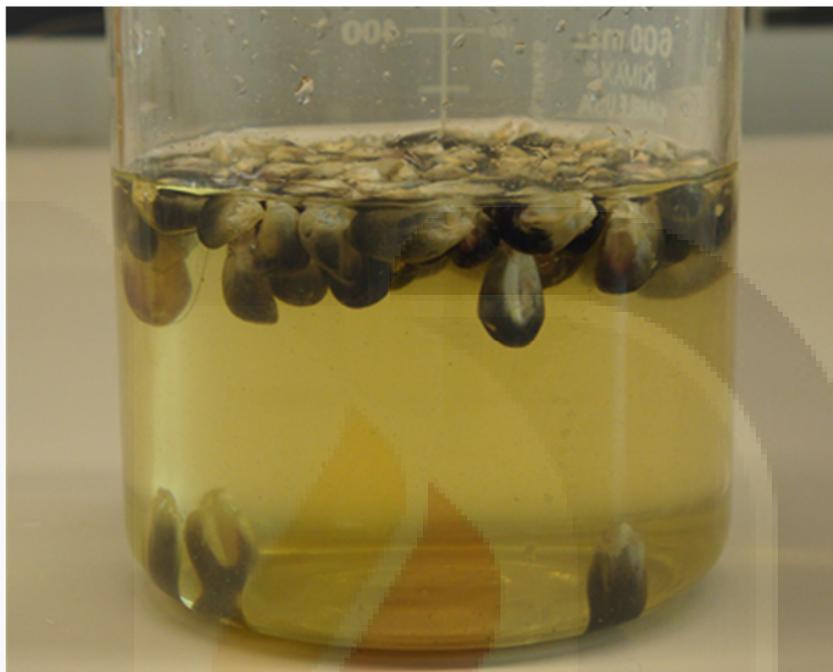


Figura 20. Índice de flotación de granos de maíz.

### Color del grano

La medición de color se realizó en la harina del maíz crudo con un colorímetro de reflectancia triestímulo portátil (Konica Minolta modelo CR-410, Japón) ([Figura 21](#)), obteniéndose los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ; donde  $L^*$  es referente a la luminosidad o brillantez (0 = negro; 100 = blanco),  $a^*$  va del verde al rojo ( $+a^*$  = rojo;  $-a^*$  = verde) y  $b^*$  va del azul al amarillo ( $+b^*$  = amarillo;  $-b^*$  = azul). Se registraron 15 mediciones de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  obteniéndose un valor promedio de cada uno de éstos.



Figura 21. Colorímetro Konica Minolta.

### Color de harinas

El color de las harinas de maíz azul nixtamalizado y de las botanas se determinó con un colorímetro de reflectancia triestímulo portátil (Konica Minolta modelo CR-410, Japón), éste se calibró previamente con una placa blanca estándar marca Konica Minolta. La medición se realizó según el método utilizado por [Yuliani et al. \(2006\)](#), se obtuvieron los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ; donde  $L^*$  es referente a la luminosidad o brillantez (0 = negro; 100 = blanco),  $a^*$  va del verde al rojo ( $+a^*$  = rojo;  $-a^*$  = verde) y  $b^*$  va del azul al amarillo ( $+b^*$  = amarillo;  $-b^*$  = azul). Se realizaron 10 mediciones para cada muestra de harina y maíz.

### Densidad aparente (DA)

Se utilizó el método reportado por [Moreyra y Peleg \(1981\)](#); se pesó una probeta graduada de vidrio con capacidad de 10 mL, se llenó con la harina instantánea de maíz azul, se pesó y por diferencia se obtuvo el peso de la harina. Por último se

dividió dicho peso entre el volumen de la probeta. La densidad aparente se registró en  $\text{g}/\text{cm}^3$ . Lo anterior se realizó por triplicado y se obtuvo un valor promedio.

## **Análisis químicos**

### **Humedad**

La determinación del contenido en agua de las muestras se realizó siguiendo el método 44-15.02 ([AOAC, 1984](#)). Este método consiste en la determinación de la pérdida de peso del producto en una estufa con circulación de aire a  $90^\circ\text{C}$ , dejándose hasta peso constante. Se utilizó una estufa (TerLab), y una balanza digital de  $0.0001\text{ g}$  de precisión (Sartorius, Modelo 2432). Las determinaciones se realizaron por triplicado para masas.

### **Extracto etéreo**

Se determinó el extracto etéreo reportado como porcentaje total de grasa por extracción continua con éter de petróleo siguiendo el método Goldfish [Método 1984, [AOAC \(1984\)](#)]. Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

### **Proteína**

Se determinó mediante el análisis elemental de nitrógeno proteico ( $\%N \times 6.25$ ) (método 46-16.01; [AOAC, 1984](#)); siguiendo la metodología de Dumas, que se basa en la liberación de nitrógeno por pirólisis y subsiguiente combustión total, utilizando un detector de conductividad térmica. Se utilizaron los factores de conversión según protocolo para la transformación a proteína. Las determinaciones se realizaron por duplicado en las diferentes muestras.

### **Cenizas**

Se determinó mediante la metodología AACC 13.009; primeramente se desecaron las muestras en estufa a  $105^\circ\text{C}$  y posteriormente se carbonizaron y calcinaron en una mufla (Felisa Modelo FE-340) a  $600^\circ\text{C}$  hasta peso constante. Las determinaciones se realizaron por triplicado en las diferentes muestras.

**Análisis fisicoquímicos**

**Propiedades viscoamilográficas de harinas**

Las viscosidades de las muestras de harinas de maíz nixtamalizado se determinaron mediante el uso de un Rapid Visco Analyzer (Modelo 3C, Newport Scientific Pty Ltd., Sydney, Australia). Una suspensión (30 g, 15% de sólidos) se calentó de 50 a 95 °C, se mantuvo a 95 °C durante 4 min, y se enfrió de 95 a 50 °C.

**pH en harinas**

Los valores de pH se determinaron en una suspensión con 10 g de harina y 100 mL de agua destilada recientemente hervida y enfriada; la suspensión se agitó con una barra magnética durante 20 min a 1500 rpm y 25 °C ([AACC, 1995](#)); se midió el pH durante la agitación usando un medidor de pH (Corning Modelo Pinnacle, Corning, Inc., Nueva York, E.U.A.) calibrado con tampones estándar. El análisis se llevó a cabo por triplicado.

**Capacidad de absorción de agua (CAA) e índice de solubilidad en agua (ISA)**

Las determinaciones se llevaron a cabo mediante el protocolo adaptado de [Anderson et al. \(1969\)](#). Se pesaron 2.5 g de las formulaciones y se mezclaron con 10 mL de agua destilada, posteriormente se calentaron en un baño María a 30°C durante 15 min, se enfriaron, el contenido se trasladó a tubos de centrifuga a 3200 xg durante 10 min, se separó el sobrenadante del sedimento, se pesó el sedimento, el sobrenadante se llevó a peso constante a 105°C en una estufa. Los porcentajes de CAA e ISA se calcularon usando las siguientes ecuaciones:

$$CAA = \frac{\textit{peso.del.sedimento}}{\textit{peso.muestra}}$$

Ecuación 1. Capacidad de Absorción de Agua.

$$ISA = \frac{\textit{peso.de.solidos.disueltos}}{\textit{peso.sólidos.secos}} * 100$$

Ecuación 2. Índice de Solubilidad en Agua.

### **Propiedades térmicas**

Las características térmicas de las harinas de maíz nixtamalizado se estudiaron mediante el uso de un calorímetro de barrido diferencial (DSC, Waters TA Instruments, New Castle, DE, E.U.A.), equipado con una estación de datos de análisis térmico. La harina (3 mg) se cargó en un recipiente de aluminio con capacidad de 40  $\mu$ L y se añadió agua destilada con microjeringa para lograr una suspensión de almidón-agua que contiene 70% de agua.

Las muestras se sellaron herméticamente y se dejaron reposar durante 1 h a temperatura ambiente antes del calentamiento en el DSC. El analizador de DSC se calibró usando indio, después de haber sido usado como una referencia un recipiente de aluminio vacío. La bandeja de muestra se calentó a una velocidad de 10  $^{\circ}$ C/min de 20 a 100 C. La transición térmica de las muestras de almidón se definió como  $T_o$  (temperatura de inicio),  $T_p$  (pico de temperatura de gelatinización), y  $T_e$  (temperatura final) y  $\Delta H$ , referido como la entalpía de gelatinización. Las entalpías se calcularon automáticamente sobre una base de peso seco de almidón.

### **Análisis de propiedades tecnológicas**

#### **Medición subjetiva de facilidad de maquinado en masas**

La facilidad de maquinado subjetiva consistió en evaluar la capacidad de los rodillos del cabezal de la tortilladora para amasar y preparar la cortina de masa para su inmediato corte. Se realizó por medio de una valoración sensorial (visual y de tacto) de las formas de trabajo por parte de la máquina a la respectiva masa ([Figura 22](#)). Se tomó como base y se adaptó el protocolo seguido por [Rooney \(1999\)](#). Dos evaluadores capacitados y con experiencia en la fabricación de totopos de maíz (4 y 2 años) utilizaron una escala de 1 a 4 donde 1 fue excelente maquinado y 4 muy deficiente maquinado; estos parámetros fueron desarrollados en la empresa [Antojaditas \(2007\)](#).



Figura 22. Parámetros establecidos para la evaluación de facilidad de maquinado en masas.

### Textura

Se evaluó la cohesión y adhesividad de masas (Martínez-Bustos *et al.*, 2001) y la textura de totopos (fuerza de fractura) (Kayacier y Singh, 2003) usando un analizador de textura (TA-XT2, Texture Technologies, Stable Micro Systems, Surrey, Inglaterra). La cohesividad y adhesividad de las masas (disco de  $7 \pm 0.1$  cm de

diámetro y  $1.3 \pm 0.1$  cm de espesor) se determinaron mediante la inserción de una sonda TA-18 de acero inoxidable (1.27 cm de diámetro) a una velocidad de  $2 \text{ mm s}^{-1}$  a una profundidad de 7 mm, y los resultados se registraron en kilogramos-fuerza.

La fuerza de fractura en totopos evaluó usando una celda de cizallamiento Kramer. Se utilizó una sonda (454 g) de la celda de carga. La sonda de la celda viajó a 5 cm/min. Una pieza de totopo se colocó en la celda de cizallamiento Kramer para la prueba. Las fuerzas de fractura y trabajo hasta los valores máximos se obtuvieron a partir de curvas de tiempo-deformación. La fuerza de fractura es la fuerza máxima requerida para romper la muestra. El valor de trabajo se calculó a partir del área bajo la curva hasta que se alcanzó el pico. Las medidas de textura se repitieron 10 veces en cada condición experimental.

### **Análisis de propiedades funcionales**

#### **Contenido de fenólicos solubles totales**

El contenido de compuestos fenólicos solubles totales de las muestras se determinó usando un método colorimétrico ([Singleton et al., 1999](#)). Brevemente, se añadieron 500 mg de muestra a 10 mL de metanol al 30% (v/v). Después de 90 min, se midió la absorbancia del color azul resultante a 757 nm utilizando un espectrofotómetro (BioMate 3, Thermo Fisher Technologies, WI, E.U.A.). Se preparó una curva de calibración usando ácido gálico como compuesto fenólico total estándar y los resultados se expresaron como miligramos de equivalentes de ácido gálico (mg EAG) por 100 g de muestra (bs).

#### **Contenido total de antocianinas**

Las antocianinas totales se analizaron de acuerdo con [Abdel-Aal y Hucl \(1999\)](#) mediante la medición de la absorbancia de los extractos etanólicos. La muestra (1.5 g) se homogeneizó con 10 mL de una solución de etanol acidificado (etanol al 95% y HCl 1 N, 85:15, v/v). La muestra se agitó magnéticamente durante 30 min y después

se centrifugó a 4,000 rpm (2,770  $\times$ g) durante 45 min (centrífuga Sorvall RC5C, Sorvall Instruments, Dupont, Wilmington, DE, E.U.A.). Los sobrenadantes se recogieron tres veces y se completó hasta 25 mL. Se hicieron lecturas de absorbancia a 533 nm usando un espectrofotómetro (BioMate 3, Thermo Fisher Technologies, WI, E.U.A.). El contenido de antocianina se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$C = [(A_{535 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}}) / \epsilon] \times (\text{volumen total de extracto} / 1,000) \times \text{MW} (1 / \text{peso de muestra})(10^6)$$

**Ecuación 3. Contenido total de antocianinas.**

Donde C es la concentración de antocianina total expresado en miligramos de equivalentes de cianidina-3-glucósido (mg EC3G) por kg de muestra;  $\epsilon$  es la absortividad molar para la cianidina-3-glucósido (25,965  $\text{cm}^{-1} \text{mol}^{-1}$ ) y MW es el peso molecular de la cianidina-3-glucósido, 449 Da.

**Capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC)**

La capacidad antioxidante se evaluó siguiendo el método TEAC-DPPH ([Brand-Williams et al., 1995](#); [Fukumoto y Mazza, 2000](#)). En resumen, se añadieron 500 mg de muestra a 10 mL de metanol, se agitó en un vórtex durante 10 min, y se extrajo durante 3 h en la oscuridad. La absorbancia se midió a 517 nm frente a un blanco de metanol usando un espectrofotómetro. Los valores de DPPH se expresaron como micromoles de equivalentes de Trolox (ET) por gramo de la muestra y se obtuvieron de la siguiente relación lineal: f (concentración de Trolox) = % de eliminación de DPPH con cinco soluciones estándar de Trolox.

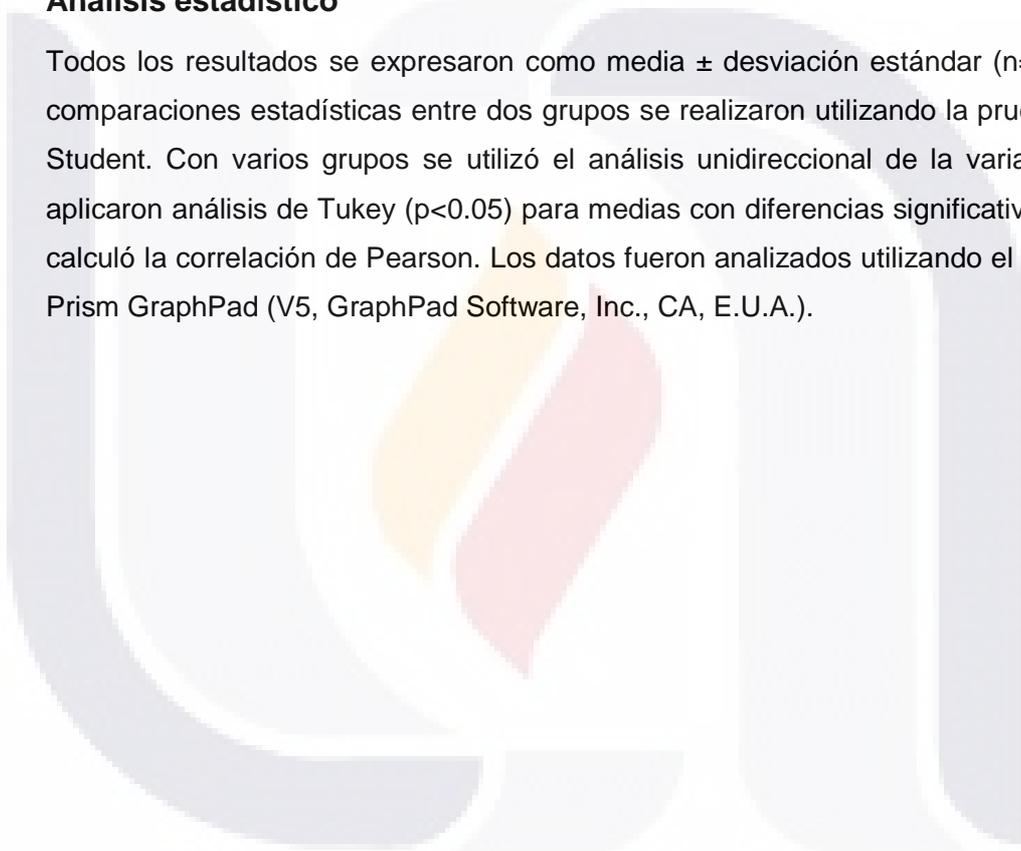
**Microscopía Electrónica de Barrido Ambiental (ESEM)**

Para estudiar la estructura de los totopos horneados se utilizó un microscopio electrónico de barrido ambiental (ESEM; modelo Philips XL30) con un haz de 20 kV

(50 mA) y un detector de GSE. Las imágenes fueron tomadas en 1000 y 3500x, a 0.9 torr para observar dentro de la estructura del gránulo de almidón y teliosporas del huitlacoche. Cinco muestras se prepararon cortando en una línea longitudinal y montados sobre los talones de aluminio para la observación.

### **Análisis estadístico**

Todos los resultados se expresaron como media  $\pm$  desviación estándar ( $n=3$ ). Las comparaciones estadísticas entre dos grupos se realizaron utilizando la prueba t de Student. Con varios grupos se utilizó el análisis unidireccional de la varianza; se aplicaron análisis de Tukey ( $p<0.05$ ) para medias con diferencias significativas, y se calculó la correlación de Pearson. Los datos fueron analizados utilizando el paquete Prism GraphPad (V5, GraphPad Software, Inc., CA, E.U.A.).



## CAPÍTULO VIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de materias primas

#### Procesamiento del huitlacoche

El huitlacoche se procesó al día siguiente de su recepción en el laboratorio, mientras tanto se colocó en refrigeración a 4 °C. En la [Tabla 14](#) se muestra el rendimiento del huitlacoche procesado. El peso del huitlacoche en la mazorcas representa el 62% del peso total; esto es debido al alto contenido de humedad contenido en las agallas del hongo; dicha humedad registró una pérdida del 20% debido al tratamiento térmico que se realizó, el cual era necesario para facilitar el mezclado de las harinas de maíz azul con el huitlacoche, y así obtener una masa más uniforme que no alterara drásticamente las propiedades reológicas características de las masas de maíz nixtamalizado.

**Tabla 14. Rendimiento de huitlacoche a partir de mazorcas infectadas con el hongo *Ustilago maydis***

Mazorcas infectadas de <i>Ustilago maydis</i> (kg)	Huitlacoche fresco obtenido (kg)	Rendimiento (%)
36.43	22.63	62.14
Huitlacoche fresco (kg)	Huitlacoche cocido (kg)	Rendimiento (%)
22.63	18.48	81.61

#### Caracterización física de los granos de maíz azul y sus harinas nixtamalizadas

Los resultados de las propiedades físicas de los dos granos utilizados en este estudio se presentan en las [Tabla 15](#). El tamaño del grano se determinó mediante un Vernier digital. El tamaño de granos fue mayor en el maíz cónico (GC) que en el criollo (GX); el maíz criollo era una muestra muy irregular que tenía diferentes tamaños en granos como se constata en la variación de la desviación, el maíz cónico era un maíz seleccionado el cual tenía un estándar de tamaño más uniforme. Valores similares han sido reportados por [Del Pozo-Insfran et al. \(2007\)](#), [Salinas Moreno et al. \(2010\)](#), [Gutiérrez-Urbe et al. \(2010\)](#), y [Véles Medina \(2004\)](#) reportaron valores de longitud entre 11.79-12.51 mm, de anchura de 8.29-10.03 mm, y 4.37-5.42 mm de espesor.

Tabla 15. Caracterización de granos y harinas de maíz azul nixtamalizado.

Variables	GC	GX	HC	HX	HM
Longitud (mm)	12.3±0.8a	13.4±2.6a	NA	NA	NA
Anchura (mm)	10.4±0.9b	8.3±1.3a	NA	NA	NA
Espesor (mm)	5.1±0.7a	4.9±1.1a	NA	NA	NA
Peso hectolítrico (kg/hL)	78.5±0.4a	67.9±0.6b	NA	NA	NA
Peso de 100 granos (g)	380.0±0.3a	311.1±1.3b	NA	NA	NA
Índice de flotación (%)	25.3±2.9b	96.7±0.6a	NA	NA	NA
Rendimiento de harina (%)	88.8	82.4	NA	NA	NA
Contenido de humedad (%)	6.0±0.7b	8.8±0.6a	8.6±0.3ab	8.8±0.2a	8.2±0.2b
L*	38.2±2.3d	37.2±3.7d	60.0±0.6c	51.8±0.3b	65.6±0.6a
a*	0.95±1.11ab	5.83±1.22b	1.38±0.06a b	0.80±0.02a	1.19±0.04a
b*	0.20±0.31a	4.74±3.66a	3.60±0.05a	5.47±0.05b	4.76±0.04a
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	NA	NA	0.58±0.00c	0.70±0.00a	0.63±0.02b
Índice de solubilidad en agua	NA	NA	0.084a	0.031b	0.026c

<sup>a</sup>GC= granos de maíz cónico; GX= granos de maíz criollo. <sup>a</sup>HC= harina de maíz cónico nixtamalizado; HX= harina de maíz criollo nixtamalizado; HM= harina comercial de maíz azul nixtamalizado; NA= no aplica.

<sup>b</sup>Medias (n = 3) con la misma letra en la misma fila no son significativamente diferentes (P < 0.05), prueba de Tukey.

El valor del peso hectolítrico encontrado fue de 78.5 kg/hL para el maíz variedad cónico y de 67.9 kg/hL para el maíz criollo. La cuantificación del peso hectolítrico es una medición importante que se evalúa para determinar la calidad de los granos. Con el desarrollo de variedades de las cuales se obtienen altos rendimientos se fueron disminuyendo distintas cualidades del grano. El peso hectolítrico es afectado por distintos factores entre ellos: enfermedades, nutrición de las plantas,

composición química del grano, lluvias o sequías, entre otros ([Abbate et al., 2001](#); [Peña et al., 1998](#)). Valores similares han sido reportados por [Del Pozo-Insfran et al. \(2007\)](#), que encontraron 63.1 y 65.9 (kg/hL) en granos de maíz azul; [Salinas Moreno et al. \(2010\)](#), [Gutiérrez-Urbe et al., \(2010\)](#) y [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#) reportaron valores superiores que oscilan entre 71.2 y 75.2 (kg/hL). Comparando las características físicas de los granos de maíz criollo y el maíz cónico, se observó que el tamaño y la parte harinosa (más ligera que la parte estructural) del grano era mayor en el maíz cónico, por lo tanto el mayor peso hectolítrico pudo deberse a esos dos factores mencionados.

El peso de 100 granos es otra caracterización importante en la calidad y el rendimiento para la obtención de harinas en los cereales; a mayor peso de grano se relaciona mayor cantidad de proteína y mayor rendimiento en harina; en el rendimiento de harinas obtenidos se observó que el maíz cónico obtuvo el mayor rendimiento de harina de maíz nixtamalizado comparado con el maíz criollo. Valores similares han sido reportados por [Del Pozo-Insfran et al. \(2007\)](#); [Salinas Moreno et al. \(2010\)](#); [Gutiérrez-Urbe et al. \(2010\)](#) y [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#), obteniendo resultados que van desde 320 a 382 g.

El índice de flotación se utiliza para estimar la densidad relativa de los granos que es una medida indirecta de la dureza del grano. La clasificación de la dureza del grano se basó en la establecida en la [NMX-FF-034/1-SCFI-2002](#) ([Tabla 16](#)) la cual establece los siguientes valores del índice de flotación: entre 0 y 12% son granos muy duros, 13 a 37% son granos duros, 38 a 62% son granos de dureza intermedia, 63 a 87% son suaves y mayor al 87% son muy suaves. Los índices de flotación promedio obtenidos fueron diferentes en los maíces analizados: el maíz cónico presento un índice de flotación de 25.3% mientras que el maíz criollo presentó un índice del 96.7 %. Esto indica que el maíz cónico tiene granos duros y el maíz criollo posee granos muy suaves.

Tabla 16. Clasificación de la dureza de granos de maíz.

Granos flotantes	Dureza	Tiempo de coccion (minutos)
0-12	Muy Duros	45
13-37	Duros	40
38-62	Intermedios	35
63-87	Suaves	30
88-100	Muy Suaves	25

NMX-FF-034/1-SCFI-2002

[Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto \(2010\)](#) encontraron que los granos con endospermo duro, presentaban un índice de flotación bajo que los maíces de endospermo medio o suave.

Se observó que el peso hectolítrico estuvo relacionado con el peso del grano, a menor peso hectolítrico mayor peso de 1000 granos y mayor rendimiento de harina, aunque esta relación no es general, ya que en el caso de los maíces de alta calidad proteínica (QPM) esta relación tiende a ser directamente proporcional. Durante la nixtamalización, los granos suaves tienden a cocerse demasiado produciendo masas más pegajosas que son difíciles de manejar en las máquinas. [Betrán et al. \(2001\)](#) indicaron que la mayoría de los genotipos de maíz azul poseen endospermo harinoso que requiere menor tiempo de nixtamalización en comparación con otras variedades como maíz blanco y amarillo.

Las variaciones del rendimiento están relacionadas al peso hectolítrico, tamaño de grano e índice de flotación entre otras variables intrínsecas y extrínsecas. El tamaño del grano y su composición harinosa se relacionan con el rendimiento de harinas nixtamalizadas ([Véles Medina, 2004](#)).

Se observaron diferencias significativas en los índices de solubilidad en agua (ISA) [Tabla 15](#) entre las tres muestras de harinas estudiadas; HC presentó un índice de 0.084, HX de 0.031 y HM de 0.026. El ISA indica la cantidad de sólidos disueltos por el agua cuando la harina muestra se somete a un exceso de líquido; también indica el grado de agresividad del tratamiento al que fue sometido el grano con el que se preparó la harina ([González et al. 1991](#)), a un tratamiento térmico más agresivo

durante la nixtamalización corresponde una mayor cantidad de sólidos disueltos en el agua.

### **Características fisicoquímicas de harinas**

Los resultados de las propiedades físicas de las tres harinas analizadas se presentan en la [Tabla 17](#). La humedad de las harinas osciló entre 8.2 y 8.8 g de agua/100 g de muestra. Valores similares han sido reportados por [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#) y [Véles Medina \(2004\)](#) en harinas de maíz azul.

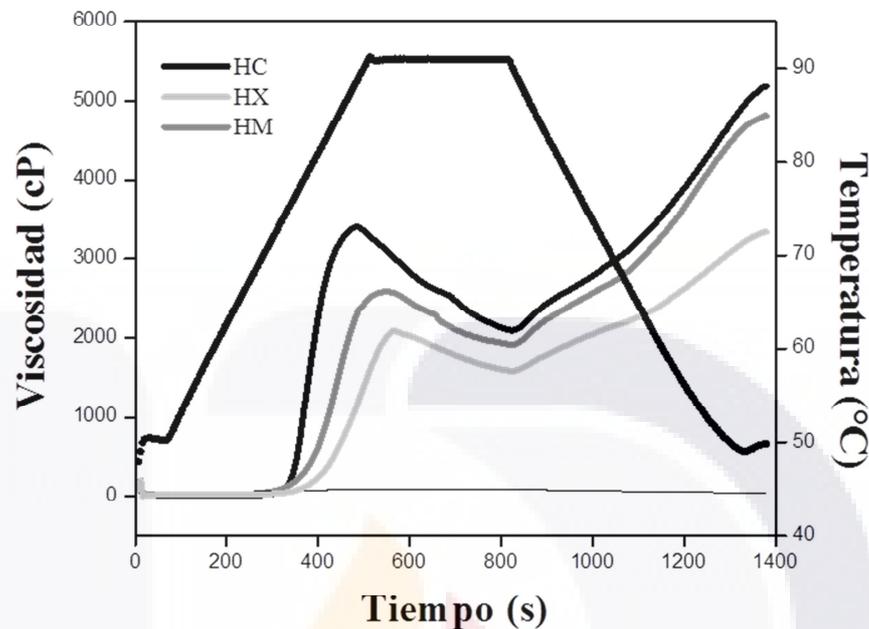
Con respecto a la densidad aparente (DA) de harinas, los valores obtenidos fueron de 0.587 g/cm<sup>3</sup> para la harina comercial, 0.697 g/cm<sup>3</sup> para la harina de maíz criollo y 0.633 g/cm<sup>3</sup> para la harina de maíz cónico. Valores similares fueron reportados por [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#) que oscilaron entre 0.526-0.572 g/cm<sup>3</sup> para maíces azules. [Flores-Farías et al. \(2002\)](#) reportaron valores entre 0.38-0.45 g/cm<sup>3</sup> para harinas de maíz nixtamalizado comerciales y [Bressani et al. \(2001\)](#) reportaron valores de DA para harinas de maíz nixtamalizado comerciales en Centroamérica de 0.410-0.547 g/cm<sup>3</sup>. Esta variable tiene relación con el tamaño medio de partícula de las harinas; una mayor presencia de partículas finas se asocia con densidad más baja ([Bedolla y Rooney, 1984](#)). Los factores que inciden en el tamaño medio de partículas de la harina son la dureza del grano, el tiempo de nixtamalización, la cantidad de álcali empleada, el tiempo de reposo, el ajuste en la velocidad de los molinos y el cribado de la harina ([Flores-Farías et al., 2002](#)).

### **Viscosidad**

La [Figura 23](#) muestra la viscosidad relativa de las tres harinas de maíz nixtamalizado obtenidas. HC mostró valores máximos de viscosidad de 3408 cP a 89 °C (ciclo de calentamiento) y 5190 cP a 49.9 °C (ciclo de enfriamiento), mientras que HX mostró valores máximos de viscosidad de 2088 cP a 91 °C (ciclo de calentamiento) y 3340 cP a 49.9 °C (ciclo de enfriamiento). La HM mostró valores intermedios entre las otras dos harinas de maíz nixtamalizado. La viscosidad máxima se correlacionó significativamente con la densidad aparente en las harinas

( $r = 0.8124$ ) y contenido de proteína ( $r = -0.8567$ ). Un tamaño medio de partícula de la harina y una mayor proporción de partículas pequeñas se asocia con una menor densidad aparente ([Bedolla y Rooney, 1984](#)). Por otro lado, [Flores-Farías et al. \(2002\)](#) y [Salinas-Moreno et al. \(1992\)](#) reportaron que el contenido de proteína se asocia con la dureza del grano, y que el tamaño medio de partícula de la harina se ve demasiado afectado por la dureza de grano: entre más duro sea el grano, mayor será el tamaño de partícula de la harina.

Las diferencias en las características de viscosidad se pueden atribuir a la presencia de alto contenido de almidón, gomas de fibra y lípidos germinales saponificados que quedan tras el lavado tradicional del nixtamal. Se han reportado los valores máximos de viscosidad a 92 °C (ciclo de calentamiento) ([Salinas-Moreno et al., 2003](#)).



**Figura 23. Perfil viscoamilógrafo de harinas de maíz nixtamalizado.**

HC = harina de maíz nixtamalizado cónico; HX= harina de maíz nixtamalizado criollo;  
 HM = harina comercial de maíz nixtamalizado.  
 Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar.

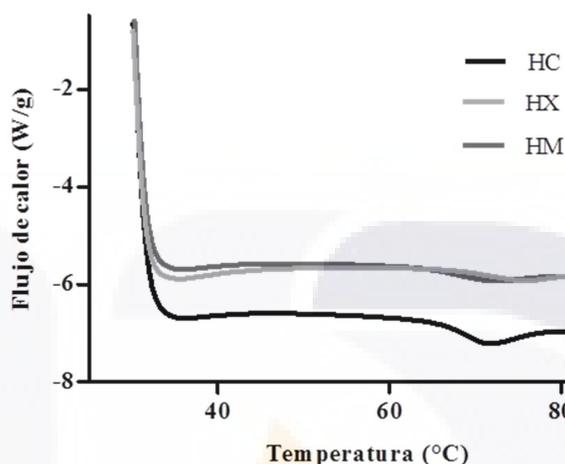
La viscosidad ha sido útil para proporcionar información inicial que se puede aplicar para el desarrollo de nuevos productos ([Coutinho y Reilly, 1994](#); [Sloan, 2011](#)). Durante la nixtamalización, el almidón de maíz es generalmente muy resistente a la descomposición y mantiene una viscosidad constante, mientras que la viscosidad de la masa disminuye a causa del cizallamiento ([Gómez et al., 1992](#)). La viscosidad máxima y la viscosidad pico están inversamente relacionadas con el grado de gelatinización de los almidones; el almidón gelatinizado no desarrolla viscosidad; por otra parte, un almidón crudo tiende a desarrollar viscosidad a una capacidad completa ([Arámbula-Villa et al., 2001](#)). Se ha reportado que el calcio interactúa con el almidón lo que resulta en la formación de complejos ([Nurul-Islam y Mohd. Azemi, 1992, 1994](#)); este aumento de la interacción de los grupos hidroxilo de las cadenas

de amilosa y amilopectina con iones  $\text{Ca}^{2+}$  o  $\text{Ca}(\text{OH})^+$  en los gránulos de almidón, probablemente aumenta los valores de viscosidad ([San Martín-Martínez et al., 2003](#)). Las características viscoamilográficas pueden ser influenciadas por el estado de las estructuras del polímero de almidón formadas durante la nixtamalización ([Sahai et al., 2001](#)). [Salinas-Moreno y Aguilar-Modesto \(2010\)](#) reportaron que el contenido de almidón fue similar en los granos duros e intermedios y menor que el contenido del maíz de grano suave, pero los valores de amilosa fueron estadísticamente diferentes entre los grupos de maíz analizados ( $P < 0.05$ ). El valor más alto de amilosa se presentó en el grano suave, y los valores más bajos en el grano duro; con respecto a la proporción de amilopectina, los resultados fueron exactamente lo contrario, ya que estos polímeros son composición de almidón complementaria, es decir el contenido de amilopectina fue bajo en granos suaves y los valores más altos en granos duros. [Ansari et al. \(2010\)](#) reportó que la velocidad de hidratación de las fracciones de almidón es diferente; la amilopectina absorbe agua más rápido que la amilosa.

### **Propiedades térmicas**

El comportamiento térmico de harinas fue estudiado por calorimetría diferencial de barrido (DSC; [Figura 24](#)). La gelatinización y retrogradación del almidón proporcionan información valiosa sobre las características de los almidones. La proporción de amilosa:amilopectina afecta las características térmicas; con un contenido de amilopectina mayor, hay un estrechamiento del pico de gelatinización ([Krueger et al., 1987](#)). Tiempos de cocción más largos permiten una mayor gelatinización del almidón, lo que resulta en un cambio menor en la entalpía de

gelatinización en DSC, porque una parte del almidón ya se ha gelatinizado. Las propiedades térmicas mostraron diferencias significativas entre las HMN ([Tabla 17](#)).



**Figura 24. Termogramas de harinas de maíz nixtamalizado.**

HC = harina de maíz nixtamalizado cónico; HX = harina de maíz nixtamalizado criollo; HM = harina comercial de maíz nixtamalizado. Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar.

Los bajos valores de entalpía para HX pueden indicar que la mayor parte del almidón se gelatinizó durante la nixtamalización y por lo tanto se requirió menos energía para gelatinizar el almidón nativo restante ([Mondragón et al., 2004](#)); la entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) se correlacionó significativamente con la CAA ( $r = 0.798$ ); la menor capacidad para absorber el agua fue presentada por HX.

La diferencia en la temperatura de gelatinización entre diferentes harinas se puede atribuir a la diferencia de tamaño, forma y distribución de los gránulos de almidón en las harinas, y a la disposición interna de las fracciones de almidón dentro del gránulo ([Kaur et al., 2005](#)).

Tabla 17. Propiedades térmicas de harinas de maíz nixtamalizado.

Harina de Maíz Nixtamalizado	Temperatura de inicio (Ti, °C)	Temperatura pico (Tp, °C)	Temperatura final (Tf, °C)	ΔH de gelatinización (J/g)
HC	66.04 ± 0.31b	71.71 ± 0.38b	79.11 ± 1.27b	5.71 ± 0.61a
HX	68.18 ± 0.38a	75.65 ± 0.35a	82.09 ± 1.10a	2.69 ± 0.50c
HM	64.9 ± 0.30c	71.65 ± 0.41b	79.19 ± 0.90b	3.05 ± 0.73b

HC= harina de maíz nixtamalizado cónico; HX= harina de maíz nixtamalizado criollo; HM= harina comercial de maíz nixtamalizado.

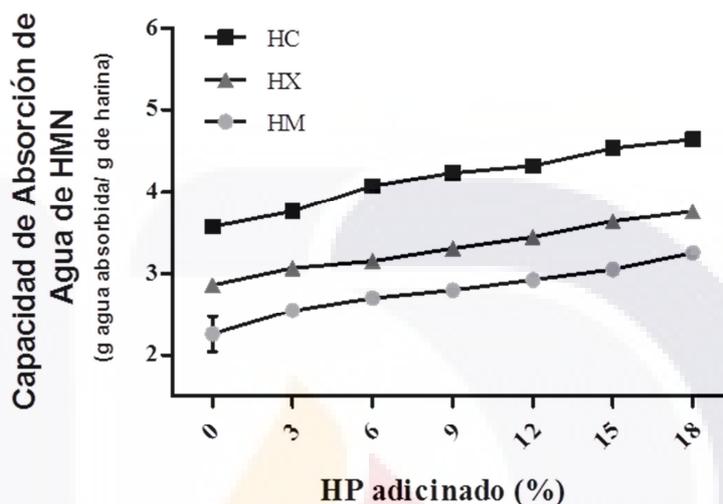
Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (P < 0.05) según el análisis de Tukey.

El ISA se correlacionó con la entalpía de gelatinización (r = 0.999), como indica el daño del almidón en nixtamalización; esta correlación indica el grado en que se cocinó el grano con el que se preparó la harina, y las harinas comerciales sufren un procesamiento térmico más agresivo debido a las mezclas de granos y lotes. La temperatura pico (Tp) se correlacionó directamente a Tf (r = 0.999); a mayor energía requerida para el objetivo de gelatinización, la Tp aumenta su valor para lograr el hinchamiento de los gránulos de almidón, y la temperatura final tiene que estar correlacionada. Tp se correlacionó negativamente con el contenido de humedad (r = -0.999); durante la gelatinización se requiere agua para alcanzar la gelatinización, y a valores más bajos de humedad se requiere más energía para hidratar los gránulos de almidón.

### Caracterización de masas

En cuanto a la capacidad de absorción de agua (CAA) no hubo diferencias significativas entre las harinas ([Figura 25](#)). HC mostró la mayor CAA (4.64 g de agua absorbida/g de harina), que fue significativamente mayor que los de los máximos

valores registrados para HC (3.75 g de agua absorbida/g de harina) y HM (3.25 g de agua absorbida/g de harina).



**Figura 25. Capacidad de absorción de agua (CAA) de harinas de maíz nixtamalizado.**

HMN= harina de maíz nixtamalizado ; HC= harina maíz cónico; HX = harina de maíz criollo; HM = harina comercial de maíz azul.

Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Análisis de Student-Newman-Keuls (P < 0.0001).

Estas diferencias pueden atribuirse a variaciones en el grado de cocción de los granos durante la nixtamalización, o a diferencias en la dureza y el contenido de almidón de los granos utilizados como materia prima. HM se añade generalmente de gomas para mejorar las características de textura de las masas. La CAA aumentó debido a la adición de huiltlacoche y puede atribuirse a la fracción de fibra soluble del hongo. La CAA se correlacionó significativamente con la viscosidad ( $r = 0.934$ ) y con el contenido de proteínas ( $r = 0.917$ ); resultados similares fueron reportados por [Flores-Farías et al. \(2002\)](#) en harinas comerciales de maíz nixtamalizado, donde reportó de la alta CAA a medida que el contenido de proteína fue mayor.

La calidad de las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) está relacionada con la CAA, que es una medida de su funcionalidad. Durante la producción de harinas, el secado es crítico para producir una CAA apropiada, porque un proceso de secado largo rompe cadenas de almidón en cadenas cortas, haciendo así a las HMN capaces de retener más moléculas de agua ([Almeida-Domínguez y Rooney, 1996](#)). Sin embargo, con un calentamiento excesivo, los gránulos de almidón pierden su estructura y la integridad para formar una pasta gelatinizada con mayor CAA ([Campus-Baypoli et al., 1999](#)). Esto podría dar lugar a masas con mayor adhesividad, lo que dificulta la manipulación durante la preparación de tortillas y/o totopos. La norma oficial mexicana [NOM-187-SSA1/SCFI-2002](#) permite la adición de gomas (carragenina, goma arábiga, guar, y de xantano) a las harinas en buenas prácticas de manufactura, pero dichas gomas no son declaradas en las etiquetas de las harinas de maíz nixtamalizado.

La [Tabla 18](#) muestra la caracterización de masas de maíz azul añadido con HP. El color de la harina de maíz nixtamalizado fue más claro que el de las masas de acuerdo con los valores del parámetro  $L^*$ , que mide el nivel de luminosidad de la muestra. Los valores  $L^*$  disminuyeron a medida que se añadió HP. Para la MC-18,  $L^*$  fue de 29.69, mientras que para la MX-18 fue de 28.65 y de 28.68 para MM-18; los valores de  $L^*$  fueron influenciados por el color negro de este hongo causado principalmente por las melaninas de su pared celular ([Beas et al., 2011](#)).

**Tabla 18. Caracterización de las masas de maíz azul nixtamalizado.**

Masas	L*	a*	b*	pH
MC-0	51.11 ± 0.73a	0.43 ± 0.16h	2.12 ± 0.13j	6.80 ± 0.00ef
MC-3	43.81 ± 1.95b	1.43 ± 0.13f	5.92 ± 0.32fg	6.60 ± 0.00g
MC-6	40.34 ± 0.45c	1.71 ± 0.03de	6.37 ± 0.10defg	6.50 ± 0.00gh
MC-9	38.04 ± 2.14d	1.81 ± 0.10cde	6.90 ± 0.28cde	6.30 ± 0.00ij
MC-12	35.07 ± 0.80e	1.86 ± 0.09bcde	6.98 ± 0.14cd	6.20 ± 0.00jk
MC-15	31.70 ± 0.80f	2.05 ± 0.06ab	7.63 ± 0.15ab	6.10 ± 0.00l
MC-18	29.69 ± 0.47fgh	2.15 ± 0.09una	7.99 ± 0.06a	5.85 ± 0.07m
MX-0	43.77 ± 1.84c	0.89 ± 0.16j	4.84 ± 0.31kj	7.55 ± 0.07a
MX-3	37.74 ± 1.02d	1.42 ± 0.08i	5.85 ± 0.23i	7.0 ± 0.0cd
MX-6	33.35 ± 1.49e	1.67 ± 0.09f	6.39 ± 0.32efg	6.85 ± 0.07ef
MX-9	29.81 ± 1.22fg	1.87 ± 0.12bcde	6.22 ± 0.23def	6.6 ± 0.0g
MX-12	27.70 ± 0.60fg	2.04 ± 0.08bc	6.59 ± 0.23bc	6.5 ± 0.0gh
MX-15	27.97 ± 0.54h	1.90 ± 0.08cde	6.53 ± 0.20defg	6.36 ± 0.07hi
MX-18	28.65 ± 1.16fgh	1.89 ± 0.10bcde	6.51 ± 0.29cd	6.15 ± 0.07l
MM-0	41.49 ± 1.29b	-0.10 ± 0.20g	-1.20 ± 0.51h	7.7 ± 0.0cd
MM-3	37.69 ± 0.91d	0.22 ± 0.09f	2.78 ± 0.32g	7.3 ± 0.0b
MM-6	34.02 ± 1.08e	1.45 ± 0.09de	6.22 ± 0.13defg	7.05 ± 0.07c
MM-9	0.64 ± 0.35fgh	1.86 ± 0.04bcde	6.57 ± 0.21efg	6.90 ± 0.0de
MM-12	30.40 ± 1.08h	1.97 ± 0.14ab	7.27 ± 1.01def	6.75 ± 0.07f
MM-15	28.07 ± 0.74h	1.80 ± 0.08bcd	6.47 ± 0.34defg	6.55 ± 0.07g
MM-18	28.68 ± 2.44gh	1.86 ± 0.15bcd	7.00 ± 0.52defg	6.35 ± 0.07hi

MC = masa de maíz nixtamalizado cónico; MX = masa de maíz nixtamalizado criollo; MM = masa de harina comercial de maíz azul nixtamalizado. Los números 0, 3, 6, 9, 12, 15 y 18 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca.

Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (P < 0.05) según el análisis de Tukey.

En todas las evaluaciones se observaron valores de a\* positivos, correspondientes a diferentes tonalidades de rojo, y estos valores fueron superiores a los de las harinas nixtamalizadas, por lo tanto, esto indica la presencia de un tinte verdoso que es atribuible a el proceso de nixtamalización; así el HP influyó con el aumento de tonalidades de rojo. En cuanto al color de la tortilla, las mejores variedades de maíz azul para la elaboración de productos nixtamalizado teñidas naturalmente son los que presentan el menor cambio en el valor de a\* después de la nixtamalización ([Salinas-Moreno et al., 2003](#)).

En todas las evaluaciones también se observaron valores de  $b^*$  positivos; esto significa que presentan un color amarillento que era menor que en los granos. El proceso de nixtamalización genera un tono amarillo en la masa o harina; la intensidad de este tono depende del porcentaje de pericarpio retenido por el grano después de la nixtamalización, de la concentración de hidróxido de calcio y el pH. Posiblemente en las muestras en las que la harina nixtamalizada no era tan amarilla como la harina cruda, el porcentaje de pericarpio retenido era muy bajo. Pero la adición de HP influyó en el incremento de tonalidades de amarillo. Por otro lado, pHs altos dieron lugar a valores bajos de  $b^*$ .

La comparación de los parámetros de color:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , en granos, harinas y masas se fue modificando, debido a los cambios producidos en la nixtamalización, la molienda, y la rehidratación; estos resultados son posiblemente debido al hecho de que durante el proceso de nixtamalización, el pH alcalino del agua de cocción provoca cambios en la estructura de las antocianinas, formando nuevos compuestos de color; pero los cambios más significativos se observan con la adición de huitlacoche en pasta, posiblemente los colores en tonalidades amarillo, rojo, azules o verdes se presenten, pero se ven enmascarados por el color negro derivado de las melaninas que está contenido en el huitlacoche.

Durante el proceso de cocción alcalino, las antocianinas son destruidas, principalmente en el maíz con el pigmento en el pericarpio. En el grano de maíz azul, el proceso de nixtamalización provoca oscurecimiento de la harina, mientras que en el caso del maíz rojo, el proceso no afecta el color. La nixtamalización modifica el patrón de antocianinas, por lo tanto, aumenta el porcentaje relativo de la antocianina 3-glucósido en variedades de maíz azul ([Salinas-Moreno et al., 2003](#)).

**La cohesión y adhesividad de masas**

Los valores de cohesión y adhesividad de masas fueron significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ; [Figura 26](#)). La presencia de huitlacoche en diferentes porcentajes cambió los valores de cohesión y adhesividad de masas.



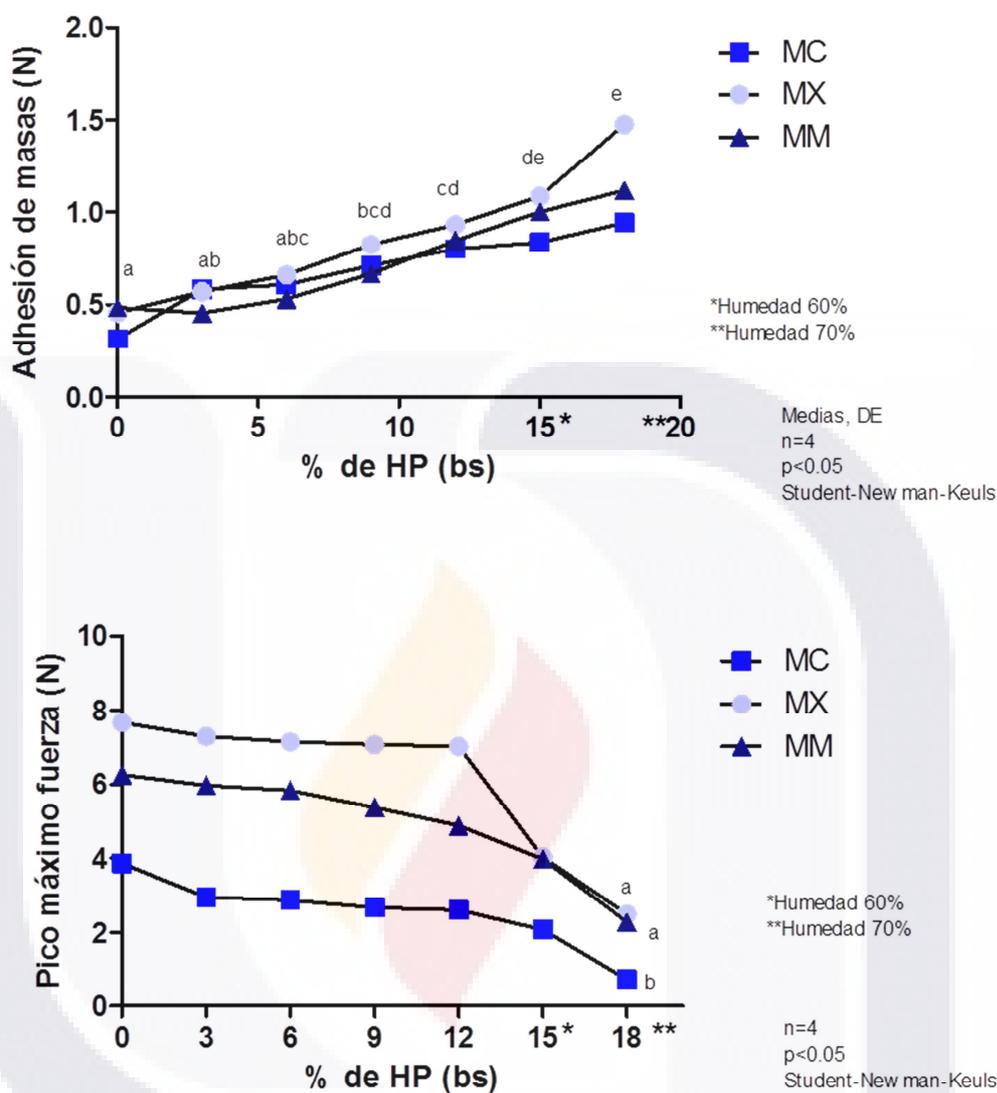


Figura 26. Cohesividad y adhesividad de las masas.

MC = masas de maíz cónico; MX = masas de maíz criollo; MM = masas de harina comercial. Medias ( $n = 3$ ) con diferente letra son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según el análisis de Student-Newman-Keuls.

Los valores más altos de adhesividad se asocian con masas adhesivas y pobre maquinabilidad (Martínez-Bustos *et al.*, 2001), pero en este estudio la adición de huitlacoche cambió las propiedades texturales de masas aumentando la adhesividad con los porcentajes más altos añadidos; esto puede atribuirse a la

fracción soluble e insoluble de la fibra. En formulaciones con 15 y 18% de huitlacoche, el contenido de agua de las masas alcanzó 60 y 70 g H<sub>2</sub>O/100 g de masa, respectivamente, y las masas eran demasiado blandas y pegajosas para la maquinabilidad. Una masa cohesiva, se define como una estructura que se desarrolla al adicionar líquido a alguna harina o cereal, y aplicando una fuerza mecánica se logra la integración y uniformidad de todas las partículas, y aunque se aplique fuerza para su deformación, logra conservar integradas sus partículas. Probablemente este pegamento se compone de una mezcla de lípidos y almidón gelatinizado disperso e hidratado, y de una matriz de proteína desnaturalizada libre y emulsionada ([Gómez et al., 1992](#)). Sin embargo, las formulaciones mostraron que una cohesividad excesiva puede producir una masa dura. Por otra parte, los valores bajos pueden producir una masa muy blanda que puede mantener las piezas de masa juntas, y ambas características afectan la maquinabilidad.

Las diferencias significativas observadas en la cohesión de masas pueden estar relacionadas con la relación de contenido de amilosa y amilopectina del almidón. La MX, con la mínima CAA, mostró los más altos niveles de cohesión, que se traduce en una masa dura y densa para maquinabilidad.

La cohesión se correlacionó inversa y significativamente al contenido de proteínas ( $r = -0.960$ ) y a la CAA ( $r = -0.980$ ). [Rababah et al. \(2012\)](#) encontraron resultados similares en el contenido de proteína de chips de maíz añadidos con varias fuentes de proteínas como la proteína aislada de soya; el contenido de proteína de harina no es sólo un indicador de valor nutricional directo, sino también una importante influencia en las propiedades reológicas de la masa ([Payne et al., 1987](#); [Wall, 1979](#)). La absorción de agua es la cantidad de agua absorbida por la harina para producir

masa de consistencia manejable. Se determina por el contenido de proteína de la harina, la cantidad de almidón dañado durante la molienda y la presencia de hidratos de carbono no amiláceos ([Finney et al., 1987](#); [Simmonds, 1989](#)). El trabajo realizado para deformar la masa está fuertemente correlacionada con el contenido de proteína y la fuerza de la harina ([Serna-Saldívar, 1996](#)).

El grado de gelatinización del almidón se relaciona positivamente con el ISA, y esto a su vez proporciona suavidad óptima o la cohesión de las masas ([Gómez et al., 1992](#)).

La cohesión es la fuerza requerida para penetrar la muestra a una cierta profundidad y velocidad; la fuerza está relacionada con la interacción que se logra durante la formación de la masa, el contenido del caucho disuelto en el pericarpio y el germen se liberan durante el lavado del nixtamal, que altera las propiedades cohesivas y adhesivas de la masa ([Martínez-Bustos et al., 2001](#)).

#### **Medición subjetiva de facilidad de maquinado en masas**

La obtención de las formulaciones con huitlacoche se llevó a cabo en base a una medición subjetiva de facilidad de maquinado descrita en el apartado de metodología. Las pruebas preliminares consistieron en sustituciones de 5, 10 y 15% con huitlacoche. A partir del 10% de sustitución presentaron problemas y deficiencias para cubrir los parámetros establecidos en la evaluación de facilidad de maquinado, por lo que se optó por una reducción del porcentaje de sustitución menor al 10%, que es el porcentaje máximo que se ha reportado dependiendo del tipo de ingrediente las sustituciones ([Rooney, 1999](#); [Amador-Rodríguez et al., 2010](#)).

De las masas probadas, solo 3 pudieron ser procesadas con éxito en la tortilladora ([Tabla 19](#)).

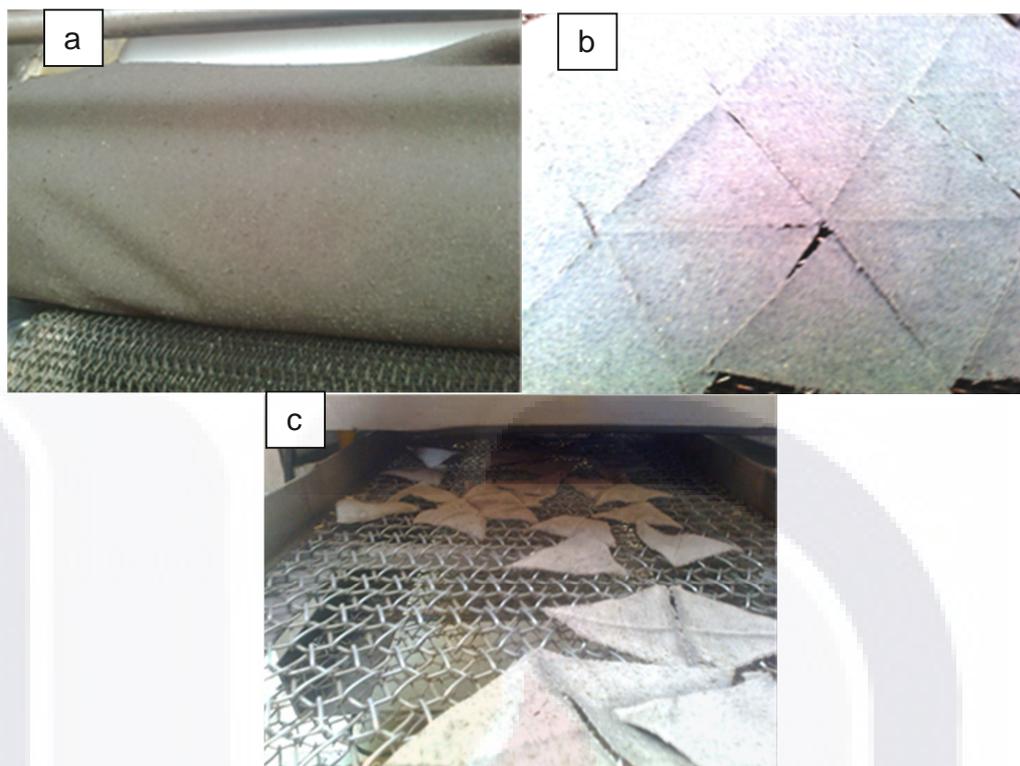
**Tabla 19. Facilidad subjetiva de maquinado de las formulaciones.**

Formulación	Facilidad subjetiva de maquinado
MC al 0,3 y 6% MX al 0,3,6 y 9% MM al 0, 3, 6 y 9%	Muy buena
MC al 9 %	Buena
MC, MX y MM al 12, 15 y 18%	Deficiente

Las masas con más del 10% de huitlacoche en base seca no fueron aptas para ser procesadas, posiblemente debido al alto contenido de fibra soluble e insoluble del huitlacoche que altera las propiedades reológicas de las masas. Las masas con 10 y 15% de huitlacoche en base seca fueron masas duras y pesadas, al momento de moldearse en los rodillos se hicieron chiclosas y pegajosas.

Posterior a la primera evaluación preliminar de masas, se reformularon las sustituciones, partiendo de un máximo de 10%, elaborando masas con el 0, 3, 6 y 9%, las cuales tuvieron una facilidad de maquinado aceptable.

A continuación se presentan ejemplos de las masas que pudieron ser procesadas en la tortilladora ([Figura 27](#)).



**Figura 27. Masa procesada en la tortilladora para todas las formulaciones. a) Formación de la cortina de masa en los rodillos de acero inoxidable. b) Cortado de totopos por los rodillos y precoccimiento; c) Salida de los totopos horneados precocidos y fríos de la máquina tortilladora.**

Una vez obtenidos los testales, se procedió en la misma máquina a realizar una precocción; los objetivos de este tratamiento son el sellamiento de ambos lados de los testales para la solidificación y desarrollo de la textura final de la pieza; en esta etapa todavía ocurre cierto grado de gelatinización del almidón. En este proceso las temperaturas influyen en la formación del gel; el proceso de gelatinización debe alcanzar la totalidad del almidón.

Aunque durante la molienda del nixtamal ocurre una solubilización de la amilopectina debido a la ruptura de gránulos de almidón gelatinizados ([Gómez et al., 1992](#)), en el caso de las HMN, el nixtamal destinado tiene menos contenido de humedad, lo que no permite la liberación de los gránulos de almidón; de hecho los contenidos de almidón y proteínas de las HMN son similares a los presentes en el endospermo del grano de maíz ([Gómez et al., 1992](#)).

La precocción ayuda a fijar el gel e influye en la absorción y textura del producto final. Esto ayuda a conformar una estructura estable y compacta que evita la deformación; adicionalmente en el freído esta estructura se mantendrá rígida a pesar de la evaporación del agua y la formación de vacío después de la inmersión en el aceite.

A continuación se presentan las formulaciones precocidas en las ocho formulaciones desarrolladas ([Figura 28](#)).



Figura 28. Formulaciones precocidas.

La [Figura 29](#) muestra los cambios de color después del horneado, donde se observan y se registraron, según la [Tabla 20](#), diferencias significativas por la adición de huitlacoche sobre todo en el plano L\* (luminosidad, de blanco a negro).



Figura 29. Formulaciones horneadas.

### Caracterización de totopos

### Determinaciones de color

La [Tabla 20](#) muestra que el color oscuro de los totopos aumentó a medida que el nivel añadido de HP aumentó, de acuerdo con los valores del parámetro  $L^*$ , que mide el nivel de luminosidad de la muestra. Se ha reportado que el huitlacoche ha presentado valores de  $L^*$  que van desde 30 hasta 59, y que estos valores se reducían dependiendo de la duración en el almacenamiento ([Martínez-Flores et al., 2008](#)).

En TC se observaron valores de  $a^*$  positivos, correspondientes a diferentes tonalidades de rojo, y estos valores fueron más altos a medida que se añadió HP, que los de las harinas nixtamalizadas, indicando así la presencia de un tinte verdoso en éstas, que es atribuible a el proceso de nixtamalización. En cuanto al color de la tortilla, las mejores variedades de maíz azul para la elaboración de productos nixtamalizados teñidos naturalmente son los que presentan el menor cambio en el valor de  $a^*$  después de la nixtamalización ([Salinas-Moreno et al., 2003](#)). En todas las formulaciones evaluadas, se observaron valores de  $b^*$  positivos también, lo que significa que presentan un tinte que era menos amarillento.

Los valores del parámetro  $L^*$  mostrados en la [Tabla 20](#) presentan diferencias significativas a medida que se añadió huitlacoche al 3, 6 y 9%. La disminución en los valores de  $L^*$  fueron causadas por el color negro de las melaninas del huitlacoche. [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#) reportaron valores de  $L^*$  de 30.25 a 31.43, valores para  $a^*$  de 7.78 a 11.97 y de  $b^*$  de 2.18 a 8.03 para los chips de tortilla de maíz azul. Los valores de  $L^*$  bajos son causadas por el color azul característico del maíz. Además, los procesos de freído u horneado causan el oscurecimiento debido a la reacción de Maillard o caramelización ([Maga y Liu, 1993](#); [Buttery y Ling, 1995](#)).

Durante el proceso de cocción alcalino y deshidratación de masas, las antocianinas son reducidas debido al efecto que la temperatura y el álcali tienen sobre ellas, pero también se ha observado que la nixtamalización modifica el patrón de antocianinas, aumentando así el porcentaje relativo de la antocianina 3-glucósido en variedades de maíz azul ([Salinas-Moreno et al., 2003](#)).

**Tabla 20. Color de totopos de maíz azul adicionados con huitlacoche**

Totopo	L*	a*	b*	ΔE	pH
TC-0	43.2±1.87ab	3.14±0.32abc	6.90±1.61e	52.6±6.58ab	6.80±0.00f
TC-3	39.9±3.21bcd	3.36±0.37abc	10.7±1.89cd	45.0±3.39a	6.60±0.00g
TC-6	35.7±3.54cd	3.75±0.38a	13.1±0.61ab	57.4±3.38a	6.50±0.00h
TC-9	29.8±1.17e	3.80±0.18A	11.4±0.29abc	59.4±3.70a	6.30±0.00i
TX-0	46.1±4.78 <sup>a</sup>	2.19±0.85f	7.37±0.82e	46.8±3.69b	7.55±0.07b
TX-3	42.1±6.22abc	2.45±0.48ef	11.1±2.09abc	52.7±6.45ab	7.0±0.0d
TX-6	37.9±2.69bcd	2.80±0.28de	13.6±0.80 <sup>a</sup>	56.0±2.36a	6.85±0.07ef
TX-9	36.3±3.36cd	2.88±0.35cde	12.8±0.84ab	56.4±4.38a	6.6±0.0g
TM-0	42.1±2.16abc	3.72±0.40ab	3.75±0.90f	53.5±3.85ab	7.7±0.0a
TM-3	40.5±3.61abcd	3.55±0.23a	9.00±0.98de	52.6±4.23ab	7.3±0.0c
TM-6	36.5±1.95cd	3.42±0.19abc	10.3±0.98cd	58.5±1.29a	7.05±0.07d
TM-9	34.3±1.58d	3.38±0.21abc	10.3±0.92cd	56.0±3.98a	6.90±0.0e
TM2	41.1±1.16abc	3.69±0.35ab	3.50±0.60f	52.5±3.15ab	NA

TC = totopo de maíz nixtamalizado cónico; TX = totopo de maíz nixtamalizado criollo; TM = totopo de harina comercial de maíz azul nixtamalizado; TM2 = totopo comercial de maíz azul. Los números 0, 3, 6 y 9 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca. Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (P < 0.05) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

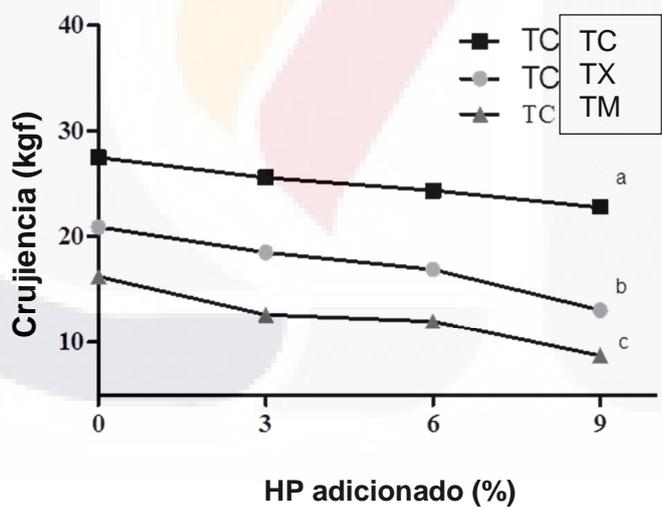
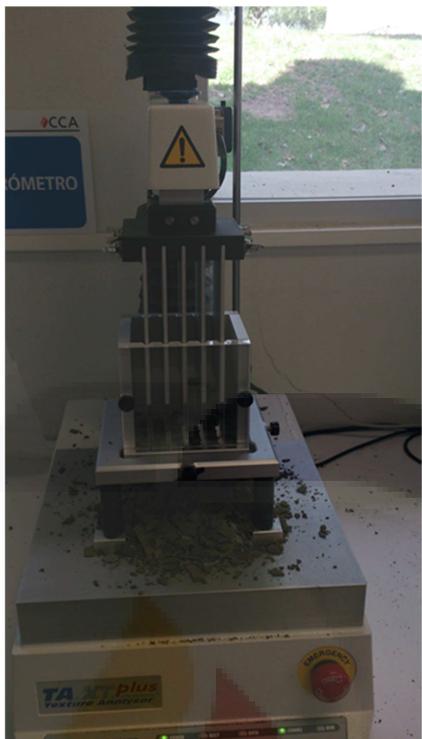
Mediante la comparación de los valores de los granos, harinas y de los totopos, podemos mencionar que los procesos de nixtamalización y cocción influyen en determinar los parámetros de color L\*, a\* y b\*; estos resultados son posiblemente debido al hecho de que durante el proceso de nixtamalización, el pH alcalino del

agua de cocción provoca cambios en la estructura de las antocianinas, formando nuevos compuestos de color.

La [Tabla 20](#) muestra los cambios de pH en las formulaciones, la adición de HP reduce los valores de pH en los totopos, se han reportado con valores de pH de 4.2 a 4.4 en huitlacoche fresco ([Pimentel-González et al., 2011](#)), lo cual hace que su adición en masas, acidifique con forme se incrementa el porcentaje de adición.

#### **Fuerza de fractura (crujencia)**

La crujencia o fuerza de fractura en los totopos fue significativamente diferente entre los tres tipos de totopos, derivado de los tres tipos de harinas de maíz azul utilizadas ( $P < 0.05$ ; [Figura 30](#)). TC mostró la mayor resistencia a la fractura (dureza), la cual fue significativamente mayor que las de TX y TM. Esta diferencia puede ser atribuida a la formación de complejos de almidón con calcio que resulta en moléculas más compactas y por lo tanto totopos más duros ([Gómez et al., 1992](#); [Zazueta-Morales et al., 2002](#)). Por otro lado, TM tuvo el valor más bajo y esto puede ser debido a los aditivos (carboximetil celulosa y/o goma guar) declarados en la etiqueta. La fuerza de fractura fue inversamente correlacionada con el contenido de proteínas ( $r = -0.879$ ) y directamente al contenido de grasa cruda ( $r = 0.952$ ).



**Figura 30. Fuerza de ruptura de totopos de tortilla de maíz azul nixtamalizado. A) Ejecución del ensayo de crujiencia en el Texture Analyzer. B) Crujiencia de totopos de maíz azul horneados adicionados con huitlacoche a 0, 3, 6, 9%.**

TC = totopo de maíz cónico; TX = totopo de maíz criollo; TM = totopo de harina comercial. Medias ( $n = 3$ ) con diferente letra son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según el análisis de Student-Newman-Keuls.

[Gómez et al \(1992\)](#) observaron que en los pedazos de gránulos de almidón del endospermo se pegan entre sí por amilosa, proteínas, lípidos y componentes de la pared celular, formando una estructura tridimensional compleja, que se endurece y solidifica por la evaporación rápida del agua de la superficie de la tortilla y una severa gelatinización de almidón (> 40%) que se producen durante la cocción.

Valores de fuerza de carga alta de pico (50 a 140 kgf) fueron reportados en chips de tortilla horneados hechos con masa de harinas nixtamalizadas instantáneas comerciales (no de color azul) ([Kayacier y Singh, 2003](#)). Los maíces azules tienen granos más suaves comparados a los maíces blancos o amarillos, y pueden causar valores de fuerza de fractura más bajos; [Plascencia-González et al. \(1999\)](#) elaboraron un totopo de maíz azul con buenas características sensoriales (color, sabor y textura).

El proceso de nixtamalización causa daño en el almidón, disminuye el peso molecular promedio del almidón y afecta a las características estructurales de los productos ([Kervinen et al., 1984](#); [Pan et al., 1998](#)). Las propiedades de textura de los chips de tortilla está relacionada con la eliminación de la humedad durante el proceso de cocción a altas temperaturas, lo que conduce a la formación de grandes celdas de aire y grietas en la estructura, lo que resulta en valores de fuerza de fractura bajos ([Sánchez-Madrigal et al., 2014](#)). Esto es debido a altas temperaturas, grandes grietas se forman debido a la vaporización rápida y la difusión de humedad a través de los poros ([Kayacier y Singh, 2003](#)).

Además, el huitlacoche influyó en la fuerza de rotura a medida que aumentó. El alto contenido de fibra dietaria (54-64% bs) del huitlacoche ([Valverde et al., 1995](#); [Beas](#)

[et al., 2011](#)) pudo influir en el índice de absorción de agua. La temperatura de ebullición del agua en el interior de la muestra aumentó rápidamente a alta temperatura y alta presión provocando grietas más grandes ([Kayacier y Singh, 2003](#)).

[Quintero-Fuentes et al. \(1999\)](#) investigaron las propiedades texturales de totopos horneados hechos con harinas de arroz y sorgo. Determinaron la fuerza de trabajo y los valores pico utilizando un analizador de textura. Ellos mostraron que los chips de tortilla fortificada con 20% de harinas de arroz o sorgo tenían valores de fuerza máxima y de trabajo más bajas en comparación con las muestras control.

#### **Análisis proximales**

Algunas de las características químicas de los totopos también fueron evaluadas ([Tabla 21](#)). La grasa cruda se redujo a medida que el huitlacoche aumentó. Se han reportado niveles de 2.9 g de grasa cruda/100 g de muestra, 12.4 g de proteína/100 g, y 54-64% de fibra dietaria total en huitlacoche ([Beas et al., 2011](#)), mientras que los de maíz azul son 4.2-4.8% de grasa cruda y 9.05-10.04% de proteína ([Salinas-Moreno et al., 2013](#)). El contenido de proteína de los totopos no cambió significativamente con la adición de huitlacoche ( $P < 0.05$ ), pero mostró diferencias significativas entre las materias primas. TX mostró la menor cantidad de proteína cruda (6%), mientras que los chips de tortilla comerciales mostraron la más alta. La fibra dietaria total (FDT) y la fibra cruda se incrementaron por la adición de HP ( $P < 0.05$ ); la fibra dietaria total fue influenciada por la harina utilizada y por la adición de HP; TC tuvo más FDT que TX y TM, el TM2 reportó en la etiqueta 5.5% de FDT, los tratamientos casi triplicaron este valor, como por ejemplo TC-9. La FDT presentó

una correlación con la CAA ( $r = 0.7190$ ) y negativamente con la cohesividad ( $r = -0.6476$ ) ( $P < 0.05$ ).

**Tabla 21. Contenidos de grasa cruda, proteína cruda, fibra cruda, fibra dietaria total y contenido de humedad de los totopos.**

Totopo	Grasa cruda (%)	Proteína cruda (%)	Fibra cruda (%)	Fibra dietaria total (%)	Contenido de humedad (%)
TC-0	3.20±0.12f	10.1±0.04b	0.50±0.01j	10.34±0.01f	2.87±0.01c
TC-3	3.08±0.09f	10.1±0.02b	0.90±0.01 g	13.37±0.01c	2.68±0.01de
TC-6	2.70±0.04 g	10.2±0.11b	1.10±0.04d	13.54±0.01b	2.48±0.01ef
TC-9	2.48±0.01h	10.0±0.04b	1.40±0.08b	14.54±0.01a	2.28±0.01f
TX-0	3.61±0.03b	6.50±0.01d	1.20±0.04c	7.97±0.01j	3.00±0.02cd
TX-3	3.48±0.03b	6.68±0.09cd	1.10±0.03d	9.67±0.01 g	2.87±0.13cd
TX-6	3.21±0.04c	6.69±0.10cd	1.00±0.01e	10.97±0.01e	2.62±0.15de
TX-9	2.93±0.18d	6.76±0.02c	0.80±0.01h	11.72±0.01d	2.50±0.02ef
TM1-0	2.44±0.14c	8.38±0.07g	0.30±0.08l	5.27±0.01 m	3.81±0.13a
TM1-3	2.30±0.18cd	8.56±0.03f	0.70±0.04i	6.93±0.01k	2.92±0.07cd
TM1-6	1.92±0.09e	8.57±0.05f	1.00±0.09f	8.90±0.01i	2.77±0.15de
TM1-9	1.69±0.02f	8.75±0.00e	1.50±0.01a	9.20±0.01h	2.98±0.1cd
TM2	5.55±0.03a	11.1±0.10a	0.33±0.08ak	5.55±0.01l	2.70±0.07b

TC = totopo de maíz nixtamalizado cónico; TX = totopo de maíz nixtamalizado criollo; TM = totopo de harina comercial de maíz azul nixtamalizado; TM2 = totopo comercial de maíz azul. Los números 0, 3, 6 y 9 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca. Se muestran medias ( $n = 3$ ) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

El contenido de proteína se asocia directamente con la dureza del grano ([Salinas-Moreno et al., 1992](#)), y se atribuye a la mayor presencia de cuerpos proteicos (prolaminas) que rodea los gránulos de almidón en el endospermo ([Salinas-Moreno et al., 2013](#)). La norma mexicana para las harinas de maíz nixtamalizado ([NMX-F-046-S-1980](#)) permite un mínimo de proteína cruda de 8%, 4.0% de grasa cruda y un máximo de 2.0% de fibra cruda para las harinas de maíz nixtamalizado (base seca).

Por lo tanto, TX tuvo una cantidad inferior del contenido de proteína requerida, mientras que TC tuvo todos los parámetros requeridos permitidos. La grasa cruda se correlacionó negativamente con el contenido de antocianinas ( $r = -0.7430$ ), ya que estos pigmentos son hidrosolubles ([Wrolstad, 2004](#)).

El grano duro es una característica hereditaria que está influenciada por la composición química de los granos (proteínas y almidón, principalmente) ([Fox y Manley, 2009](#)) y se puede atribuir a la mayor presencia de cuerpos de proteínas que rodean los gránulos de almidón del maíz duro, en relación con el grano suave de maíz ([Watson, 2003](#)). GC debe ser un grano duro ya que el contenido de proteínas es mucho mayor que el de GX, como la [Tabla 21](#) mostró para TC-0 y TX-0.

[Mendonca et al. \(2000\)](#) adicionaron salvado de maíz para incrementar la fibra en botanas expandidas, se encontró que el tratamiento con 16% de FDT, presentó un perfil deseado de volumen específico, crujencia y aceptación general; estos valores máximos produjeron botanas con buena aceptabilidad sensorial y alto contenido de fibra. [Miranda \(1993\)](#) estudió la adición también evaluó la adición del salvado de maíz como fuente de fibra en botanas extrudidas y encontró que la incorporación máxima aceptable era un 14% de TDF. Valores más altos de fibra producen modificaciones negativas en la masa que podrían ser minimizado si se utilizan algunos aditivos ([Miranda, 1993](#)).

#### **Contenido de compuestos fenólicos solubles totales, antocianinas y capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC)**

Las propiedades funcionales de las materias primas fueron evaluadas ([Tabla 22](#)). La nixtamalización no dio lugar a diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en el contenido de fenólicos solubles totales; en granos y harinas de maíz nixtamalizado, los

contenidos de fenólicos solubles variaron desde 84 hasta 92 mg EAG/100 g de muestra (bs). El huitlacoche disminuyó su contenido de compuestos fenólicos de 538 a 393 mg EAG/100 g de muestra (bs) como un efecto del proceso de freído y molienda.

Anteriormente se reportaron valores de 390-640 mg EAG/100 g para el fenoles solubles totales para huitlacoche, mientras que el hongo comestible *Lentinula edodes* tuvo 479 mg EAG/100 g ([Beas et al., 2011](#)). En comparación con otros alimentos, el huitlacoche presentó un mayor contenido de fenoles solubles que algunas variedades de frijol (141-198 mg EAG/100 g) ([Vinson et al., 2001](#)) y que algunas frutas como la manzana y la pera (186 y 191 mg EAG/100 g bs, respectivamente) ([Clifford, 2000](#)).

**Tabla 22. Contenido de compuestos fenólicos solubles totales, antocianinas y capacidad antioxidante equivalente a Trolox (TEAC) de las materias primas.**

Muestra	Fenoles solubles totales (mg EAG/100 g)	Antocianinas (mg EC3G/kg)	TEAC (μmol ET/g)
GC	84.74 ± 2.48c	287.2 ± 7.44b	8.5 ± 0.02g
GX	88.33 ± 0.65c	336.0 ± 13.90a	16.3 ± 0.00d
HC	86.34 ± 1.53c	78.6 ± 1.73d	8.9 ± 0.00f
HX	92.44 ± 1.27c	21.8 ± 1.70e	17.0 ± 0.00c
HM	85.66 ± 4.30c	102.1 ± 6.53c	9.3 ± 0.00e
HF	538.34 ± 29.22a	30.4 ± 0.86e	88.8 ± 0.00a
HP	393.25 ± 3.79b	30.3 ± 1.91e	64.4 ± 0.01b

GC = Grano cónico; GX = grano criollo; HC = harina de maíz nixtamalizado cónico; HX = harina de maíz nixtamalizado criollo; HM = harina comercial de maíz nixtamalizado; HF = huitlacoche fresco; HP = huitlacoche en pasta.

Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (P < 0.05) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

El tratamiento térmico se tradujo en pérdidas de antocianinas durante la nixtamalización. GC y GX mostraron contenidos de antocianinas de 287.2 y 336.0 mg EC3G/kg, respectivamente; esos valores se redujeron drásticamente a 78.6 y 21.8 mg EC3G/kg para HC y HX, respectivamente. Como referencia, HM mostró 102.1 mg EC3G/kg. Las pérdidas de antocianinas fueron probablemente influenciadas por el tipo de grano; GX, un maíz de grano suave, perdió más antocianinas que GC, que tiene granos más duros. Algunos investigadores han encontrado diferentes concentraciones de antocianinas en los granos de maíz pigmentados que van desde el contenido bajo (10-33 mg EC3G/kg), el contenido medio (60-159 mg EC3G/kg), y de contenido alto (324-3,045 mg EC3G/kg) ([Abdel-Aal et al., 2006](#); [Agama-Acevedo et al., 2004](#); [López-Martínez y García-Galindo, 2009](#); [Del Pozo-Insfrán et al., 2006](#); [López-Martínez et al., 2011](#); [Escalante-Aburto et al., 2013](#)).

El huitlacoche fresco y en pasta no mostraron diferencias significativas en contenidos de antocianina ([Tabla 22](#)), ambos tuvieron el contenido más bajo de antocianinas entre las materias primas, y mostraron poca influencia en el contenido de antocianinas en los totopos. [Beas et al. \(2011\)](#) determinaron los niveles de antocianina en huitlacoche 71 a 226 mg EC3G/kg (bs), que puede ser comparado con los presentes en las ciruelas (20-250 mg EC3G/kg). Sin embargo, los contenidos que se encuentran en el huitlacoche son más bajos en comparación con las uvas rojas (300-7500 mg EC3G/kg bs).

Las materias primas mostraron diferencias significativas en sus capacidades antioxidantes ([Tabla 22](#)). El huitlacoche fresco y en pasta presentaron los valores más altos de TEAC: 88.8 y 64.4  $\mu\text{mol ET/g}$  de muestra, respectivamente. Entre los granos de maíz y las harinas nixtamalizadas, los granos criollos (GX) y su harina nixtamalizada (HX) tuvieron la mayor capacidad antioxidante (16.3 y 17.0  $\mu\text{mol ET/g}$ , respectivamente).

En el grano de maíz, los compuestos fenólicos están compuestos de flavonoides y ácidos fenólicos; estos últimos contribuyen a la tolerancia del grano al ataque de insectos ([Serratos et al., 1987](#); [Arnason et al., 1992](#)). Los ácidos fenólicos más importantes en el grano son los ácidos ferúlico, cumárico y sinápico ([Classen et al., 1990](#)).

El HP incrementó significativamente el contenido de fenólicos solubles en los totopos horneados ( $P < 0.05$ ; [Figura 31](#)). TC mostró aumentos de los niveles totales de fenólicos de 17.5, 20.5, 26.0 y 36.1 mg EAG/100 g de muestra, conforme se adicionó HP en 0, 3, 6 y 9%, respectivamente. El contenido de fenoles solubles en

TX también aumentó de 23.2, a 25.1, 32.6 y 36.8 mg EAG/100 g de muestra, conforme se incrementó el HP. Los totopos TM mostraron incrementos similares en el contenido de fenoles solubles totales de 20.8 mg EAG/100 g muestra; como referencia, el totopo comercial (TM2) contenía 20.5 mg EAG/100 g muestra.

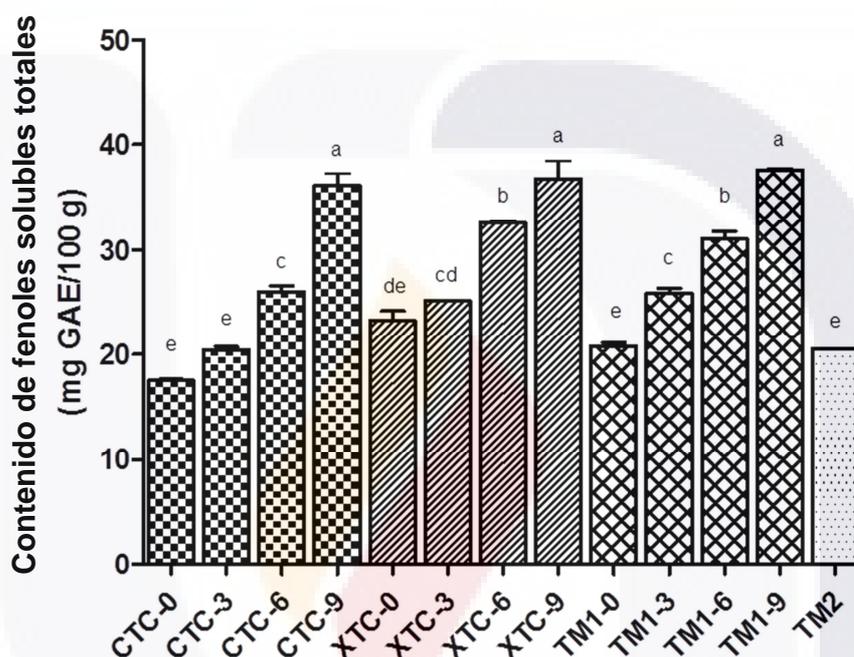


Figura 31. Contenido de fenoles solubles totales en totopos adicionados con huitlacoche.

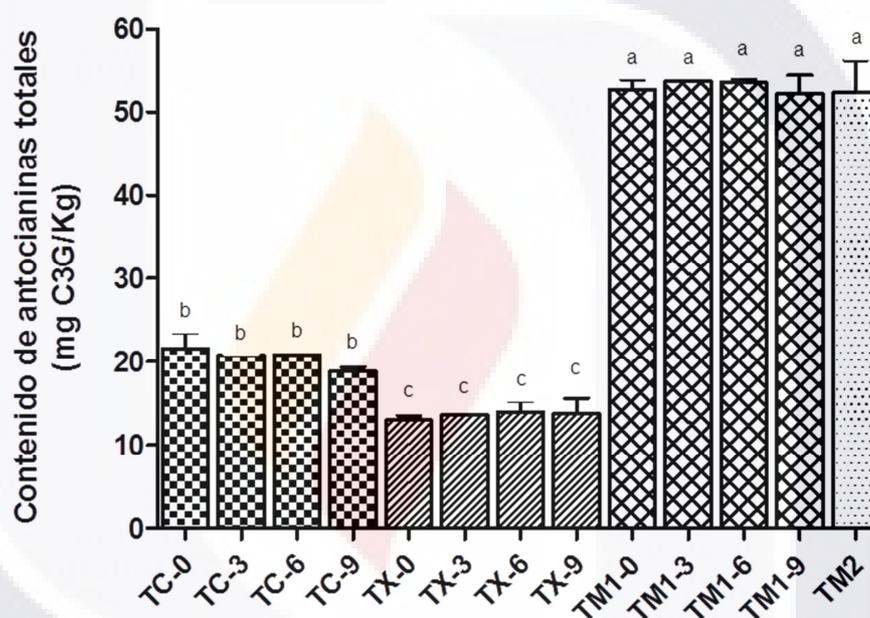
TC = totopo de maíz nixtamalizado cónico; TX = totopo de maíz nixtamalizado criollo; TM1 = totopo de harina comercial de maíz azul nixtamalizado; TM2 = totopo comercial de maíz azul.

Los números 0, 3, 6 y 9 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca.

Se muestran medias (n = 3) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes (P < 0.05) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

Varios trabajos han encontrado que la nixtamalización reduce significativamente el contenido de polifenoles totales, la actividad antioxidante y el contenido de antocianinas en maíz y productos de maíz ([De la Parra et al., 2007](#); [Del Pozo Insfrán et al., 2006](#); [Salinas-Moreno et al., 2003](#); [Mora-Rochin et al., 2010](#)).

El contenido total de antocianinas en totopos horneados fue significativamente diferente entre las distintas harinas de maíz azul nixtamalizado ( $P < 0.05$ ; [Figura 32](#)). Sin embargo, HP no modificó el contenido total de antocianinas, ya que se añadió de 0 a 9% (bs) en las harinas. TC osciló entre 21 y 19 mg EC3G/kg, mientras que TX varió entre 15 hasta 13 mg EC3G/kg. TM1 y TM2 presentaron valores de aproximadamente 52-55 mg EC3G/kg.



**Figura 32. Contenido de antocianinas en totopos de maíz azul adicionados con huitlacoche.**

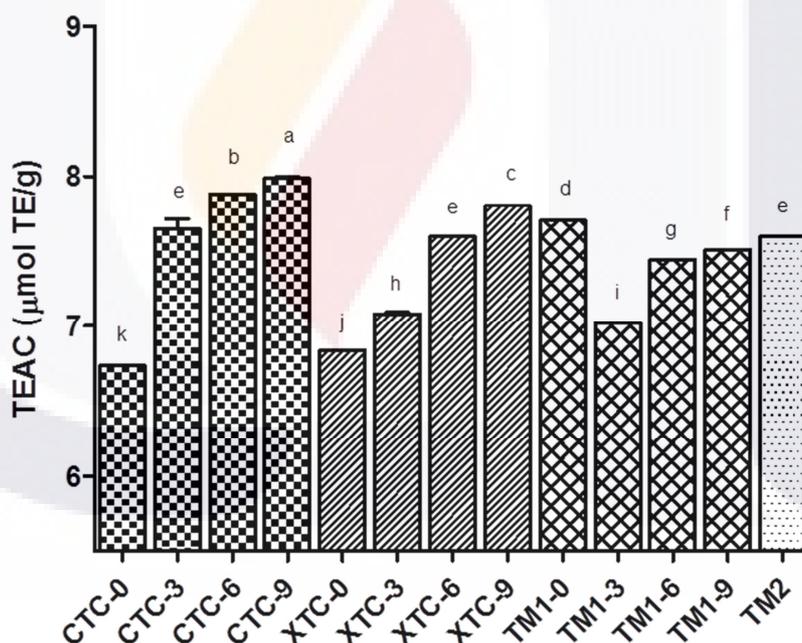
TC = totopo de maíz nixtamalizado cónico; TX = totopo de maíz nixtamalizado criollo; TM1 = totopo de harina comercial de maíz azul nixtamalizado; TM2 = totopo comercial de maíz azul. Los números 0, 3, 6 y 9 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca. Se muestran medias ( $n = 3$ ) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

Las antocianinas pueden ser degradadas por el procesamiento y el almacenamiento de los productos alimenticios; los principales factores que afectan a la estabilidad de antocianinas son el pH, la temperatura y la concentración de oxígeno ([Von Elbe y](#)

[Schwartz, 1996](#)). Hoy en día existe un gran interés en antocianinas y otros compuestos fenólicos en la dieta debido a su potencial efecto beneficioso sobre la salud; el consumo habitual de antocianinas y otros polifenoles de frutas, verduras y vino se han asociado con una disminución en la probabilidad de padecer enfermedades crónicas ([Andersen y Markham 2006](#)). Diversos estudios sobre antocianinas han demostrado que actúan como antioxidantes naturales, lo cual demuestra que tienen amplia gama de actividades biológicas beneficiosas. Esto podría desarrollar un papel importante de las antocianinas en la prevención de la enfermedad cardiovascular, el cáncer, la diabetes, microcirculación y las enfermedades inflamatorias, entre otras ([Konczak y Zhang 2004; Cavalcanti et al., 2011](#)).

Los valores de TEAC para totopos horneados presentaron diferencias significativas entre las diferentes formulaciones con HP ( $P < 0.05$ ; [Figura 33](#)). HP aumentó la capacidad antioxidante de los totopos conforme se añadió al 3, 6 y 9% (bs). La capacidad antioxidante de TC aumentó a medida que se añadió el HP, mostrando valores de 6.74, 7.72, 7.88 y 7.98  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra a las adiciones de 0, 3, 6 y 9%, respectivamente. TX presentó el mismo comportamiento desde 6.84 hasta 7.80  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, conforme se adicionó HP. TM1 mostró un comportamiento diferente, TM1-0 registró 7.70  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, TM1-3 disminuyó hasta 7.02  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra, y se incrementó en TM1-6 con 7.44  $\mu\text{mol ET}$  y a 7.51  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra en TM1-9. El totopo comercial (TM2) presentó 7.59  $\mu\text{mol ET/g}$  muestra; cabe mencionar que en la etiqueta se lee: "Ingredientes: Harinas de maíz azul nixtamalizado, sal (1%), y tocoferoles (antioxidantes naturales)".

TEAC se correlacionó negativamente con el parámetro  $L^*$  ( $r = -0.7382$ ), así como el contenido de fenoles solubles totales ( $r = -0.7722$ ) y positivamente a valores de  $b^*$  ( $r = 0.7038$ ); la adición de HP y el color negro influye en la luminosidad ( $L^*$ ); por otro lado el valor  $b^*$  (tonalidades azules) puede ser influenciada por el color del maíz azul. [Frankel et al. \(1998\)](#) observaron una correlación significativa entre la actividad antioxidante y el color de la miel, ya que el color de la miel refleja en parte el contenido de pigmentos a los cuales se les atribuyen propiedades antioxidantes. [Sánchez-Madrigal et al. \(2014\)](#) reportaron de la capacidad antioxidante de 0.5 a 1.2  $\mu\text{mol ET/g}$  de muestra en totopos de maíz azul a partir de harinas extrudidas que contienen diferentes fuentes de calcio.



**Figura 33. Capacidad antioxidante (TEAC) de totopos horneados adicionados con huitlacoche.**

TC = totopo de maíz nixtamalizado cónico; TX = totopo de maíz nixtamalizado criollo; TM1 = totopo de harina comercial de maíz azul nixtamalizado; TM2 = totopo comercial de maíz azul.

Los números 0, 3, 6 y 9 corresponden al porcentaje de pasta de huitlacoche añadida a la masa en base seca.

Se muestran medias ( $n = 3$ ) y desviación estándar. Medias con la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ) según el análisis de Student-Newman-Keuls.

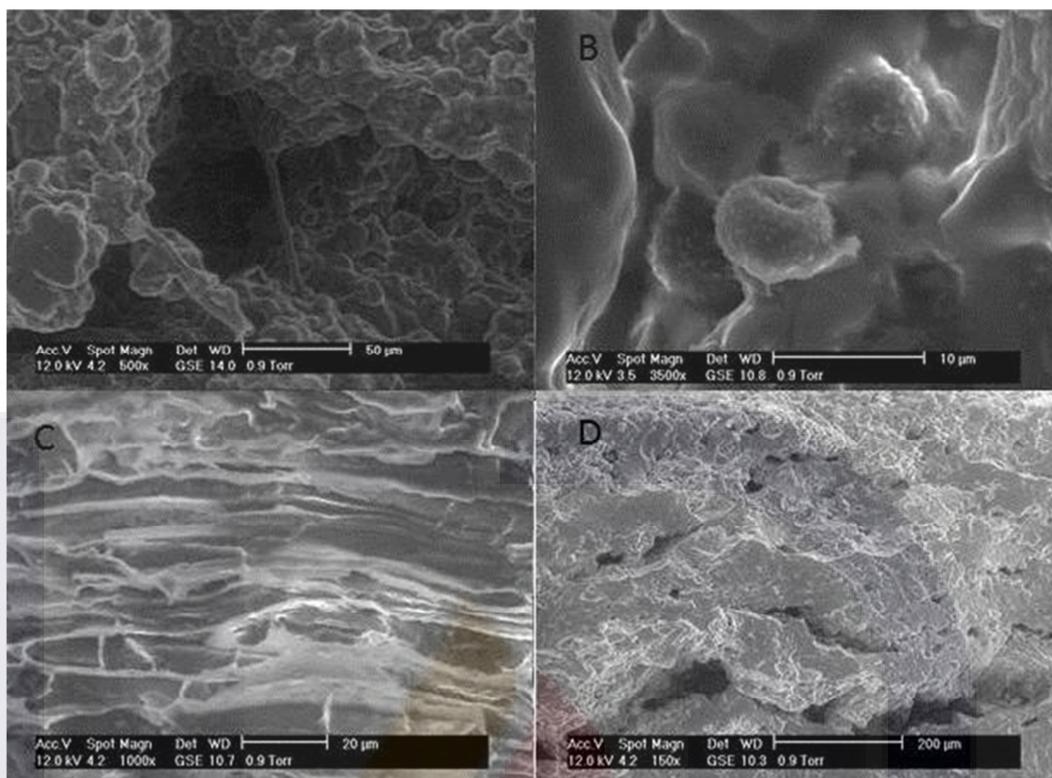
Durante la cocción y el horneado, los compuestos bioactivos como polifenoles y antocianinas se degradan, afectando a la actividad antioxidante ([Lapidot et al., 1999](#)). Algunos estudios han informado de la presencia de polifenoles como catequinas y formas libres de ácido ferúlico en las harinas de maíz que contribuyen a la actividad antioxidante ([De la Parra et al., 2007](#); [López-Martínez et al., 2011](#)). Durante la nixtamalización, algunos de estos compuestos se pierden por la severidad del proceso térmico alcalino y por la lixiviación, causando una disminución significativa en la actividad antioxidante de las harinas de maíz nixtamalizado (60% en promedio) ([Del Pozo Insfrán et al., 2007](#); [López-Martínez et al., 2011](#)).

[Del Pozo Insfrán et al. \(2006, 2007\)](#) compararon la capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles (con énfasis en antocianinas) de tortillas y totopos de maíz hechos de maíz azul mexicano y de maíz azul híbrido americano. El contenido de antocianinas varió y fue de 342 y 261 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Mientras tanto, [López-Martínez et al. \(2011\)](#) evaluaron el efecto de la nixtamalización en antocianinas y la capacidad antioxidante de las tortillas hechas de granos blancos, azules, rojos y morados; ellos encontraron una disminución en antocianinas y compuestos fenólicos debido al tratamiento térmico alcalino; sin embargo, la masa y la tortilla proveniente del maíz morado 'Veracruz 42' tenía una capacidad antioxidante superior, que se atribuyó a los altos contenidos de antocianinas y compuestos fenólicos en esta variedad, lo que demuestra que la pérdida de antocianinas se asocia a la variedad de maíz utilizado; estos autores también reportaron un aumento en la capacidad antioxidante después de la cocción de la masa de la tortilla, debido probablemente a un aumento en los fenoles solubles.

Las antocianinas y compuestos fenólicos han demostrado una alta correlación con la actividad antioxidante y el color de los totopos ([Sánchez-Madrigal et al., 2014](#)). La norma oficial mexicana ([NOM-187-SSA1/SCFI-2002](#)) permite la adición de una mezcla de colorantes artificiales, la cual no deberá exceder los 500 mg/kg de producto en las tortillas; para los totopos el uso del colorante FCF1 azul brillante (300 mg/kg como máximo) es permitido, y para las harinas no se permite ninguna adición de color.

### **Estructura microscópica de totopos de maíz**

La [Figura 34](#) muestra la estructura de los totopos al microscopio electrónico de barrido: transversal y superficial a diferentes aumentos. En la imagen A se muestra la hinchazón irregular de los gránulos de almidón, así como se ha reportado también en masa de maíz ([Gómez et al., 1992](#)). En los totopos a nivel superficial y transversal (A y D) la mayoría de los gránulos de almidón gelatinizados pierden integridad, esto posiblemente como resultado del troquelado en una parte, y la retrogradación de los gránulos de almidón que se presenta después del cocimiento y horneado de los testales. En la imagen B, se observó la presencia de teliosporas del huitlacoche, que se incrustan en la red de almidón y proteína de la masa y algunas no sufren daño alguno después de los tratamientos a los que se someten los totopos. En la imagen C se observan capas posiblemente de algunas porciones de pericarpio del maíz.



**Figura 34. Estructura de los totopos al microscopio electrónico de barrido. (A) Totopos de maíz azul adicionado de pasta de huilacoche, corte transversal (500x). (B) Teliosporas de huilacoche incrustadas en un corte transversal de totopo (3500x). (C) Estructuras de un corte transversal (1000x). (D) Estructuras de un corte transversal (150x).**

Los cambios en la estructura de los totopos son altamente influenciados por la forma de evaporación del agua desde la precocción de las masas hasta la evaporación. La evaporación rápida del agua del testal y la de gelatinización de almidón (<40%) se produce durante el primer tiempo de cocción. Los gránulos en la superficie de la tortilla son parcial o completamente gelatinizados y más deshidratados que aquéllos en el centro de la tortilla. Durante la pre-cocción y el horneado, la evaporación del agua crea nuevos espacios vacíos que dan una textura crujiente o una estructura porosa de los productos horneados.

## CONCLUSIONES

Del presente trabajo realizado podemos concluir que la adición de huitlacoche en pasta en el proceso de fabricación de totopos de maíz azul horneados influye en las características químicas, fisicoquímicas, térmicas, reológicas, tecnológicas, estructurales y mecánicas, de los productos intermedios (masas) y finales (totopos) desarrollados durante el proceso.

Los dos tipos de maíces utilizados, presentaron diferencias significativas en las evaluaciones físicas de granos como: peso hectolítrico, anchura, índice de flotación, peso de 100 granos y humedad. Estos parámetros influyeron en algunas propiedades evaluadas en harinas y en masas: índice de solubilidad de agua, densidad aparente, capacidad de absorción de agua, viscosidad, propiedades térmicas y estructurales. La importancia de seleccionar una variedad de maíz es fundamental para el tipo de productos que se quiere procesar con ellos, ya que una vez procesados en harinas es difícil ajustar algunas características para mejorar los productos.

Los hongos en general son alimentos saludables, con valores nutritivos importantes, y a los que adicionalmente se les han encontrado altos contenidos de componentes bioactivos. El huitlacoche ha sido el hongo más consumido por tradición en México, el cual, ya ha acaparado la atención en estudios, por las altas concentraciones de compuestos bioactivos presentes y sus efectos favorables en la salud.

No se tiene referencia de la utilización de huitlacoche, en el proceso de elaboración de ningún tipo de producto de maíz nixtamalizado, por lo que los porcentajes empleados se plantearon a partir de otros tipo de alimentos que ya se adicionan a totopos como: harinas de nopal y soya principalmente; cabe mencionar que las características fisicoquímicas, reológicas y tecnológicas son completamente diferentes para estos productos.

Las pruebas preliminares en las diferentes etapas productivas de la elaboración de totopos de maíz azul a partir de harinas de maíz nixtamalizado, permitieron estandarizar las formulaciones con diferentes porcentajes de sustitución con huitlacoche. Aunque se planteó un incremento de hasta el 18%, estas pruebas nos permitieron establecer que adiciones de más del 10% no serían viables para su procesamiento a nivel semi-industrial, debido a la influencia del HP en las características reológicas de las masas. Fue un objetivo primordial que las formulaciones fueran maquinables, es decir que pudieran ser sometidas a un proceso mecánico semi-industrial e industrial. Las pruebas tecnológicas de facilidad de maquinado, permitieron determinar el porcentaje máximo de sustitución con huitlacoche (9%) que una máquina tortilladora semi-industrial es capaz de procesar.

Se observó que la composición de compuestos fenólicos influyó positivamente en las formulaciones, incrementando el contenido de forma importante conforme a la adición el huitlacoche en pasta; también se observó un incremento en la capacidad antioxidante de los totopos que en algunas formulaciones superó a la muestra comercial que declara en la etiqueta como ingredientes tocoferoles, que son un tipo de antioxidantes adicionado para su conservación.

Se encontraron correlaciones de Pearson altamente significativas. La viscosidad máxima se correlacionó significativamente con la densidad aparente en las harinas ( $r = 0.8124$ ) y contenido de proteína ( $r = -0.8567$ ). La entalpía de gelatinización ( $\Delta H$ ) se correlacionó significativamente con la CAA ( $r = 0.798$ ). El ISA se correlacionó con la entalpía de gelatinización ( $r = 0.999$ , la temperatura pico ( $T_p$ ) se correlacionó directamente a  $T_f$  ( $r = 0.999$ ).  $T_p$  se correlacionó negativamente con el contenido de humedad ( $r = -0.999$ ). La CAA se correlacionó significativamente con la viscosidad ( $r = 0.934$ ) y con el contenido de proteínas ( $r = 0.917$ ). La cohesión se correlacionó inversa y significativamente al contenido de proteínas ( $r = -0.960$ ) y a la CAA ( $r = -0.980$ ). La fuerza de fractura fue inversamente correlacionada con el

contenido de proteínas ( $r = -0.879$ ) y directamente al contenido de aceite ( $r = 0.952$ ). TEAC se correlacionó negativamente con el parámetro  $L^*$  ( $r = -0.7382$ ), así como el contenido de fenoles solubles totales ( $r = -0.7722$ ) y positivamente a valores de  $b^*$  ( $r = 0.7038$ ).

De manera concreta la influencia de HP en las formulaciones se observó de la siguiente manera:

1. Influencia del HP en la capacidad de absorción de agua.
2. Influencia del HP en las características reológicas de masas: cohesividad y adhesividad.
3. Influencia del huitlacoche en el plano cromático, con tonalidades negras ( $*L$ ).
4. Disminución del contenido de grasa cruda y aumento en el contenido de fibra dietaria total conforme aumentó el porcentaje de adición de HP.
5. Incremento en el contenido de compuestos fenólicos solubles totales y la capacidad antioxidante.

Es recomendable incluir diariamente el huitlacoche en cualquier presentación en nuestra dieta, ya que es al consumo regular el que puede tener un efecto preventivo en nuestra salud. Y aunque es altamente perecedero, se concluye que también es un ingrediente versátil, ya que puede adicionarse a otros alimentos o procesos para enriquecer su contenido nutricional y funcional.

## GLOSARIO

**Alimentos funcionales:** es todo alimento que puede prevenir o contribuir en el tratamiento de alguna enfermedad.

**Antioxidante:** Molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas.

**Ascomicetos:** División del reino Fungi. Grupo de hongos en los que las esporas de origen sexual se producen dentro de las ascas. El desarrollo es complejo en la mayoría de las especies, al presentar dos fases reproductivas distintas: la fase sexual (asca), también llamada ascógena o perfecta, y la fase conídica o asexual, también conocida como imperfecta.

**Basidiomicetos:** División del reino Fungi que incluye los hongos que producen basidios con basidiosporas. Contiene a las clásicas setas y hongos con sombrero.

**Basidiospora:** Esporas típicas de los basidiomicetos, que se forman en la parte externa del basidio.

**Compuestos bioactivos:** Tipo de sustancia química que se encuentra en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales). Los compuestos bioactivos cumplen funciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud.

**Compuestos fenólicos:** pueden ser definidos como sustancias que poseen un anillo aromático, portando uno o más grupos hidroxilos, incluyendo sus derivados funcionales. Su presencia en tejidos animales y materiales no vegetales es generalmente debida a la ingesta de alimentos vegetales.

**Extracto:** Sustancia obtenida por extracción de alguna materia prima, a menudo usando un solvente como etanol o agua.

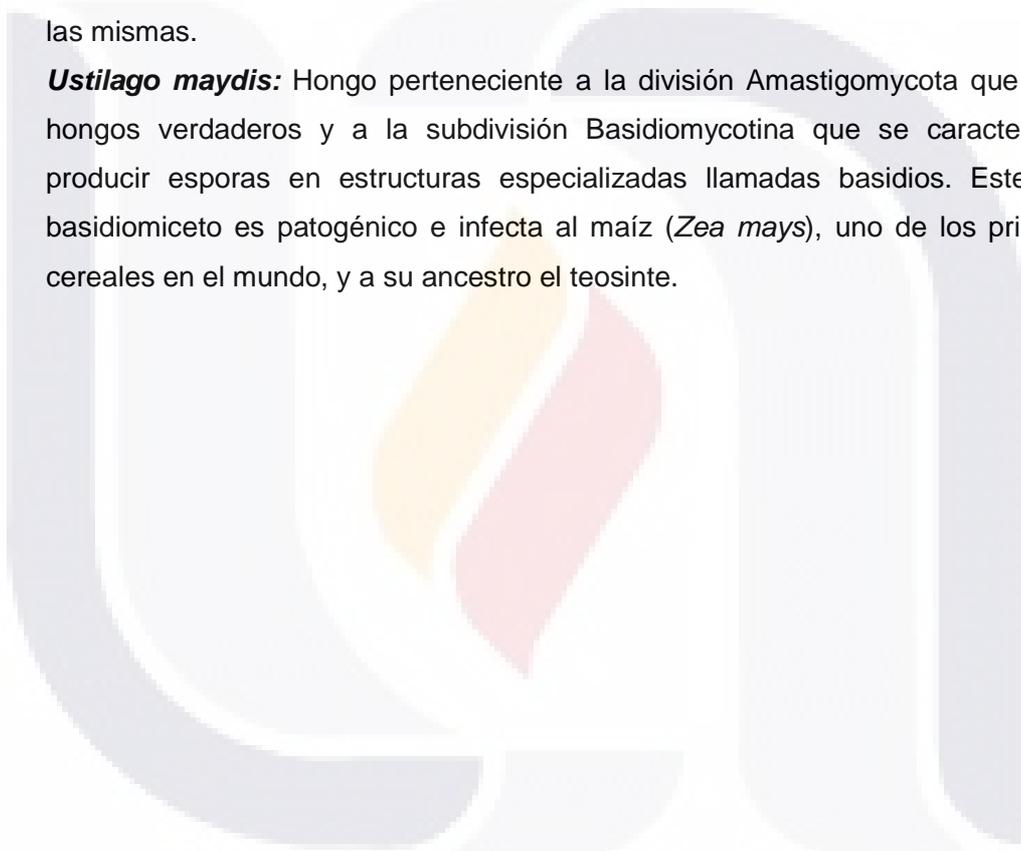
**Huitlacoche (cuitlacoche):** es el nombre nativo que se le da en México a las agallas carnosas jóvenes comestibles que se forman cuando el maíz (*Zea mays* L.) es infectado por el basidiomiceto *Ustilago maydis* DC Corda.

**Radicales Libres:** Compuestos altamente reactivos que interaccionan rápida y agresivamente con otras moléculas. Químicamente, son moléculas en cuya última órbita existe un electrón impar, inestable y altamente reactivo, que necesita "robar" o "donar" un electrón a otro átomo, que a su vez se transforma en un radical libre, lo que genera una reacción en cadena. Los radicales libres están implicados en muchas funciones celulares y son un componente común de los organismos vivos.

**Teliospora:** Espora de resistencia y diseminación con una pared gruesa; es diploide y cada teliospora proviene de la diferenciación de cada célula del micelio dicariótico. Característica de las royas y carbones, siendo la fase que perdura durante el invierno.

**Ustilaginales:** Es un orden de hongos perteneciente a la clase Ustilaginomycetes. El grupo de los Ustilaginales comprende los hongos conocidos como carbones por el aspecto negro y pulverulento de sus masas de esporas. Todos son patógenos de plantas vasculares, generalmente gramíneas, y suelen atacar las partes florales de las mismas.

***Ustilago maydis:*** Hongo perteneciente a la división Amastigomycota que son los hongos verdaderos y a la subdivisión Basidiomycotina que se caracteriza por producir esporas en estructuras especializadas llamadas basidios. Este hongo basidiomiceto es patogénico e infecta al maíz (*Zea mays*), uno de los principales cereales en el mundo, y a su ancestro el teosinte.



**BIBLIOGRAFÍA**

- AACC. 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9<sup>th</sup> Edition, AACC, Inc., St. Paul, MN, E.U.A.
- AACC. 2000. Approved Methods of Analysis. Available on-line only. American Association of Cereal Chemists International: St. Paul, MN, USA.
- Abbate, P.E.; F. Andrade; y J.P Culot. 2001. Peso hectolítrico y limitación por fuente en los cultivos de trigo de alto potencial de rendimiento. V Congreso de trigo. III Simposio nacional de cereales de siembra de otoño invernal, Córdoba.
- Abdel-Aal, E.S.; C.J. Young; y I. Rabalski. 2006. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. J. Agric. Food Chem. 54: 4696-4704.
- Abdel-Aal, E.S. y Hucl, P. 1999. A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. Cereal Chem. 76: 350-354.
- Adambounou, T.L. y Castaigne, F. 1981. Influence of partial drying on oil absorption and texture of French fries. Can. Inst. Food Sci. Technol. 14(4): 304-309.
- Agama-Acevedo E.; M.A. Ottenhof; M.I. Farhat; O. Paredes-López; J. Ortiz-Cereceres; L.A. Bello-Pérez. 2004. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. Interciencia 29: 643-649.
- Aghajanyan, A.E.; Hambardzumyan, A.A.; Hovsepyan, A. S.; Asaturian, R.A.; Vardanyan, A. A.; Saghiyan, A.A. 2005. Isolation, purification and physicochemical characterization of water-soluble *Bacillus thuringiensis* melanin. Pigment Cell Research 18: 130-135.
- Almeida-Domínguez, N.G.; Valencia, M.E.; y Higuera-Ciapara, I. 1990. Formulation of corn-based snacks with high nutritive value: Biological and sensory evaluation. Journal of Food Science 55(1): 228-231.

- Almeida-Domínguez, H.D. y Rooney L.W. 1996. Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado. Seminario de la Asociación Americana de Soya (AAS) México, D.F. *Industria Alimentaria* 18: 4-13.
- Amador-Rodríguez, K.Y.; Pérez-Cabrera L.E.; y Bon Rosas, F. 2010. Desarrollo de un producto tipo totopo a base de harina de maíz a partir de la sustitución parcial de harinas de nopal y soya. Tesis de Maestría en Ciencias Agrícolas, Pecuarias y de los Alimentos. Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, México. 145 pp.
- Andersen, M. y Markham, K.R. 2006. p. 471–553 En: *Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications*. CRC Press: Boca Raton.
- Anderson, R.A.; Conway, H.F.M.; Pfeiffer, V.F.; y Griffin, E.J. 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion cooking. *Cereal Science Today* 14: 4–12.
- Anónimo. (1997). Producción mundial de maíz. *Claridades Agropecuarias* 45: 3-18.
- Ansari, O.; Båga, M.; Chibbar, R.N.; Sultana, N.; y Howes, N.K. 2010. Analysis of starch swelling power in Australian breeding lines of hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research* 115(2): 171-178.
- Antojaditas. 2007. Manual de procedimientos de la empresa para la elaboración de tostadas y totopos a partir de harina de maíz nixtamalizado.
- AOAC. 1984. *Official Methods of Analysis* (14th edn.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., E.U.A.
- Arámbula-Villa, G.; González-Hernández, J.; y Ordorica-Falomir, C.A. 2001. Physicochemical, structural and textural properties of tortillas from extruded instant corn flour supplemented with various types of corn lipids. *Journal of Cereal Science* 33(3): 245-252.

- Arnason, J.T.; J. Gale; J.B. Conilh De Beyssac; S.S. Sen; A.B.J.R. Philogene; J.D.H. Lambert; R.G. Fulcher; A. Serratos; y J. Mihm. 1992. Role of phenolics in resistance of maize grain to the stored grain insects, *Prostephanus truncatus* (Horn) and *Sitophilus zeamais* (Motshc). J. Stored Prod. Res. 28: 119-126.
- Baum, J.A.; Teng, H.; Erdman, J.W.; Weigel, R.M.; Klein, B.P.; y Persky, V.W. 1998. Long-term intake of soy protein improves blood lipid profiles and increases mononuclear cell low-density-lipoprotein receptor messenger RNA in hypercholesterolemic, postmenopausal women. Am. J. Clin. Nutr. 68: 545–551.
- Beas Fernández, R. 2011. Caracterización química y funcional del huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*). Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 16 de Junio.
- Beas Fernández, R., González Díaz, M.C., Guzmán Maldonado, S.H., Guevara Lara, F. 2007. Contenido de carbohidratos en huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*). Ponencia oral y resumen en memoria electrónica, Tercer Congreso Estatal “La Investigación en el Posgrado”. Universidad Autónoma de Aguascalientes, 26-27 de Octubre del 2007.
- Beas, R.; Guevara, F.; Vasco, N.L.; Loarca, G.; Rodríguez, M.G.; y Guzmán, S.H. 2011. Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. Rev. Mex. C. Farm. 42: 36-44.
- Beas-Fernández, R.; Guzmán Maldonado, S.H.; Herrera-Hernández, G.; Pérez-Molphe-Balch, E.; Gámez-Roldán, Y.; Guevara-Lara, F. 2006. Análisis de compuestos fenólicos presentes en huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*). En: Memoria del Segundo Congreso Estatal “La Investigación en el Posgrado”,

Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 21-24 de Noviembre.

Beas-Fernández, R.; Guzmán-Maldonado, S.H.; Loarca-Piña, M.G.F.; Chávez-Ortiz, L.I.; González-Díaz, M.C.; Guevara-Lara, F. 2008. Chemical and functional characterization of huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*). En: IFT Annual Meeting & Food Expo, New Orleans, Louisiana, USA. (096-12). 28 de Junio a 1 de Julio.

Bedolla, S. y L.W. Rooney. 1984. Characteristic of US-Mexican instant maize flour for tortilla and snack preparation. *Cereal Foods World* 29: 732-735.

Bello-Pérez, L.A.; Rendón-Villalobos, J.R.; Agama-Acevedo, E.; y Islas-Hernández, J.J. 2006. *In vitro* starch digestibility of tortillas elaborated by different masa preparation procedures. *Cereal Chemistry* 83: 188-193.

Betrán, J.F.; Bockhilt, A.J.; y Rooney, L.W. 2001. Blue corn. En: *Specialty Corns*. 2nd. Edition. CRC Press LLC Eds. Washington, DC, E.U.A. pp. 293-337.

Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; y Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 28(1): 25-30.

Bressani, R. y Elías, L.G. 1972. La calidad proteínica del maíz *opaco-2* como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. *Arch. Latinoam. Nutr.* 22: 577-594.

Bressani, R.; Elías, L.G.; y Braham, J.E. 1978. Improvement of the protein quality of corn with soybean protein. *Adv. Exp. Med. Biol.* 105: 29-65.

Bressani, R.; Murillo, B.; y Elías, L.G. 1974. Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize-based diets. *J. Food Sci.* 39: 577-580.

- Bressani, R. y Scrimshaw, N.S. 1958. Effect of lime treatment on *in vitro* availability of essential amino acids and solubility of protein fractions in corn. J. Agri. Food Chem. 6: 774.
- Bressani, R.; Turcios, J.C.; Reyes, L.; y Mérida, R. 2001. Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. Arch. Latinoam. Nutr. 51(3): 309-313.
- Buttery, R.G. y Ling, L.C. 1995. Volatile flavor components of corn tortillas and related products. J. Agric. Food Chem. 43(7): 1878-1882.
- Cabrera, L. 1992. Diccionario de aztequismos. (Collofón, México, 1992).
- Campus-Baypoli, O.N.; E.C. Rosas-Burgos; P.I. Torres-Chávez; B. Ramírez-Wong; y S.O. Serna-Saldívar. 1999. Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. Starch/Stärke 51: 173-177.
- Carrillo Díaz, M.I. 2008. Caracterización productiva de fibra dietaria y capacidad antioxidante del hongo del huitlacoche (*Ustilago maydis*). Tesis de Maestría en Ciencias en Biotecnología Agropecuaria. Centro de Investigación y Graduados Agropecuarios, Instituto Tecnológico El Llano Aguascalientes. El Llano, Ags., México. 25 de Enero.
- Carrillo-Díaz, M.I.; Tirado-Estrada, G.; Silos-Espino, H.; Martín-del-Campo, V.S.; Acero-Godínez, M.G.; Martínez-Villalobos, R.; Guevara-Lara, F. 2007. Caracterización productiva de proteína y fibra dietaria del huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*) de ocho genotipos de maíz. En: Memoria Electrónica del Tercer Congreso Estatal "La Investigación en el Posgrado", Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 26-27 de Octubre.
- Carrillo-Díaz, M.I.; Tirado-Estrada, G.; Guevara-Lara, F.; Silos-Espino, H.; Martín del Campo Valle, S.; Moreno Hernández-Duque, J.L.; Acero-Godínez, M.G.; Rubio-

- Franchini, M.C.; Martínez-Villalobos, R.; Beas-Fernández, R. 2008. Caracterización de fibra dietaria y capacidad antioxidante del hongo del huitlacoche (*Ustilago maydis*). En: Memorias del Noveno Seminario de Investigación de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 20-22 de Mayo.
- Cavalcanti, R.N.; Santos, D.T.; y Meireles, M.A.A. 2011. Non-thermal stabilization mechanisms of anthocyanins in model and food systems - An overview. *Food Res. Intl.* 44: 499-509.
- Cees de Graaf. 2006. Effects of snacks on energy intake: An evolutionary perspective. *Research Review Appetite* 47:18–23.
- Chang, Y.J.; Lee, S.; Yoo, M.A.; y Lee, H.G. 2006. Structural and biological characterization of sulfated-derivatized oat  $\beta$ -glucan. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54(11): 3815-3818.
- Chau, C.F.; C.H. Chen; y M.H. Lee. 2004. Comparison of characteristics, functional properties and *in vitro* hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *Lebensm-Wiss u.-Technology* 37: 155-160.
- Cheung, P.C. 1996. Dietary fiber content and composition of some cultivated edible mushroom fruiting bodies and mycelia. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44: 468-471.
- CIMMYT. 2014. <http://maize.org/maize-crp-infographic/> Fecha de consulta: 24/09/2014.
- Classen, D.; J.T. Arnason; A. Serratos; J.D.H. Lambert; C. Nozillo; y B.J.R. Philogéne. 1990. Correlation of phenolic acids content of maize to resistance to *Sitophilus zeamais*, the maize weevil, in CIMMYT's collections. *J. Chem. Ecology* 16(2): 301-314.

- Clifford, M.N. 2000. Anthocyanins – nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 80(7): 1063-1072.
- Collins, J.L. y Sánchez, J.F. 1980. Quality parameters of tortillas fortified with soy and cheese. *Journal of Food Science* 45: 667-679.
- Coutinho, P.M. y Reilly, P.J. 1994. Structure–function relationships in the catalytic and starch binding domains of glucoamylase. *Protein Engineering* 7(3): 393-400.
- Daba, A.S. y Ezeronye, O.U. 2003. Anti-cancer effect of polysaccharides isolated from higher basidiomycetes mushrooms. *African Journal of Biotechnology* 2(12): 672-678.
- De Candolle, A. (1882). Darwin considéré au point de vue des causes de son succès et de l'importance de ses travaux. H. Georg. [Recollection of Darwin]. En: Bettany, G.T. 1887. *Life of Charles Darwin*. London: Walter Scott, pp. 148-150.
- De la Parra, C.; Serna Saldívar, S.O.; y Liu, R.H. 2007. Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *J. Agric. Food Chem.* 55: 4177-4183.
- Del Pozo-Insfran, D.; S.O. Serna S.; C.H. Brenes; S.T. Talcott. 2007. Polyphenolics and antioxidant capacity of white and blue corns processed into tortillas and chips. *Cereal Chem.* 84: 162-168.
- Del Pozo-Insfran, D.; Brenes, C.H.; Serna Saldívar, S.O.; y Talcott, S.T. 2006. Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Res. Intl.* 39: 696-703.
- Del Valle, F.R. y Pérez-Villaseñor, J. 1974. Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. *Journal of Food Science* 39: 244-247.

Del Valle, F.R.; Montemayor, E.; y Bourges, H. 1976. Industrial production of soy-enriched tortilla flour by lime cooking of whole raw corn-soybean mixtures. *Journal of Food Science* 41: 349-351.

Díez, V.A. y Álvarez, A. 2001. Compositional and nutritional studies on two wild edible mushrooms from northwest Spain. *Food Chemistry* 75: 417-422.

Dubost, N.J.; Ou, B.; y Beelman, R.B. 2007. Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity. *Food Chemistry* 105: 727-735.

Earle, F.R.; Curtis, J.J.; y Hubbard, J.E. 1946. *Cereal Chemistry* 23: 504.

Escalante-Aburto, A.; B. Ramírez-Wong; P.I. Torres-Chávez; J.D. Figueroa Cárdenas; J. López-Cervantes; J.M. Barrón-Hoyos; I. Morales-Rosas. 2013. Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content, physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA-J. Food* 11: 29-37.

FAOSTAT. 2013. Food and Agricultural Commodities Production. Food and Agricultural Organization of the United Nations Statistics. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.

Fernández-Muñoz, J.L.; San Martín-Martínez E.; Irán Díaz-Góngora J.A.; Calderón, A.; Alvarado-Escobar A.; Ortiz Cárdenas H. 2005a. Evaluación de los cambios fisicoquímicos a diferentes tamaños de partícula de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo de reposo. Libro de Artículos En Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Tomado de la red mundial: marzo 2007. <http://www.enb.ipn.mx/cibia/TomIII/III-46.pdf>

Fernández-Muñoz, J.L.; San Martín-Martínez, E.; Irán Díaz-Góngora, J.A.; Calderón, A.; Alvarado-Escobar, A.; Ortiz Cárdenas, H. 2005b. Evaluación por medio de

- RVA de la funcionalidad de las distribuciones de tamaño de partículas de harinas de maíz nixtamalizado como función del tiempo en reposo. Libro de Artículos En Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Tomado de la red mundial: marzo 2007. <http://www.encb.ipn.mx/cibia/Tom0III/III-45.pdf>
- Figuroa, J.D.C. y J. González Hernández. 2001. La tecnología de la tortilla: Pasado, presente y futuro. *Ciencia y Tecnología* 156: 23-31.
- Figuroa, J.D.C. y R. Aguilar. 1997. El origen del maíz. *Avance y Perspectiva*; 16: 91-98.
- Finney, K.F.; Yamazaki, W.T.; Youngs, V.L.; y Rubenthaler, G.L. 1987. Quality of hard, soft, and durum wheats. *Wheat and Wheat Improvement*, 677-748.
- Fleury, A.; Pons, Y.; Roncin, F.; y Buré, J. 1979. *Cereales*, Gran Larousse Universal. 9: 2621-2622. Plaza y Janes, S.A., E.U.A
- Flores-Farías, R.; Martínez-Bustos, F.; Salinas-Morales, Y.; y Ríos, E. 2002. Characterization of commercial maize flours. *Agrociencia* 36: 557-567.
- Fox, G. y Manley, M. 2009. Hardness methods for testing maize kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57(13): 5647-5657.
- Frankel S.; Robinson G.E.; Berenbaum, M.R. 1998. Antioxidant capacity and correlated characteristics of 14 unifloral honeys. *Journal of Apicultural Research* 37 (1998): 27–31.
- Friedmann, A.J.P.; Ribeiro, L.R.; Ferreira, B.M.; Mantovani, M.S. 2009.  $\beta$ -Glucan extracted from the medicinal mushroom *Agaricus blazei* prevents the genotoxic effects of benzo[a]pyrene in the human hepatoma cell line HepG2. *Archives of Toxicology* 83: 81–86.
- Fukumoto, L.R. y Mazza, G. 2000. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 3597-3604.

- Gamble, M.H. y Rice, P. 1987. Effect of pre-fry drying on oil uptake and distribution in potato crisp manufacture. *Intl. J. Food Sci. & Technol.* 22(5): 535-539.
- Goldberg, I. 1994. *Functional foods - designer foods, pharmafoods, nutraceuticals.* Ed. Chapman & Hall. New York.
- Gómez-Aldapa, C.A.; Martínez Bustos, F.; Figueroa, J.D.C.; y Ordorica, F.C.A. 1999. A comparison of the quality of corn tortillas made from instant corn flour by traditional of extrusion process. *Int. J. Food Sci. Tech.* 34:391-399.
- Gómez, M.H.; McDonough, C.M.; Rooney, L.W.; y Waniska, R.D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.* 54: 330-336.
- Gómez, M.H.; Waniska, R.D.; y Rooney, L.W. 1992. Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68: 578-582.
- González, R.J.; R.L. Torres; D.M. De Greef; N.A. Gordon; y M.E. Veloci. 1991. Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas. *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos* 31: 1.
- González-Hernández, J.; Figueroa, J.D.C.; Martínez, L.; Vargas, H.; y Sánchez-Sinencio, F. 1997. Technological modernization of the alkaline cooking process for the production of masa and tortilla. En: Gazzinelli, R.; Moreira, R.L.; y Rodriguez, W.N., eds. *Physics and industrial development: Bridging the gap.* Singapore and London. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd; 126-178.
- Green, J.R.; Lawhon, J.T.; Cater, C.M.; y Mattil, K.F. 1977. Utilization of whole undefatted glandless cottonseed kernels and soybeans to protein-fortify corn tortillas. *Journal of Food Science* 42(3): 790-794.

Greenfield, H.J.; Makinson, J.; y Wills, R.B.H. 1984. Lipids in French fries: a retail and laboratory study. *J. Food Technol.* 19(2): 239-245.

Guevara Lara, F.; Beas Fernández, R.; Guzmán Maldonado, S.H.; Loarca Piña, M.G.F.; Vasco Méndez, N.L.; Chávez Ortiz, L.I.; González Díaz, M.C. 2008. Propiedades antioxidantes y antimutagénicas del huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*). En: Memoria del Noveno Seminario de Investigación de la Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 20-22 de Mayo.

Guevara-Lara, F.; Espinosa-Alonso, L.G.; Valverde, M.E.; Lygin, A.; Widholm, J.; Paredes López, O. 2006. Chemistry and Flavor of Hispanic Foods. ACS Symposium Series 946, American Chemical Society. Washington, D.C., USA. pp. 77-88.

Gutiérrez-Uribe, J.A.; Rojas-García, C.; García-Lara, S.; y Serna-Saldívar, S.O. 2010. Phytochemical analysis of wastewater (nejayote) obtained after lime cooking of different types of maize kernels processed into masa for tortillas. *Journal of Cereal Science* 52(3): 410-416.

Guzmán-Maldonado, S. y Paredes-López, O. 1998. Functional products of plants indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans, and botanicals. En: *Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects*. Mazza, G. (ed.) Technomic Publishing Company. Lancaster, PA, USA. pp. 239-328.

G-Villamex, S.A. de C.V. 2003. Manual de Operación y Mantenimiento Máquina Modelo V-100 Tlayuda a 2 bandas de comales (para tostadas). P. 1-10.

Hardacre, A.K.; S.M. Clark; S. Riviere; J.A. Monro; y Y.A.J. Hawkins. 2006. Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture Studies* 37: 94-111.

- Harper, J.M. 1981. Extrusion of Food. Vol. 2, CRC Press, Boca Raton, FL, E.U.A.
- Herman, C.; Adlercreutz, T.; Goldin, B.R.; Gorbach, S.L.; Hfckerstedt, K.A.; y Watanabe, S. 1995. Soybean phytoestrogen intake and cancer risk. J. Nutr. Suppl. 125: 1-6.
- Hoedge et al. 2004. Glycemic index and dietary fiber and the risk of type two of diabetes. Diabetes Care 27 (11): 2701-6.
- Hoseney, R.C. 1998. Gelatinization phenomena of starch. En: M.A. Rao y R.W. Hartel, Editors, Phase/State Transitions in Foods: Chemical, Structural and Rheological Changes, Marcel Dekker, New York, pp. 95–110.
- Hung, Y.C.; Sava, V.M.; Makan, S.Y.; Cheng, T.H.; Hong, M.Y.; Huang, G.S. 2002. Antioxidant activity of melanins derived from tea: Comparison between different oxidative states. Food Chemistry 78: 233-240.
- Ikekawa, T.; Uehara, N.; Maeda, Y.; Nakanishi, M.; y Fukuoka, F. 1969. Antitumor activity of aqueous extracts of edible mushrooms. Cancer Research 29(3): 734-735.
- Jackson, D.S. y Shandera, J.R. 1995. Corn wet milling: Separation chemistry and technology, Advances in Food and Nutrition Research 38: 271-297.
- Jackson, D.S.; Rooney, W.L.; Kunze, O.R.; y Waniska, R.D. 1988. Alkaline processing properties of stress-cracked and broken corn (*Zea mays*). Cereal Chem. 65-133-137.
- Jane, J. y J. Chen. 1992. Effect of amylase molecular size and branch chain length on paste properties of starch. Cereal Chem. 69 (1): 60-65.
- Katz, S.H.; M.L. Hediger; y L.A. Valleroy. 1974. Traditional maize processing techniques in the New World. Science 184: 765.

- Kaur, L.; Singh, J.; y Singh, N. 2005. Effect of glycerol monostearate on the physico-chemical, thermal, rheological and noodle making properties of corn and potato starches. *Food Hydrocolloids* 19(5): 839-849.
- Kawas, M.L. y Moreira, R.G. 2001. Characterization of product quality attributes of tortilla chips during the frying process. *J. Food Eng.* 47: 97-107.
- Kayacier, A. y Singh, R.K. 2003. Textural properties of baked tortilla chips. *LWT-Food Sci. Technol.* 36: 463-466.
- Kervinen, R.; Linko, P.; Suortti, T.; y Olkku, J. 1984. Wheat starch extrusion cooking with acid or alkali. pp. 257-261. En: *Thermal Processing and Quality of Foods*. Zeuthen, P.; Cheftel, J.C.; Erickson, C.; Jul, M.; Leniger, H.; Linko, P.; Varela, G.; y Vos., G., eds. Elsevier Applied Sci. Publi.: New York.
- Kim, M.Y.; Seguin, P.; Ahn, J.K; Kim, J.J.; Chun, S.C.; Kim, E.H.; Seo, S.H.; Kang, E.Y.; Kim, S.L.; Park, Y.J.; Ro, H.M.; Chung, I.M. 2008. Phenolic compound concentration and antioxidant activities of edible and medicinal mushrooms from Korea. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (16): 7265-7270.
- Konczak, I. y Zhang, W. 2004. Anthocyanins - more than nature's colours. *BioMed Res. Intl.* 2004: 239-240.
- Kovacs, M.I.P., Fu, B.X., Woods, S.M., y Khan, K. 2004. Thermal stability of wheat gluten protein: Its effect on dough properties and noodle texture. *J. Cereal Sci.* 39: 9-19.
- Krueger, B.R.; Walker, C.E.; Knutson, C.A.; y Inglett, G.E. 1987. Differential scanning calorimetry of raw and annealed starch isolated from normal and mutant maize genotypes. *Cereal Chem.* 64(3): 187-190.

Lamartiniere, C.A.; Moore, J.B.; Brown, N.M.; Thompson, R.; Hardin, M.J.; y Barnes, S. 1995. Genistein suppresses mammary cancer in rats. *Carcinogenesis* 16: 2833-2840.

Lamartiniere, C.A.; Murrill, W.B.; Manzolillo, P.A.; Zhang, J.X.; Barnes, S.; y Zhang, X. 1998. Genistein alters the ontogeny of mammary gland development and protects against chemically induced mammary cancer in rats. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 21: 358-364.

Lapidot, T.; Harel, S.; Akiri, B.; Granit, R.; y Kanner, J. 1999. pH dependent forms of red wine anthocyanins as antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47(1): 67-70. <http://dx.doi.org/10.1021/jf980704g>

Lee, J.K. 1991. Effect of processing conditions and maize varieties on physicochemical characteristics of tortilla chips. Ph.D. dissertation, Texas A & M University, College Station, TX, USA.

Lindequist, U.; Niedermeyer, T.H.J.; y Jülich W.D. 2005. The Pharmacological Potential of Mushrooms. *eCAM* 2 (3): 285-299.

Lo, K.M. y Cheung, P.C.K. 2005. Antioxidant activity of extracts from the fruiting bodies of *Agrocybe aegerita* var. *alba*. *Food Chemistry* 89: 533-539.

López-Martínez, L.X. y H.S. García-Galindo. 2009. Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova Scientia* 3(2): 51-65.

López-Martínez, L.X.; K.L. Parkin; y H.S. García. 2011. Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red, and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Food Hum. Nutr.* 66: 41-47.

- Lujan-Acosta, F.J. y Moreira, R. 1997. Reduction of oil in tortilla chips using impingement drying. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie* 30(8): 834-840.
- Lusas, E.W. y Rooney, L.W., eds. 2001. *Snack Foods Processing*. CRC Press: Boca Raton, FL, E.U.A.
- Maga, J.A. y Liu, M.B. 1993. Hopi blue corn extrusion. *Developments in Food Science* 32: 983-986.
- Makinson, J.H., Greenfield, H., Wong, M.L. y Wills, R.B.H. 1987. Fat uptake during deep fat frying of coated and uncoated foods. *J. Food Comp. Anal.* 1(1), 93-97.
- Mangelsdorf, P.C. 1974. *Corn: Its Origin, Evolution and Improvement*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Marin B., E.; Lemus M., R.; y Flores M., V. 2006. La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. *Rev. Chil. Nutr.* 33(3): 527-538.
- Martínez-Bustos, F.; Martínez-Flores, H.E.; San Martín-Martínez, E.; Sánchez-Sinencio, F.; Chang, Y.K.; Barrera-Arellano, D.; y Ríos, E. 2001. Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalization process. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1455-1462.
- Martínez-Flores H.E.; F. Martínez-Bustos; J.D. Figueroa C.; y J. González-Hernández. 1998. Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *J. Food Science* 63(1): 130-133.
- Martínez-Flores, H.E.; Martínez-Bustos, F.; Figueroa, J.D.C.; y González-Hernández, J. 2002. Nutritional studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *Journal of Food Science* 67: 1196-1199.
- Martínez-Flores, A.; Corrales-García, J.J.; Espinosa-Solares, T.; García-Gatica, P.G.; y Villanueva-Verduzco, C. 2008. Cambios postcosecha del hongo

comestible huitlacoche [*Ustilago maydis* (D.C.) Corda]. Revista Chapingo Serie Horticultura 14(3): 339-346. Recuperado en 04 de septiembre de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1027-152X2008000300016&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2008000300016&lng=es&tlng=es).

Massieu, G.; Cravioto, O.Y.; Cravioto, R.O.; y Figueroa, F.D.M. 1954. Estudios sobre proteínas y aminoácidos de dietas mexicanas. III. Eficiencia proteica de dietas a base de tortilla, suplementadas con frijol, garbanzo o leche por el método de crecimiento de la rata blanca. Ciencia 14: 93-97.

Mazza, G. (Ed.). 1998. Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects (Vol. 1). CRC Press.

Mendonca, S.; Grossmann, M.V.E.; y Verhé, R. 2000. Corn bran as a fibre source in expanded snacks. LWT-Food Science and Technology 33(1); 2-8.

Miranda, M.Z. 1993. Aproveitamento do resíduo da indústria de cerveja ('dresh') para producao de 'snacks' com fibra. Masters Dissertation. Universidade Estadual de Londrina, Brazil.

Mizuno, T.; Saito, H.; Nishitoba, T.; y Kawagishi, H. 1995. Antitumor-active substances from mushrooms. Food Reviews International 11: 23-61.

Mondragón, M.; Bello-Pérez, L.A.; Agama-Acevedo, E.; Betancur-Ancona, D.; y Peña, J.L. 2004. Effect of cooking time, steeping and lime concentration on starch gelatinization of corn during nixtamalization. Starch-Stärke 56(6): 248-253.

Moon, J.K. y Shibamoto, T. 2009. Antioxidant assays for plant and food components. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57 (5): 1655-1666.

Morales, L. 1989. Apuntes no publicados de Tecnología de Botanas. Barcel del Centro. México.

- Mora-Rochin, S.; Gutiérrez-Uribe, J.A.; Serna-Saldívar, S.O.; Sánchez-Peña, P.; Reyes-Moreno, C.; y Milán-Carrillo, J. 2010. Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *J. Cereal Sci.* 52: 502-508.
- Moreira, R.G.; Palau, V.E.; Sweat, V.E.; y Sun, X. 1995. Thermal and physical properties of tortilla chips as a function of frying time. *Journal of Food Processing and Preservation* 19: 175–189.
- Moreira, R.G.; Sun, X.; y Chen, Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep fat frying. *Journal of Food Engineering* 31(4): 485-498.
- Moreyra, R. y Peleg, M. 1981. Effect of equilibrium water activity on the bulk properties of selected food powders. *Journal of Food Science* 46(6): 1918-1922.
- Moskowitz, H.R. 1987. *Food Texture. Instrumental and Sensory Measurement.* Marcel Dekker, New York, NY, E.U.A.
- Nadal, A. y T.A. Wise. 2005. Los costos ambientales de la liberación agrícola: El comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA. En: *Globalización y Medio Ambiente: Lecciones desde las Américas.* H. Blanco, L. Togeiro A., K. P. Gallagher (eds). Santiago de Chile. RIDES-GDAE. pp. 49-92.
- Narváez-González, E.D.; Figueroa, J.D.C.; Taba, S.; Castaño, T.E.; Martínez, P.R.A.; Rincón, S.F. 2006. Relationships between microstructure, physical features and chemical composition of different maize accessions from Latin America. *Cereal Chem.* 83(6): 595-604.
- Narváez-González, E.D.; Cárdenas, J.D.F.; Taba, S.; Tostado, E.C.; y Peniche, R.A.M. 2007. Effect of starch granule size on the thermal and pasting properties of maize. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 269-277.

NMX-F-046-S-1980. Norma Mexicana para Harina de Maíz Nixtamalizado, Dirección General De Normas. México, D.F. 6 p.

NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Norma Mexicana para Maíces Destinados al Proceso de Nixtamalización. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - cereales - maíz blanco para proceso alcalino para tortilla de maíz y productos de maíz nixtamalizado- Especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18 p.

NOM-187-SSA1/SCFI-2002. Norma Oficial Mexicana, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba. Secretaría de Salud (SSA). Dirección General de Normas. México, D.F. 15 p.

Nurul-Islam, M.M. y Mohd.-Azemi, B.M.N. 1992. Effect of molar substitution (MS) on calcium binding by hydroxypropil rice starches. *Starch/Stärke* 44(9): 332-334.

Nurul-Islam, M.M. y Mohd.-Azemi, B.M.N. 1994. Effect of pH and reaction time on calcium binding by hydroxypropil rice starches. *Starch/Stärke* 46(9): 349-354

Obatolu, V.A.; Okoruwa, A.; y J.E. Iken. 2007. Improvement of home-made maize tortilla with soybean. *International Journal of Food Science and Technology* 42: 420-426.

Obatolu, V.; Omueti, O.; y Adebawale, E. 2006. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of Food Process Engineering* 29: 149–161.

Ortega, F.I.; Villegas, E.; y Vasal, S.K. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63: 446-451.

Pan, Z.; Zhang, S.; y Jane, J. 1998. Effects of extrusion variables and chemicals on the properties of starch-based binders and processing conditions. *Cereal Chem.* 75: 541-546.

Paredes-López, O. y Saharópulos-Paredes, M.E. 1983. Maize: a review of tortilla production technology. *Bakers' Digest* 13: 16.

Payne, P.I.; Nightingale, M.A.; Krattiger, A.F.; y Holt, L.M. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. *J. Sci. Food Agric.* 40: 51–65. DOI: 10.1002/jsfa.2740400108.

Peña, R.J.; Ortiz-Monasterio, J.I.; y E. Sayre, K.D. 1998. Estrategias para mejorar (o mantener) la calidad panadera en trigo de alto potencial de rendimiento. En Kohli, M.M.; D. Marino (eds.). *Explorando Altos Rendimientos de Trigo*. La Estanzuela, Uruguay: CIMMYT-INIA .Octubre 20 al 23, 1997.

Pérez Téllez, D.M.D. 2011. Análisis de  $\beta$ -glucanos del huitlacoche (*Ustilago maydis*) y del champiñón (*Agaricus bisporus*) y evaluación de sus efectos sobre el sistema inmune. Tesis de Maestría en Ciencias en Biotecnología Vegetal. Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 3 de Junio.

Pérez Téllez, D.M.D.; Ceballos Salazar, R.; Bello Pérez, L.A.; Guevara Lara, F. 2009. Análisis de  $\beta$ -glucanos del huitlacoche (*Ustilago maydis*) y del champiñón (*Agaricus bisporus*) y evaluación de sus efectos sobre el sistema inmune. Cartel, Quinto Congreso Estatal La Investigación en el Posgrado. Universidad Autónoma de Aguascalientes. 22 y 23 de Octubre de 2009.

Pflugfelder, R.L.; Rooney, L.W.; y Waniska, R.D. 1988. Fractionation and composition of commercial corn masa. *Cereal Chem.* 65: 262-266.

Pimentel-González, D.J.; Rodríguez-Huezo, M.E.; Campos-Montiel, R.G.; Trapala-Islas, A.; y Hernández-Fuentes, A.D. 2011. Influencia de la variedad de maíz en las características fisicoquímicas del huitlacoche (*Ustilago maydis*). Revista Mexicana de Ingeniería Química 10(2): 171-178. Recuperado el 04 de septiembre de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382011000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382011000200003&lng=es&tlng=es).

Plascencia-González, G.; Martínez-Bustos, F.; Salinas-Moreno, Y.; Sánchez-Sinencio, F.; Hernández-Montes, A. 1999. Evaluation of pigmented corns in the elaboration of corn and tortilla chips using nixtamalized flours prepared by a hydrothermal process. p. 72, En: 10th World Congress of Food Science & Technology. Australian Institute of Food Science and Technology Incorporated, Sydney, Australia.

Pontón, J. 2008. La pared celular de los hongos y el mecanismo de acción de la anidulafungina. Revista Iberoamericana de Micología 25: 78-82.

Pravisani, C.I. y Calvelo, A. 1986. Minimum cooking time for potato strip frying. J. Food Sci. 51(3): 614-617.

Prior, R.L.; Wu, X.; y Schaich, K. 2005. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(10): 4290-4302.

Quintero-Fuentes, X.; McDonough, C.M.; Rooney, L.W.; y Almeida-Domínguez, H. 1999. Functionality of rice and sorghum flours in baked tortilla and corn chips. Cereal Chemistry 76(5): 705-710.

Rababah, T.M.; Brewer, S.; Yang, W.D.; Al-Mahasneh, M.; Al-U'Datt, M.; Rababa, S.; y Ereifej, K. 2012. Physicochemical properties of fortified corn chips with broad

- bean flour, chickpea flour or isolated soy protein. *Journal of Food Quality* 35(3): 200-206.
- Ríos, O.R. 1989. *Tecnología de botanas*. Tesis para obtener el título de IQA. Facultad de Química, UAQ. Santiago de Querétaro, Qro., México.
- Rock-Dudley, P. 1993. The effect of processing parameters on oil content of corn tortilla chips, M.Sc. thesis. Texas A&M University, College Station, TX, USA.
- Rooney, L. 1999. Efecto de la adición de proteínas de soya en la calidad de las tortillas. En: *Excelencia en la calidad para la tortilla de maíz*. Reporte de Investigaciones de la Asociación Americana de Soya, p. 1-22.
- Rivera, Diego. 1940. El maíz (detalle). Mural Palacio Nacional.
- Rosado, J.L.; Camacho-Solís, R.; y Bourges, H. 1999. Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Salud Pública Méx.* 41 (2).
- Rosado, J.L. y Díaz, M. 1995. Propiedades fisicoquímicas relacionadas con función gastrointestinal de seis fuentes de fibra dietética. *Rev. Invest. Clín.* 47(4): 283-289.
- Rosell, M.S., Appleby, P.N., Spencer, E.A., y Key T.J. 2004. Soy intake and blood cholesterol concentrations: a cross-sectional study of 1033 pre- and postmenopausal women in the Oxford arm of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.* 80: 1391–1396.
- Ruiz-Roso, B. 2002. Posibilidades de la fibra dietética en el control del enfermo diabético no insulino dependiente. *Schironia* No. 1. Noviembre ([www.schironia.com](http://www.schironia.com)).
- Sáenz, C. 1997. Cladodes: A source of dietary fiber. *Journal of the Professional Association of Cactus Development* 2(1997): 117–123.

Sahai, D.; Buendía, M.O.; y Jackson, D.S. 2001. Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour: Particle size and functionality relationships in a masa flour sample. *Cereal Chemistry* 78(1): 14-18.

Salazar López, J.M.; Reynoso Camacho, R.; Martínez Saldaña, M.C.; Sandoval Cardoso, M.L.; Guevara Lara, F. 2012. Efecto del huitlacoche (*Ustilago maydis-Zea mays*) sobre indicadores de glicemia y lipidemia en ratas diabéticas. Ponencia oral, Tercer Congreso Internacional "La Investigación en el Posgrado". Mesa de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Aguascalientes y Consejo Mexicano de Estudios de Posgrado. 17-19 de Octubre.

Salinas-Moreno, Y. y Aguilar-Modesto, L. 2010. Effect of maize (*Zea mays* L.) grain hardness on yield and quality of tortilla. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas* 2(1): 5-11.

Salinas-Moreno, Y. y J.L. Arellano V. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotec. Mex.* 12: 129-135.

Salinas Moreno, Y.; Gómez Montiel, N.O.; Cervantes Martínez, J.E.; Sierra Macías, M.; Palafox Caballero, A.; Betanzos Mendoza, E.; y Coutiño Estrada, B. 2010. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(4): 509-523.

Salinas-Moreno, Y.; Aragón Cuevas, F.; Ybarra Moncada, C.; Aguilar Villarreal, J.; Altunar López, B.; y Sosa Montes, E. 2013. Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 23-31.

Salinas-Moreno, Y.; Arellano, J.L.; y Martínez, F. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para valles altos. Arch. Latinoam. Nutr. 42: 161-167.

Salinas-Moreno, Y.; Martínez-Bustos, F.; Soto-Hernández, M.; Ortega-Paczka, R.; y Arellano-Vázquez, J.L. 2003. Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. Agrociencia 37: 617-628.

Sánchez, L.; Noa, M.; Pedroso, M.; Iglesias, D.R.; Marrero, F. 1995. Beta (1,3) glucano a partir de *Saccharomyces cerevisiae*: Aislamiento y caracterización. Revista de Salud Animal 17(1): 9-17.

Sánchez-Madrigal, M.A.; Quintero-Ramos, A.; Martínez-Bustos, F.; Meléndez-Pizarro, C. O.; y Ruiz-Gutiérrez, M.G. 2014. Effect of different calcium sources on the antioxidant stability of tortilla chips from extruded and nixtamalized blue corn (*Zea mays* L.) flours. Food Sci. Technol. (Campinas) 34: 143-149.

San Martín-Martínez, E.; Jaime-Fonseca, M.R.; Martínez-Bustos, F.; y Martínez-Montes, J.L. 2003. Selective nixtamalization of fractions of maize grain (*Zea mays* L.) and their use in the preparation of instant tortilla flours analyzed using response surface methodology. Cereal Chemistry 80(1): 13-19.

Sarkar, F.H. y Li, Y. 2002. Mechanisms of cancer chemoprevention by soy isoflavone genistein. Cancer Metastasis Rev. 21: 265-280.

Serna-Saldívar, S.O.; Knabe, D.A.; Rooney, L W.; Tanksley, T.D.; y Sproule, A.M. 1988. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. Journal of Cereal Science 7(1): 83-94.

Serna-Saldívar, S.O.; Gómez, M.H.; y Rooney, L.W. 1990. Technology, chemistry, and nutritional value of alkaline-cooked corn products. Advances in Cereal Science and Technology (USA).

- Serna-Saldívar, S.O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México, D.F.
- Serna-Saldívar, S.O.; Gómez M.H.; y Rooney, L.W. 2001. Specialty corns: Food uses of regular and specialty corns and their dry-milled fractions. CRC Press. Boca Ratón, LA, E.U.A. pp. 303-337.
- Serratos, J.A.; J.T. Arnason; C. Nozzolillo; J.D.H. Lambert; y J.B.R. Philogene. 1987. The factors contributing to resistance of exotic maize populations to maize weevil *Sitophilus zeamais*. J. Chem. Ecol. 13; 751-762.
- Simmonds, D.H. 1989. Wheat and wheat quality in Australia. CSIRO Publishing.
- Singleton, V.L.; Orthofer, R.; y Lamuela-Raventos, R.M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. Meth. Enzymol. 299: 152–178.
- Sitori, C.R.; Lovati, M.R.; Manzoni, C.; Monetti, M.; Pazzucconi, F.; y Gatti, E. 1995. Soy and cholesterol reduction: clinical experience. J. Nutr. 125: 598S–605S.
- Sloan, A.E. 2011. Top 10 food trends. Food Technol. 65: 4.
- Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1981. Principles and Procedures of Statistics – A Biometrical Approach. 2ª. Ed. McGraw-Hill, Tokyo, p.215.
- Stone, H. y Sidel. J.L. 1993. Sensory Evaluation Practices. Academic Press, New York.
- Stratil, P.; Klejdus, B.; Kubáň, V. 2006. Determination of total content of phenolic compounds and their antioxidant activity in vegetables-Evaluation of spectrophotometric methods. Journal of Agricultural and Food Chemistry 54 (3): 607-616.
- Sun, X. y Moreira, R.G. 1994. Oil distribution in tortilla chips during deep-fat frying. American Society of Agricultural Engineers, Paper No. 94-6506, 1–13.

- Tabart, J.; Kevers, C.; Pincemail, J.; Defraigne, J.O.; Dommes, J. 2009. Comparative antioxidant capacities of phenolic compounds measured by various tests. *Food Chemistry* 113: 1226-1233.
- Thoufeek, A.N.; Rekha, S.S.; Pushpa, R.K.; y Mohinder, P. 1995. Deep fat-fried snacks from blends of soya flour and corn, amaranth and *Chenopodium* starches. *Food Chemistry* 58(4): 313-317.
- Tovar, A.R.; Murguía, F.; Cruz, C.; Hernández-Pando, R.; Aguilar-Salinas, C.A.; y Pedraza-Chavarri, J. 2002. A soy protein diet alters hepatic lipid metabolism gene expression and reduces serum lipids and renal fibrogenic cytokines in rats with chronic nephritic syndrome. *J. Nutr.* 132: 2562–2569.
- Trejo-González A.; Feria-Morales A.; y Wild-Altamirano C. 1982. The role of lime in the alkaline treatment of corn tortilla preparation. *Universal* 9: 2621-2622. Plaza & Janes, S.A., USA.
- Tu, Y.G.; Sun, Y.Z.; Tian, Y.G.; Xie, M.Y.; y Chen, J. 2009. Physicochemical characterisation and antioxidant activity of melanin from the muscles of Taihe black-bone silky fowl (*Gallus gallus domesticus* Brisson). *Food Chemistry* 114(4): 1345-1350.
- USDA Nutrient Database. 2012. Footnotes for corn, yellow. Source: Nutrient data for this listing was provided by USDA SR-21.
- Valverde, M.E.; Paredes-López, O.; Pataky, J.K.; y Guevara-Lara, F. 1995. Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source: Biology, composition and production. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 35:191-229.
- Van Zeddemann, H. 1981. Frying and cooking fat and their quality control. *CCB Rev. Choc. Confect. Bakery* 6(3): 25-27.

Varela, G. 1977. Heated fats: a contribution to the study of the food frying process.

Bibl. Nutr. Dieta 25: 112-121.

Varela, G.; Bender, A.E.; y Morton, I.D. 1988. En: *Frying of Food Principles, Changes, New Approaches*. Ellis Horwood, Chichester, U.K.

Véles Medina, J.J. 2004. Caracterización de tostadas elaboradas con maíces pigmentados y diferentes métodos de nixtamalización. Tesis para obtener el grado en Maestría en Tecnología Avanzada. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro., México. 205 p.

Vigouroux, Y.; J.C. Glaubitz; Y. Matsuoka; M.M. Goodman; J. Sánchez G.; y J. Doebley. 2008. Population structure and genetic diversity of New World maize races assessed by DNA microsatellites. *Amer. J. Bot.* 95(10): 1240-1253.

Vinson, J.A.; Su, X.; Zubik, L.; y Bose, P. 2001. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: Fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(11): 5315-5321.

Vivas, N.E.; Waniska, R.D.; y Rooney, L.W. 1987. Effect of tortilla production on proteins in sorghum and maize. *Cereal Chem.* 64: 384-389.

Von Elbe, J.H. y Schwartz, S.J. 1996. Colorants. *Food Chem.* 3: 651-723.

Wall, J.S. 1979. The role of wheat proteins in determining baking quality. *Recent Advances in the Biochemistry of Cereals*, pp. 275-311.

Wang, D. y Eckhoff, S.R. 2000. Effect of broken corn levels on water absorption and steepwater characteristics. *Cereal Chem.* 77: 27-31.

Wang, H.; Pan, Y.; Tang, X.; Huang, Z. 2006. Isolation and characterization of melanin from *Osmanthus fragrans* seeds. *LWT-Food Sci. Technol.* 39: 496-502.

Watson, A.S. y Ramstad, E.D. 1987. Structure and composition. En *Corn: Chemistry and Technology*. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN, E.U.A.

Watson, S.A. 1988. Structure and composition. *Corn: chemistry and technology*. pp. 53-82. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN, E.U.A.

Watson, S. 2003. Description, development, structure, and composition of the corn kernel. En: P. White, L. Johnson, eds. *Corn Chemistry and Technology*. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, MN, USA. pp. 69-101.

Wheat Flour Institute. 1964. Diagram of corn grain. Illinois, Chicago, IL, E.U.A.

Wolf, B.W. *et al.* 2004. Glycemic response to a food starch esterified by 1-octenyl succinic anhydride in humans. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2674-2678.

Wrolstad, R. E. 2004. Anthocyanin pigments-Bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science* 69(5): C419-C425.

Xu, X.; Duncan, A.M.; Wangen, K.E.; y Kurzer M.S. 2000. Soy consumption alters endogenous estrogen metabolism in postmenopausal women. *Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.* 9: 781-786.

Xu, S. y Kerr, W.L. 2012. Comparative study of physical and sensory properties of corn chips made by continuous vacuum drying and deep fat frying. *LWT-Food Sci. Technol.* 48: 96-101.

Xue, J. y Michael, N. 2007. Thermal properties of batter systems formulated by combinations of different flours. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1459–1465.

Yuliani, S.; Torley, P.J.; D'Arcy, B.; Nicholson, T.; y Bhandari, B. 2006. Effect of extrusion parameters on flavour retention, functional and physical properties of mixtures of starch and d-limonene encapsulated in milk protein. *International*

Journal of Food Science & Technology 41: 83–94. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2006.01409.x

Zaragoza-Monroy, A.R. 2011. Análisis de los compuestos fenólicos de los hongos comestibles huitlacoche (*Ustilago maydis*) y setas (*Pleurotus ostreatus*) y evaluación de algunas de sus posibles propiedades nutraceuticas. Tesis de Maestría en Ciencias en Biotecnología Vegetal. Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 3 de Junio.

Zaragoza-Monroy, A.R.; Rodríguez, M.G.; Moreno-Hernández-Duque, J.L.; Carrillo-Díaz, M.I.; Guevara-Lara, F. 2010. Evaluation of phenolics and antioxidant capacity in huitlacoche (*Ustilago maydis*) and oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*). En: Memoria del 2010 IFT Annual Meeting & Food Expo (193-29). Chicago, Illinois, USA. 17 a 20 de Julio.

Zaragoza-Monroy, A.R.; Moreno Hernández Duque, J.L.; Rodríguez, M.G.; Guevara Lara, F. 2009. Análisis de los compuestos fenólicos de los hongos comestibles huitlacoche (*Ustilago maydis*) y setas (*Pleurotus ostreatus*) y evaluación de algunas de sus posibles propiedades nutraceuticas. En: Memoria del Quinto Congreso Estatal “La Investigación en el Posgrado”, Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 22 y 23 de Octubre.

Zazueta-Morales, J.J.; Martínez-Bustos, F.; Jacobo-Valenzuela, N.; Ordorica-Falomir, C.; y Paredes-López, O. 2002. Effects of calcium hydroxide and screw speed on physicochemical characteristics of extruded blue maize. J. Food Sci. 67: 3350-3358.

Ziaifar, A.M.; Achir, N.; Courtois, F.; Trezzani, I.; y Trystram, G. 2008. Review of mechanisms, conditions, and factors involved in the oil uptake phenomenon

during the deep-fat frying process. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 1410–1423.

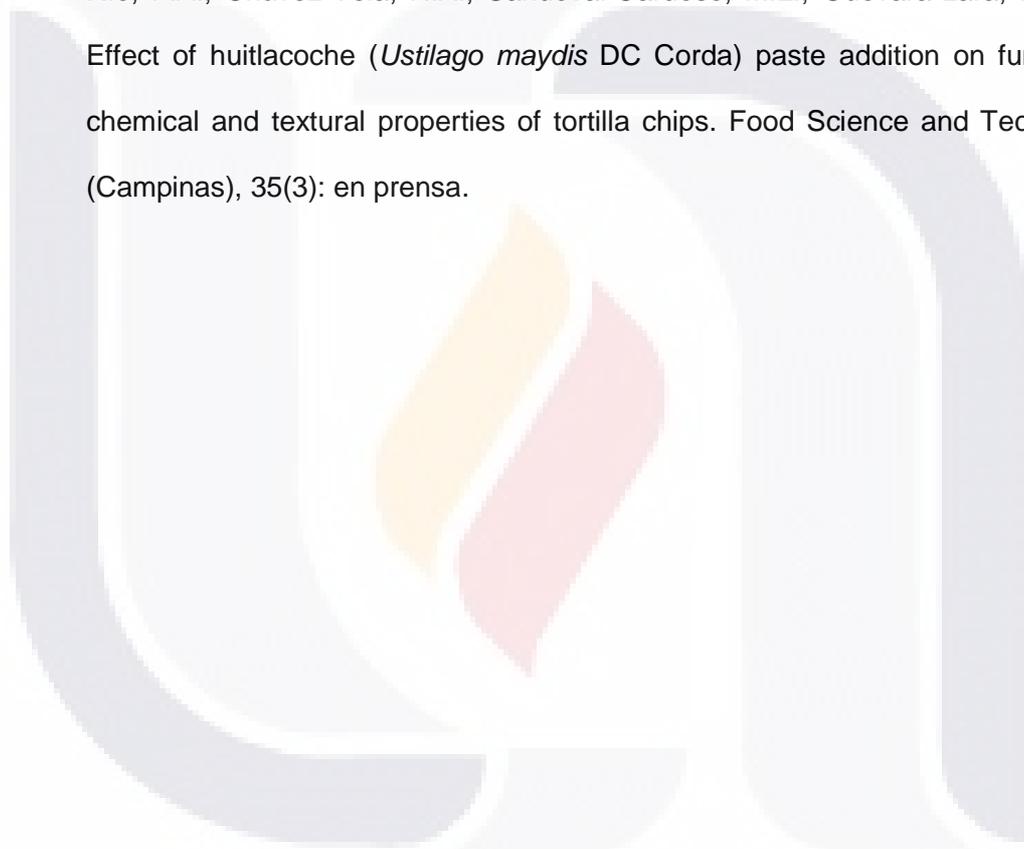
Zulueta, A.; Esteve, M.J.; y Frígola, A. 2009. ORAC and TEAC assays: Comparison to measure the antioxidant capacity of food products. *Food Chemistry* 114: 310-316.



**ANEXO A**

ARTÍCULO PUBLICADO EN UNA REVISTA INDEXADA

Amador-Rodríguez, K.Y.; Martínez-Bustos, F; Pérez-Cabrera, L.E.; Posadas-Del-Río, F.A.; Chávez-Vela, N.A.; Sandoval-Cardoso, M.L.; Guevara-Lara, F. 2015. Effect of huitlacoche (*Ustilago maydis* DC Corda) paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips. Food Science and Technology (Campinas), 35(3): en prensa.



Dear Dr. Fidel Guevara-Lara,

I am glad to inform you that the manuscript below has been  
ACCEPTED  
for publication  
on Food Science and Technology, according to the final  
decision  
letter below.

Final decision letter:

\*\*\*\*\*

Publish in its present form

OK FOR PUBLICATION

-----  
Title and Abstract

Revisor 1: Effects on functional, chemical and structural characteristics of tortilla chips added with huitlacoche (Ustilago maydis DC Corda)

Revisor 2: ) The title [Effects on functional, chemical and structural characteristics of tortilla chips added with huitlacoche (Ustilago maydis DC Corda)] does not reflect clearly the articles's

content. It might be changed, Suggestion: "Effect of huitlacoche (Ustiliago maydis DC Cordal) paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips"

2) The abstract does not reflect the contents. It might be restructured

Example:

Original: " TC crispiness was influenced by grain characteristics and

percentage of HP. Bioactive compounds from HP influenced the total phenolic content and antioxidant capacity of TC. Results suggest that tortilla chips added with huitlacoche can be an alternative to prepare this traditional edible fungus and produce healthier snacks, not fried and enriched with bioactive compounds"

Suggestion: "TC crispiness was influenced by grain characteristics and percentage of HP. Huitlacoche paste addition caused an increase in total dietary fiber (from----- to -----), total phenolic content (from ----- to -----) and antioxidant capacity (from ----- to -----) in TC. Results suggest that tortilla chips added with huitlacoche can be an alternative to prepare this traditional edible fungus and produce healthier snacks, not fried and enriched with bioactive compounds"

Suggestion:

The application of HP as ingredient in the formulation of baked snacks resulted in an increase in total dietary fiber (+ -- ----%), total phenolic content (+ -----%) and in the antioxidant capacity (+ ----- %) when compared with the controls without HP and commercial tortilla chips. Results suggest that tortilla chips added with huitlacoche can be an alternative to prepare this traditional edible

fungus and produce healthier snacks, not fried and enriched with bioactive compounds

#### Introduction and Objectives

Revisor 1: 1) Well written and defined. Bibliography updated.

2) Clear, concise and well-defined.

Revisor 2: 1) The introduction section is pertinent to the content

2) The objective [Original: "The objective of this work was to propose a new form of industrialization for this traditional ingredient to evaluate the effects of the addition of huitlacoche at different percentages to baked tortilla chip formulations and to analyze the changes in biochemical, functional and structural properties] is not in agreement with the title.

Suggestion:

The objective must be in agreement with the title:

Example:

The objective of this research was to study the effect of huitlacoche paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips

Methodology

Revisor 1: 1) Partially. Authors should include high efficiency chromatography to know what are the anthocyanins and antioxidant compounds detected.

2) Yes.

Revisor 2: 1) The methodology does not include sufficient details to ensure a clear understanding.

Example:

Original:

2.5 Total soluble phenolics contents

Total soluble phenolics of samples was determined using a colorimetric method (Singleton et al., 1999)

Questions:

How were the phytochemical extracts obtained?. Were bound phytochemicals taken into account?

It seems that only free phytochemicals were evaluated.

Recommendation:

In general, the methodology must include sufficient details to ensure a clear understanding.

Results/discussions and conclusions

Revisor 1: 1) No. The results could be better discussed.

Figure 1 is not required. It could only be described.

2) Yes.

3) Yes.

Revisor 2: 1) The results are clearly presented

2) The conclusions are consistent

3) This article is a new and original contribution.

Recomendation:

This article might be improved significantly if sensorial evaluation of healthier snacks (tortilla chips added with HP) is carried out.

Language

Revisor 1: Good

Revisor 2: Good

The manuscript is well written

References

Revisor 1: Yes

Revisor 2: No

The references are relevant but the manuscript might be improved if some update references are included

Which of the following best represent the importance of this work?

Revisor 1: Good

-

Revisor 2: Good

The article would be accepted if some recommendations are considered:

(1) The original title does not reflect clearly the articles's content. It might be changed, Suggestion: "Effect of huitlacoche

(Ustiliago maydis DC Cordal) paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips"

(2) The abstract does not reflect the contents. It might be restructured

(3) The original objective is not in agreement with the title. It might be changed

(4) The methodology does not include sufficient details to ensure a clear understanding. It needs to be improvement

(5) This article might be improved significantly if sensorial evaluation of healthier snacks (tortilla chips added with HP) is carried out.

\*\*\*\*\*

manuscript ID: 6697.R1

Title: EFFECTS ON FUNCTIONAL, CHEMICAL AND STRUCTURAL CHARACTERISTICS

OF TORTILLA CHIPS ADDED WITH HUITLACOCHÉ (USTILAGO MAYDIS  
DC CORDA)

Authors: Ms. Karla Yuritzi Amador-Rodríguez, Dr. Fernando  
Martínez

Martínez-Bustos, Dr. Laura Eugenia Pérez-Cabrera, Dr.  
Francisco Aníbal

Posadas-Del-Río, Dr. Norma Angélica Chávez-Vela, Mrs. Ma.  
Lorena

Sandoval-Cardoso, Dr. Fidel Guevara-Lara

Thank you for your valuable contribution.

Regards,

-----

Suzana Caetano da Silva Lannes  
Editor-in-Chief

-----

Food Science and Technology

Av. Brasil 2880  
13001-970 Campinas - SP - Brasil  
Caixa Postal: 271  
Fone/Fax: +55 19 3241-0527  
Fone: +55 19 3241-5793

## Effect of huitlacoche (*Ustilago maydis* DC Corda) paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips

Karla Yuritzi AMADOR-RODRÍGUEZ<sup>1</sup>, Fernando MARTÍNEZ-BUSTOS<sup>2</sup>, Laura Eugenia PÉREZ-CABRERA<sup>3</sup>, Francisco Aníbal POSADAS-DEL-RÍO<sup>1</sup>, Norma Angélica CHÁVEZ-VELA<sup>1</sup>, Ma. Lorena SANDOVAL-CARDOSO<sup>1</sup>, Fidel GUEVARA-LARA<sup>1\*</sup>

### Abstract

This study analyzed the addition of huitlacoche paste (HP) in baked tortilla chips (TC), evaluating its effects on functional, physicochemical and structural changes during processing. Two blue corn grains were nixtamalized, stone milled, air dried and milled to obtain flour; commercial blue corn flour (TM1) and commercial TC (TM2) were used as controls. Additions of 0, 3, 6 and 9% of HP were formulated; masas were prepared at 55% moisture content (MC), precooked and baked in an industrial machine. TC crispiness was influenced by grain characteristics and percentage of HP. Huitlacoche paste addition caused an increase in total dietary fiber (from 5.27 to 14.54%), total soluble phenolics content (from 17.52 to 37.60 mg GAE/100 g) and antioxidant capacity (from 6.74 to 7.98  $\mu\text{mol TE/g}$ ) in TC. Results suggest that tortilla chips added with huitlacoche can be an alternative to prepare this traditional edible fungus and produce healthier snacks, not fried and enriched with bioactive compounds.

**Keywords:** huitlacoche; blue corn; tortilla chips; *Ustilago maydis*; corn smut; functional food.

**Practical Application:** As obesity and diseases related to bad eating habits rise, developing sources of good nutrition and health benefits has become a major research focus in recent years. The addition of a new and functional ingredient for tortilla chips proposes to enhance the nutritional and bioactive compounds of nixtamalized corn products. Huitlacoche is an important source of fiber, lysine, essential fatty acids and bioactive compounds. Corn-based snacks increased over the last 30 years because they were included in main meals as well as in between-meal nourishments.

### 1 Introduction

Busy lifestyles and the increasing demand from consumers for meals and snacks that are quick sources of good nutrition have prompted the food industry to develop foods meeting the requirements (Reis & Abu-Ghannam, 2014), and tortilla chips made from blue corn are a viable option (Sánchez-Madrigal et al., 2014). Tortilla chips (TC) are defined as the snacks made from milled alkaline-treated (nixtamalized) corn or alkaline-treated corn flours that are formatted, cooked, and partially dried and fried or baked (McDonough et al., 2001; Mehta, 2001). Pigmented corn contains anthocyanins and phenolic compounds which are phytochemicals synthesized in the plant by secondary metabolism; although these compounds are considered nonnutritive, interest in antioxidant and bioactive properties has increased due to their potential health benefits (Rice-Evans et al., 1996; Heinonen et al., 1998; Setchell & Cassidy, 1999; Salinas-Moreno et al., 2003; Del Pozo-Insfran et al., 2006; He & Giusti, 2010).

Huitlacoche (*Ustilago maydis* DC Corda) (also known as huitlacoche) is a mushroom consumed traditionally in México; this dimorphic fungus is responsible for the formation of corn smut, characterized by galls or tumors principally in ears, but also in stems, leaves and tassels of the plant host (*Zea mays* L.)

(Bölker, 2001). Huitlacoche is a good source of protein (10–25% db), with a high content of lysine; it also has a high content of dietary fiber (54–64% db) and essential fatty acids such as linoleic and linolenic acids (Valverde et al., 1995; Beas et al., 2011). Huitlacoche has been remarked as a functional food that produces bioactive substances, the latter of which can be used to create fortified food products (Valverde et al., 1995; Ruiz-Herrera & Martínez-Espinoza, 1998; Valdez-Morales et al., 2010; Beas et al., 2011; Juárez-Montiel et al., 2011). Traditionally it is consumed with nixtamalized corn products, is highly edible and has no diversity processing. The objective of this research was to study the effect of huitlacoche paste addition on functional, chemical and textural properties of tortilla chips.

### 2 Materials and methods

#### 2.1 Materials

Two samples of blue-kernel maize were acquired: conic variety (CG) from INIFAP (Celaya, Guanajuato, México) and creole variety (XG) from the local market of Xicotepec de Juárez, (Puebla, México). Nixtamalized commercial blue

Received 09 Apr., 2015

Accepted 01 July, 2015

<sup>1</sup>Centro de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma de Aguascalientes – UAA, Aguascalientes, Ags., México

<sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados – CINVESTAV, Instituto Politécnico Nacional – IPN, Querétaro, Qro., México

<sup>3</sup>Centro de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Aguascalientes – UAA, Aguascalientes, Ags., México

\*Corresponding author: [fguevara@correo.uaa.mx](mailto:fguevara@correo.uaa.mx)

corn flour (TM1) (MINSA, Estado de México, México) and commercial blue baked tortilla chips (TM2) (Salmas, Sanissimo, Monterrey, N.L., México) were purchased in a local market of Aguascalientes (Aguascalientes, México); huitlacoche corn cobs were purchased in Irapuato (Guanajuato, México). Huitlacoche galls were separated from the corn cobs and cooked (stir-fried in an electric pan with no additives) for 15 min at 95 °C. After cooling, galls were processed into a uniform huitlacoche paste (HP) with a food processor (Quick N' Easy Processor, Black & Decker, Shelton, CT, USA) and stored in a -15 °C freezer in one-liter air-tight plastic containers.

## 2.2 Preparation of nixtamalized corn flour (NF) and tortilla chips (TC)

An alkaline-cooking method was used (Salinas-Moreno & Arellano, 1989). Briefly, maize kernels (24-kg lots) were cooked for 30 min in lime solution [0.8% (w/v) Ca(OH)<sub>2</sub> in distilled water] at 85 °C using a 1:2 (w/v) ratio of grain to cooking medium, followed by a steeping time of 14 h. The cooking liquor was drained and discarded and the nixtamal (alkaline-cooked maize) washed with running tap water for 40 s. The cooked grain was ground into masa in a stone mill (M100, Fumasa, Puebla, México), and finally dehydrated using a flash type dryer (M2000, CINESTAV-GAV, Querétaro, Qro., México).

Formulations were prepared from three nixtamalized flours (NF): conic blue corn (NCF), creole blue corn (NXF) and commercial blue corn (NMF). Each NF was added with 0, 3, 6, and 9% of HP (w/w, db). NCF and NXF formulations were added with 0.5% (w/w) sodium carboxymethyl cellulose (419273, Sigma-Aldrich Química, Toluca, Estado de México, México) to improve crispness, as determined from a preliminary test.

For tortilla chip processing, formulations were rehydrated to 55% water content and mixed using speed two for 10 min (KitchenAid® NSF Certified® Commercial Series 8-Qt Bowl Lift Stand Mixer, Benton Harbor, MI, USA). Formulations were processed in a semi-industrial tortilladora (Villamex V-100, Guadalajara, Jalisco, México; Grupo Villamex, 2003). Briefly, the masa was shaped and cut into thin triangles (1 mm thickness) and the pieces were cooked on an iron hot band (270 °C ± 10 °C) for 45 s each side. After cooling, the pieces were baked in a semi-industrial convection oven at 180 °C (Zucchelli Forni, 260493, Verona, Italy) for 15 min, after which they were cooled and stored in air-tight packaging until evaluations and labeled: tortilla chips from NCF as CTC (conic tortilla chips); from NXF as XTC (creole tortilla chips); from NMF as MTC [MINSA (commercial flour) tortilla chips].

## 2.3 Physical and proximate analyses

The physical properties of tortilla chips were analyzed by approved AACC International methods: moisture content (MC) by method 44-15.02, crude protein (%N × 6.25) by method 46-10.01, crude fiber and fat (ether extract) were determined according to methods 32-10.01 and 30-10.01, respectively (American Association of Cereal Chemists, 1999). Total dietary fiber (TDF) was analyzed using the Total Dietary Fiber Assay

Kits TDF-100A and TDF-C10 (Sigma Chemical Company, St. Louis, MO, USA). Three repetitions were made for each analysis.

## 2.4 Color determinations

Color changes were determined using a MiniScan XE colorimeter (model 45/0-L, Hunter Associates Laboratory, Reston, VA, USA). Total color differences ( $\Delta E$ ) at the different periods of time were calculated from the determined CIELAB  $L^*$   $a^*$   $b^*$  values according to Equation 1.

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

where  $L^*$  = brightness or lightness (100 = perfect white, to 0 = black);  $a^*$  = greenness/redness [negative (green) to positive (red)];  $b^*$  = yellowness/blueness [negative (blue) to positive (yellow)];  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ , and  $\Delta b^*$  = absolute differences of the values between the reference tile (white porcelain) and sample values;  $\Delta E$  = total difference between reference and sample color. The reference (calibration) values were:  $L^*$  = 92.22,  $a^*$  = 0.82 and  $b^*$  = 0.62. Color measurements were repeated five times at each experimental condition.

## 2.5 Total soluble phenolics contents

Total soluble phenolics of samples was determined using a colorimetric method (Singleton et al., 1999). A calibration curve of gallic acid using 30% (v/v) methanol as solvent was used. Sample extracts were prepared accordingly using 500 mg of sample homogenized with 10 mL of 30% (v/v) methanol and agitated for 1.5 h. The extracts were centrifuged at 3200 × g (Thermo IEC model CL3-R, USA) for 30 min and decanted. Thirty microliters of extract, 3 mL of deionized water, and 200  $\mu$ L of Folin-Ciocalteu's phenol reagent were mixed and allowed to stand for 10 min at room temperature. The reaction was neutralized with 600  $\mu$ L of a 20% (w/v) sodium carbonate solution. The mixture was incubated for 20 min. The absorbance was measured at 757 nm using a spectrophotometer (BioMate 3, Thermo Fisher Technologies, Wisconsin, USA), and a reagent blank was used. The results were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per 100 g of sample (mg GAE/100 g). This determination was performed in triplicate for each extract.

## 2.6 Total anthocyanins

Total anthocyanins were assayed according to Abdel-Aal & Hucl (1999) by measuring the absorbance of ethanolic extracts. Tortilla chip samples (1.5 g) were homogenized with 10 mL of an acidified ethanol solution (ethanol and 1 N HCl, 85:15, v/v). The solution was mixed and adjusted to pH 1 with 4 N HCl, agitated for 30 min, and then centrifuged at 3200 × g (Sorvall RC5C, Sorvall Instruments, Dupont, Wilmington, DE, USA). The supernatant was poured into a 25 mL volumetric flask and brought to volume with acidified ethanol. The absorbance was measured at 535 nm using a spectrophotometer (BioMate 3, Thermo Fisher Technologies, Wisconsin, USA), and a reagent blank was used. The total anthocyanin content was expressed

as milligrams of cyanidin 3-glucoside per kilogram of sample (mg C3G/kg) and was calculated using Equation 2:

$$C = [(A_{535nm} - A_{700nm}) / \epsilon] \times (\text{total volume of extract} / 1000) \times \text{MW} (1 / \text{sample wt}) \times 10^6 \quad (2)$$

Where C is the concentration of total anthocyanin expressed as milligrams of cyanidin-3-glucoside (mg C3G) per kilogram of sample;  $\epsilon$  is the molar absorptivity for cyanidin-3-glucoside ( $25965 \text{ cm}^{-1}\text{mol}^{-1}$ ) and MW is the molecular weight of cyanidin-3-glucoside, 449 Da.

### 2.7 Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC)

Antioxidant capacity was evaluated following the TEAC-DPPH method (Brand-Williams et al., 1995; Fukumoto & Mazza, 2000). A calibration curve of 1 mM Trolox was used. The extracts were prepared in darkness using a procedure similar to that described for the determination of phenolics content, except that absolute methanol was used. An aliquot of 600  $\mu\text{L}$  of DPPH in methanol was added to 100  $\mu\text{L}$  of extract. The mixture was allowed to stand at room temperature in the dark for 20 min, after which absorbance at 515 nm was measured using a spectrophotometer (BioMate 3, Thermo Fisher Technologies, Wisconsin, USA). Results were expressed as micromoles of Trolox equivalents per gram of sample ( $\mu\text{mol TE/g}$ ). This determination was performed in triplicate for each extract.

### 2.8 Breaking force

Tortilla chip texture was evaluated using a texture analyzer with a Kramer shear cell. A 454-gram load cell was used. The probe of the cell traveled at 5 cm/min. One piece of tortilla chip was placed in the Kramer shear cell for testing. Breaking forces until peak values were obtained from time-deformation curves.

## 2.9 Statistical analyses

All results were expressed as means  $\pm$  standard deviation values ( $n=3$ ). Statistical comparisons between two groups were made by using Student's *t* test. With several groups, one-way analysis of variance was used; Tukey's analyses ( $p<0.05$ ) were applied for means with significant differences, and Pearson correlation was calculated. The data were analyzed using the GraphPad Prism Version 5.0 software package (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA).

## 3 Results and discussion

### 3.1 Color determinations

Tortilla chips (TC) darkened as added HP level increased (Table 1) in the formulation. TC presented  $L^*$  values ranging from 30 to 59, similar values were reported for fleshed cooked huitlacoche (Martínez-Flores et al., 2008). Positive  $a^*$  values were observed, corresponding to different tonalities of red, and these values were higher as HP was added, than those of the nixtamalized flours, thus, indicating the presence of a greenish tint in the latter, which is attributable to the nixtamalization process. The best blue maize varieties for the elaboration of naturally tinted nixtamalized products are those which present the least change in the  $a^*$  value after nixtamalization (Salinas-Moreno et al., 2003). In all of the raw materials measurements, positive  $b^*$  values were observed too; the HP addition increased the  $b^*$  (yellowness) values as well. Sánchez-Madrigal et al. (2014) reported values of 30.25-31.43  $L^*$ , 7.78-11.97  $a^*$  and 2.18-8.3  $b^*$  for blue corn tortilla chips.  $L^*$  values decreased as compared to nixtamalized corn flours. During the alkaline cooking process anthocyanins are destroyed, mainly in maize with pigment in the pericarp. In the blue grain maize, the nixtamalization process provokes darkening of the flour, whereas in the case of red maize, the process does not affect the color. Nixtamalization modifies the anthocyanin pattern, thus increasing the relative percentage of the 3-glucoside anthocyanin in blue maize varieties

**Table 1.** Color of blue-corn tortilla chips added with huitlacoche.

Tortilla Chip	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$
CTC-0	43.2 $\pm$ 1.87ab	3.14 $\pm$ 0.32abc	6.9 $\pm$ 1.61e	52.6 $\pm$ 6.58ab
CTC-3	39.9 $\pm$ 3.21bcd	3.36 $\pm$ 0.37abc	10.7 $\pm$ 1.89cd	45.0 $\pm$ 3.39a
CTC-6	35.7 $\pm$ 3.54cd	3.75 $\pm$ 0.38a	13.1 $\pm$ 0.61ab	57.4 $\pm$ 3.38a
CTC-9	29.8 $\pm$ 1.17e	3.80 $\pm$ 0.18a	11.4 $\pm$ 0.29abc	59.4 $\pm$ 3.70a
XTC-0	46.1 $\pm$ 4.78a	2.19 $\pm$ 0.85f	7.4 $\pm$ 0.82e	46.8 $\pm$ 3.69b
XTC-3	42.1 $\pm$ 6.22abc	2.45 $\pm$ 0.48ef	11.1 $\pm$ 2.09abc	52.7 $\pm$ 6.45ab
XTC-6	37.9 $\pm$ 2.69bcd	2.80 $\pm$ 0.28de	13.6 $\pm$ 0.80a	56.0 $\pm$ 2.36a
XTC-9	36.3 $\pm$ 3.36cd	2.88 $\pm$ 0.35cde	12.8 $\pm$ 0.84ab	56.4 $\pm$ 4.38a
TM1-0	42.1 $\pm$ 2.16abc	3.72 $\pm$ 0.40ab	3.8 $\pm$ 0.90f	53.5 $\pm$ 3.85ab
TM1-3	40.5 $\pm$ 3.61abcd	3.55 $\pm$ 0.23a	9.0 $\pm$ 0.98de	52.6 $\pm$ 4.23ab
TM1-6	36.5 $\pm$ 1.95cd	3.42 $\pm$ 0.19abc	10.3 $\pm$ 0.98cd	58.5 $\pm$ 1.29a
TM1-9	34.3 $\pm$ 1.58d	3.38 $\pm$ 0.21abc	10.3 $\pm$ 0.92cd	56.0 $\pm$ 3.98a
TM2	41.1 $\pm$ 1.16abc	3.69 $\pm$ 0.35ab	3.5 $\pm$ 0.60f	52.5 $\pm$ 3.15ab

Abbreviations:  $L^*$  (brightness or lightness, 100=perfect white, 0=black),  $a^*$  [greenness (negative) to redness (positive)],  $b^*$  [blueness (negative) to yellowness (positive)],  $\Delta E$  [total difference between reference (white tile) and sample color], CTC (conic corn tortilla chip), XTC (creole corn tortilla chip), TM1 (commercial flour tortilla chip), TM2 (commercial blue corn tortilla chip); 0, 3, 6 and 9% of huitlacoche paste (HP) added. Results presented as mean ( $n=3$ )  $\pm$  standard deviation; means with the same letter in the same column are not significantly different ( $P<0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.

(Salinas-Moreno et al., 2003). The frying or baking processes cause darkening due to the Maillard reaction or caramelization (Maga & Liu, 1993; Buttery & Ling, 1995).

### 3.2 Breaking force

Fracture forces for baked chips were significantly different among the different blue corn flours used ( $P < 0.05$ ). CTC showed the highest resistance to fracture or hardness (22.84-27.54 kgf); and XTC formulations showed less resistance to fracture (13.10-20.91 kgf); this difference can be attributed to the formation of complexes of starch with calcium resulting in a more compact molecule and therefore harder tortilla chips (Gomez et al., 1991; Zazueta-Morales et al., 2002). TM1 had the lowest value (8.72-16.25 kgf) and this may be due to the additives (carboxymethyl cellulose and/or guar gum) declared in the label. Fracture force was inversely correlated to protein content ( $r = -0.879$ ) and directly to oil content ( $r = 0.952$ ). Singh et al. (1996) reported that the force required to compress the product increased in direct proportion to the soya flour in the dough. The texture properties of tortilla chips is related to the removal of moisture during the baking process at high temperatures, which leads to the formation of larger air cells and cracks in the structure resulting in low fracture force values (Sánchez-Madrigal et al., 2014). This is because at high temperatures, large cracks are formed due to the quick vaporization and diffusion of moisture through the pores (Kayacier & Singh, 2003). High peak load force values (50 to 140 kgf) were reported in baked tortilla chips made from commercial nixtamalized instant-masa flours (not blue color) (Kayacier & Singh, 2003). Plascencia-González et al. (1999) produced corn tortilla chips from lime-cooked blue maize with good sensory characteristics (color, flavor and texture).

The texture properties of tortilla chips is related to the removal of moisture during the baking process at high temperatures, which leads to the formation of larger air cells and cracks in the structure resulting in low fracture force values (Sánchez-Madrigal et al., 2014). This is because at high temperatures, large

cracks are formed due to the quick vaporization and diffusion of moisture through the pores (Kayacier & Singh 2003).

Huitlacoche addition influences the breaking force as the addition increases, the high content of dietary fiber (54-64% db) of huitlacoche (Valverde et al., 1995; Beas et al., 2011) may influence the water absorption index. The boiling temperature of water inside the sample increased quickly at high temperature and high pressure causing larger cracks (Kayacier & Singh, 2003).

### 3.3 Proximate analyses

Some chemical characteristics of tortilla chips were also evaluated (Table 2). Crude fat was reduced as huitlacoche increased. Protein content of tortilla chips did not change significantly with the addition of huitlacoche ( $P < 0.05$ ), but it showed significant differences among raw materials. XTC showed the lowest amount of crude protein (6%) while commercial tortilla chips showed the highest. Total dietary fiber and crude fiber were incremented by the HP addition ( $P < 0.05$ ); total dietary fiber content was influenced by the flour used and by the addition of HP. Commercial tortilla chips (TM2) reported 5.5% of TDF in the label, while the treatments almost tripled this value, as CTC-9 shows. Levels of 2.9 g oil/100 g sample, 12.4 g protein/100 g and 54-64% total dietary fiber have been reported for raw huitlacoche (Beas et al., 2011), while those reported for blue corn were 4.2-4.8% oil and 9.5-10.4% protein, respectively (Salinas-Moreno et al., 2013). Crude fat was negatively correlated to anthocyanin content ( $r = -0.7430$ ) because these pigments are water soluble (Wrolstad et al., 2005).

### 3.4 Total soluble phenolics, anthocyanin content and TEAC

The functional properties of raw materials were evaluated (Table 3). Nixtamalization did not result in significant differences ( $P < 0.05$ ) in total soluble phenolics contents; from grains to nixtamalized corn flours, these contents ranged from 84 to 92 mg GAE/100 g sample (db). Huitlacoche decreased its phenolics content from 538 to 393 mg GAE/100 g sample (db)

**Table 2.** Crude fat, protein, fiber and moisture contents of tortilla chips.

Tortilla Chip	Crude Fat (%)	Crude Protein (%)	Total Dietary Fiber (%)	Moisture Content (%)
CTC-0	3.20±0.12f	10.1±0.04b	10.34±0.01f	2.87±0.01c
CTC-3	3.08±0.09f	10.1±0.02b	13.00±0.01c	2.68±0.01de
CTC-6	2.70±0.04g	10.2±0.11b	13.54±0.01b	2.48±0.01ef
CTC-9	2.48±0.01h	10.0±0.04b	14.54±0.01 <sup>a</sup>	2.28±0.01f
XTC-0	3.61±0.03b	6.50±0.01d	7.97±0.01j	3.00±0.02cd
XTC-3	3.48±0.03b	6.68±0.09cd	9.67±0.01g	2.87±0.13cd
XTC-6	3.21±0.04c	6.69±0.10cd	10.97±0.01e	2.62±0.15de
XTC-9	2.93±0.18d	6.76±0.02c	11.72±0.01d	2.50±0.02ef
TM1-0	2.44±0.14c	8.38±0.07g	5.27±0.01m	3.81±0.13a
TM1-3	2.30±0.18cd	8.56±0.03f	6.93±0.01k	2.92±0.07cd
TM1-6	1.92±0.09e	8.57±0.05f	8.90±0.01i	2.77±0.15de
TM1-9	1.69±0.02f	8.75±0.00e	9.20±0.01h	2.98±0.10cd
TM2	5.55±0.03a	11.1±0.10a	5.55±0.01l	2.70±0.07b

Abbreviations: CTC (conic corn tortilla chip), XTC (creole corn tortilla chip), TM1 (commercial flour tortilla chip), TM2 (commercial blue corn tortilla chip); 0, 3, 6 and 9% of huitlacoche paste (HP) added. Results presented as mean (n=3) ± standard deviation; means with the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.

as an effect of the cooking process. Previously reported values in raw huitlacoche include 390-640 mg GAE/100 g for total soluble phenolics (Beas et al., 2011). Compared to other foods, huitlacoche presented higher soluble phenolics content than some bean varieties (141-198 mg/100 g db) (Vinson et al., 2001).

Thermal processing resulted in losses of anthocyanins during nixtamalization. CG and XG showed anthocyanin contents of 287.2 and 336.0 mg C3GE/kg, respectively; those values decreased dramatically to 78.6 and 21.8 mg C3GE/kg for the NCF and NXF nixtamalized flours, respectively. As a reference, NMF showed 102.1 mg C3GE/kg. Anthocyanin losses were probably influenced by the grain type; XG, a soft grain corn, lost more anthocyanin than CG, which has harder grains. Some researchers have found different anthocyanin concentrations in pigmented corn grains ranging from low content (10-33 mg C3GE/kg), medium content (60-159 mg C3GE/kg) to high content (324-3045 mg C3GE/kg) (Agama-Acevedo et al., 2004; Abdel-Aal et al., 2006; Del Pozo-Insfran et al., 2006; López-Martínez & García-Galindo, 2009; López-Martínez et al., 2011; Escalante-Aburto et al., 2013). FH and HP showed no significant differences in anthocyanin contents (Table 3). Beas et al. (2011) reported anthocyanin levels in huitlacoche from 71 to 226 mg/kg C3EG (db).

The raw materials showed significant differences in antioxidant capacity (Table 3). Fresh huitlacoche and its paste had the highest TEAC values: 88.8 and 64.4  $\mu\text{mol TE/g}$  sample, respectively. Among blue-corn grains and nixtamalized flours, creole grains (XG) and their nixtamalized flour (NXF) had the highest TEAC (16.3 and 17.0  $\mu\text{mol TE/g}$ , respectively).

Total soluble phenolics contents in tortilla baked chips were significantly different among the various blue-corn masas analyzed ( $P < 0.05$ ; Figure 1). HP increased the total soluble phenolics content as it was increased from 0 to 9% (db) in the three nixtamalized corn flours used. CTC showed increasing total phenolics levels of 17.52, 20.46, 26.01 and 36.08 mg GAE/100 g sample as the HP was added at 0, 3, 6 and 9%, respectively; similar behaviors were shown by XTC and TM1. As a reference, the commercial tortilla chip (TM2) contained 20.5 mg GAE/100 g of sample.

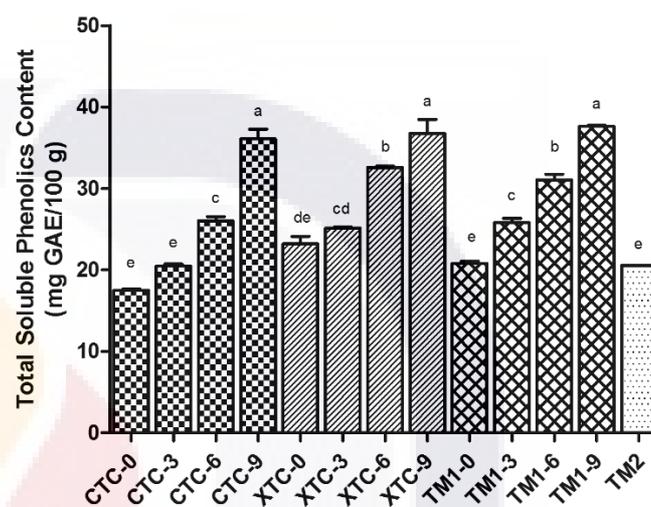
**Table 3.** Total soluble phenolics, anthocyanin content and Trolox equivalent antioxidant capacity of raw materials.

Sample	Total Soluble Phenolics Content (mg GAE/100 g)	Anthocyanin Content (mg C3GE/kg)	TEAC ( $\mu\text{mol TE/g}$ )
CG	84.74 $\pm$ 2.48c	287.2 $\pm$ 7.44b	8.5 $\pm$ 0.02g
XG	88.33 $\pm$ 0.65c	336.0 $\pm$ 13.90a	16.3 $\pm$ 0.00d
NCF	86.34 $\pm$ 1.53c	78.6 $\pm$ 1.73d	8.9 $\pm$ 0.00f
NXF	92.44 $\pm$ 1.27c	21.8 $\pm$ 1.70e	17.0 $\pm$ 0.00c
TM1	85.66 $\pm$ 4.30c	102.1 $\pm$ 6.53c	9.3 $\pm$ 0.00e
FH	538.34 $\pm$ 29.22a	30.4 $\pm$ 0.86e	88.8 $\pm$ 0.00a
HP	393.25 $\pm$ 3.79b	30.3 $\pm$ 1.91e	64.4 $\pm$ 0.01b

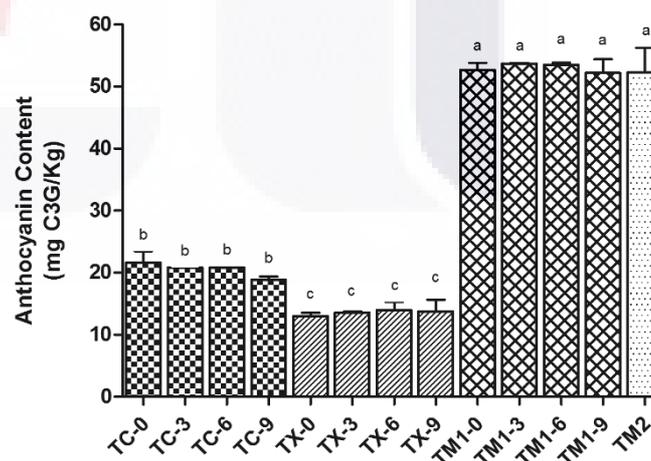
Abbreviations: GAE (gallic acid equivalents), C3GE (cyanidin-3-glucoside equivalents), TEAC (Trolox equivalent antioxidant capacity), TE (Trolox equivalents), CG (conic grain), XG (creole grain), NCF (nixtamalized conic corn flour), NXF (nixtamalized creole corn flour), TM1 (nixtamalized commercial flour), FH (fresh huitlacoche), HP (huitlacoche paste). Results presented as mean ( $n=3$ )  $\pm$  standard deviation; means with the same letter in the same column are not significantly different ( $P < 0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.

Some studies have reported that the presence of polyphenolics such as catechin and free forms of ferulic acid in corn flours contribute to the antioxidant activity (De la Parra et al., 2007; López-Martínez et al., 2009).

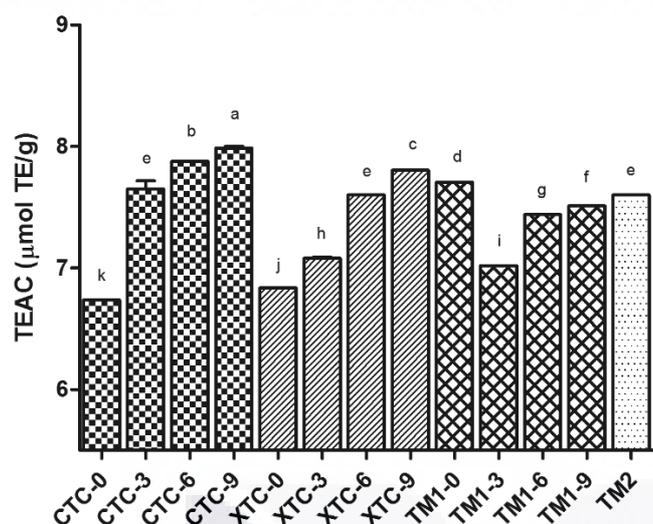
Total anthocyanin contents in baked tortilla chips were significantly different among the various nixtamalized blue-corn flours ( $P < 0.05$ ; Figure 2). However, HP did not modify the total anthocyanin content as it was added from 0 to 9% (db) in the nixtamalized corn flours used. TM1 and TM2 showed the highest contents (49.48-55.10 mg C3GE/kg).



**Figure 1.** Total soluble phenolics in tortilla chips added with huitlacoche at 0, 3, 6 and 9% (db). GAE (gallic acid equivalents), CTC (conic corn tortilla chip), XTC (creole corn tortilla chip), TM1 (commercial flour tortilla chip), TM2 (commercial blue corn tortilla chip); 0, 3, 6 and 9% of huitlacoche paste (HP) added. Means ( $n=3$ ) with the same letter are not significantly different ( $P < 0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.



**Figure 2.** Anthocyanin contents in tortilla chips added with huitlacoche at 0, 3, 6 and 9% (db). C3GE (cyanidin-3-glucoside equivalents), CTC (conic corn tortilla chip), XTC (creole corn tortilla chip), TM1 (commercial flour tortilla chip), TM2 (commercial blue corn tortilla chip); 0, 3, 6 and 9% of huitlacoche paste (HP) added. Means ( $n=3$ ) with the same letter are not significantly different ( $P < 0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.



**Figure 3.** Trolox equivalent antioxidant capacity (TEAC) for tortilla chips added with huitlacoche at 0, 3, 6 and 9% (db). TE (Trolox equivalents), CTC (conic corn tortilla chip), XTC (creole corn tortilla chip), TM1 (commercial flour tortilla chip), TM2 (commercial blue corn tortilla chip); 0, 3, 6 and 9% of huitlacoche paste (HP) added. Means ( $n=3$ ) with the same letter are not significantly different ( $P<0.05$ ), Student-Newman-Keuls analysis.

Figure 3 shows that TEAC values for baked tortilla chips were significantly different among the different formulations with HP ( $P<0.05$ ). HP increased the antioxidant capacity of the tortilla chips as it was added at 3, 6 and 9% (db) to the three nixtamalized corn flours. The antioxidant capacity of CTC increased as the HP was added, showing values of 6.74, 7.72, 7.88 and 7.98  $\mu\text{mol TE/g}$  sample at 0, 3, 6 and 9% of addition, respectively. XTC increased as well from 6.84 to 7.80  $\mu\text{mol TE/g}$  sample. TM1 showed a different behavior, TM1-0 had 7.70  $\mu\text{mol TE/g}$  sample, then the antioxidant capacity decreased in TM1-3 down to 7.02  $\mu\text{mol TE/g}$  sample, and incrementing again from 7.44  $\mu\text{mol TE/g}$  sample in TM1-6 up to 7.51  $\mu\text{mol TE/g}$  sample in TM1-9. As a reference, the commercial tortilla chip (TM2) had 7.59  $\mu\text{mol TE/g}$  sample. TM2 declared in the label: nixtamalized blue corn flours, salt (1%) and tocopherols (natural antioxidant). TEAC was negatively correlated to the  $L^*$  parameter ( $r = -0.7382$ ), while total soluble phenolics content was negatively correlated to  $L^*$  ( $r = -0.7722$ ) and positively to  $b^*$  values ( $r = 0.7038$ ); the addition of HP and its black color influenced  $L^*$ ; on the other hand  $b^*$  may have been influenced by blue corn. Sánchez-Madriral et al. (2014) reported antioxidant capacities from 0.5 to 1.2  $\mu\text{mol TE/g}$  in blue corn tortilla chips from extruded flours containing different sources of calcium.

Several works have also found that nixtamalization significantly reduces the total polyphenol content, antioxidant activity and anthocyanin content in corn and corn products, due to the thermal-alkaline process and by the leaching of these same compounds to the nejayote (Salinas-Moreno et al., 2003; Del Pozo-Insfran et al., 2006; De la Parra et al., 2007; Mora-Rochin et al., 2010).

Meanwhile, López-Martínez et al. (2011) found a decrease in anthocyanins and phenolics due to the alkaline heat treatment in

some varieties, and demonstrating that the loss of anthocyanins is associated with the variety of corn used; these authors also reported an increase in antioxidant capacity after cooking the tortilla dough preparation, due likely to an increase in soluble phenolics. Snacks produced with colored flour had 2–3 times higher antioxidant activities, 40% higher contents of polyphenols, attractive color and better expansion compared to control samples (Nemš et al., 2015).

Anthocyanin and phenolic contents have shown a high correlation with antioxidant activity and color of tortilla chips (Sánchez-Madriral et al., 2014), however, in our work the commercial flour and tortilla chips showed no correlation among those parameters. Mexican official regulation (NOM-187-SSA1/SCFI-2002; México, 2003) allows for the addition of a mixture of artificial colors; their sum should not exceed 500 mg/kg of product in tortillas; for tortilla chips, brilliant blue FCF1 is allowed (300 mg/kg maximum), and for flours no color addition is allowed.

#### 4 Conclusions

The huitlacoche fungus is a valuable source of phenolic compounds and antioxidants. Its application as ingredient in the formulation of baked snacks resulted in an increase in the phenolic and in the antioxidant properties when compared to the controls without huitlacoche and to commercial tortilla chips. However, the heat treatment applied in precooking pieces and convection oven promoted loss of phenolic compounds, anthocyanins and antioxidant capacity. The functional, physicochemical and structural properties of tortilla chips changed significantly with the addition of huitlacoche (*Ustilago maydis*). The functional properties of tortilla chips were enhanced because of the huitlacoche phytochemical contents, which are related to health benefits. Thus, huitlacoche can be used as ingredient in the formulation of baked corn snacks generating products richer in antioxidants, phenolic compounds and fiber.

#### Acknowledgements

We thank financial support from CONACyT-México to KYAR, from Universidad Autónoma de Aguascalientes (proj. PIBT11-4 and PIBT14-2), and PROMEP, Secretaría de Educación Pública, México. Technical support from José Juan Vélez Medina, Edmundo Gutiérrez Arias, José Eleazar Urbina Álvarez and CINVESTAV-Unidad Querétaro is also acknowledged.

#### References

- Abdel-Aal, E. S. M., & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chemistry*, 76(3), 350-354. <http://dx.doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.3.350>.
- Abdel-Aal, S. M., Young, J. C., & Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(13), 4696-4704. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0606609>. PMID:16787017.
- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, M. I., Paredes-López, O., Ortíz-Cereceres, J., & Bello-Pérez, L. A. (2004). Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón

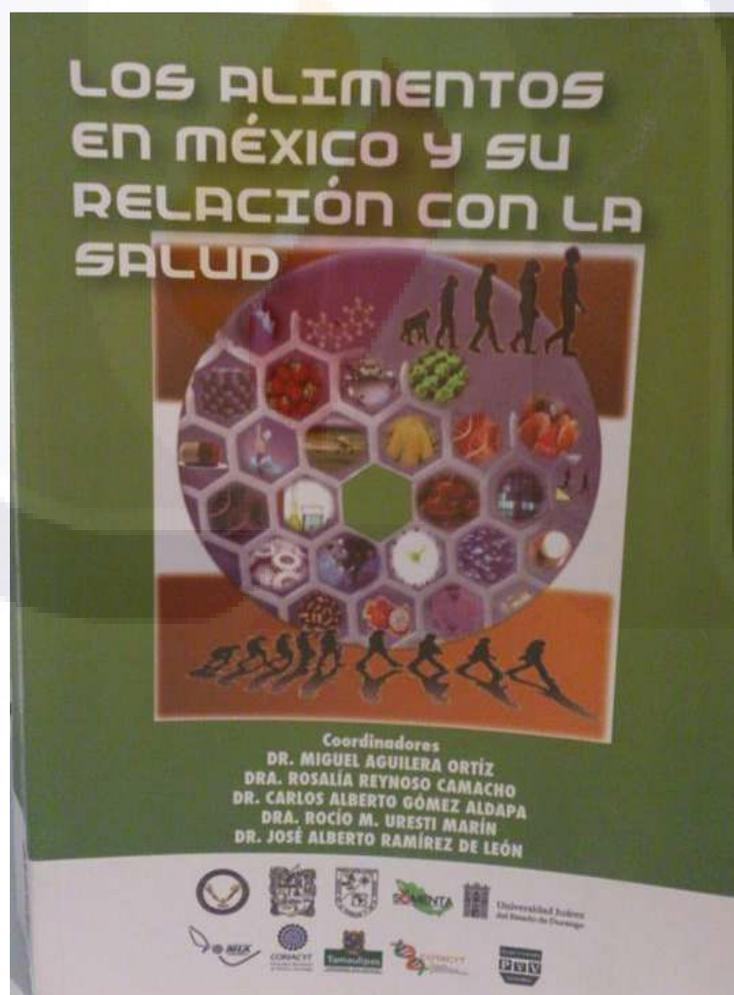
- de variedades pigmentadas de maíz. *Interciencia*, 29(11), 643-649. Retrieved from [http://www.interciencia.org/v29\\_11/index.html](http://www.interciencia.org/v29_11/index.html)
- American Association of Cereal Chemists – AACC International. (1999). *Approved methods of analysis* (11th ed.). St. Paul: AACC International. Retrieved from <http://methods.aaccnet.org/default.aspx>
- Beas, F. R., Guevara, L. F., Vasco, M. N. L., Loarca, P. G., Rodríguez, M. G., & Guzmán, M. S. H. (2011). Potencial nutraceutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 42(2), 36-44. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcf/v42n2/v42n2a6.pdf>
- Bölker, M. (2001). Ustilago maydis - a valuable model system for the study of fungal dimorphism and virulence. *Microbiology-SGM*, 147(6), 1395-1401. Retrieved from <http://mic.sgmjournals.org/content/147/6/1395.full>
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 28(1), 25-30. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643895800085>
- Buttery, R. G., & Ling, L. C. (1995). Volatile flavor components of corn tortillas and related products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(7), 1878-1882. <http://dx.doi.org/10.1021/jf00055a023>.
- De la Parra, C., Saldívar, S. O. S., & Liu, R. H. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4177-4183. <http://dx.doi.org/10.1021/jf063487p>. PMID:17455952.
- Del Pozo-Insfran, D., Brenes, C. H., Serna Saldívar, S. O., & Talcott, S. T. (2006). Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays* L.) products. *Food Research International*, 39(6), 696-703. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.014>.
- Escalante-Aburto, A., Ramírez-Wong, B., Torres-Chávez, P. I., Figueroa Cárdenas, J. D., López-Cervantes, J., Barrón-Hoyos, J. M., & Morales-Rosas, I. (2013). Effect of extrusion processing parameters on anthocyanin content, physicochemical properties of nixtamalized blue corn expanded extrudates. *CyTA-Journal of Food*, 11(S1), 29-37. <http://dx.doi.org/10.1080/19476337.2013.764929>.
- Fukumoto, L. R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3597-3604. <http://dx.doi.org/10.1021/jf000220w>. PMID:10956156.
- Gomez, M. H., Waniska, R. D., & Rooney, L. W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chemistry*, 68(6), 578-582. Retrieved from [http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1991/Documents/68\\_578.pdf](http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1991/Documents/68_578.pdf)
- Grupo Villamex (2003). *Manual de operación y mantenimiento: máquina modelo V-100 Tlayuda a 2 bandas de comales*. (pp. 1-10). Guadalajara: Grupo Villamex.
- He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 163-187. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>. PMID:22129334.
- Heinonen, I. M., Meyer, A. S., & Frankel, E. N. (1998). Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10), 4107-4112. <http://dx.doi.org/10.1021/jf980181c>.
- Juárez-Montiel, M., Ruiloba de León, S., Chávez-Camarillo, G., Hernández-Rodríguez, C., & Villa-Tanaca, L. (2011). El huitlacoche (tizón del maíz), causado por el hongo fitopatogénico Ustilago maydis, como alimento funcional. *Revista Iberoamericana de Micología*, 28(2), 69-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riam.2011.01.001>. PMID:21352944.
- Kayacier, A., & Singh, R. K. (2003). Textural properties of baked tortilla chips. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 36(5), 463-466. [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(02\)00222-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(02)00222-0).
- López-Martínez, L. X., & García-Galindo, H. S. (2009). Actividad antioxidante de extractos metanólicos y acuosos de distintas variedades de maíz mexicano. *Nova Scientia*, 2-1 (3), 51-65. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203314886004>
- López-Martínez, L. X., Oliart-Ros, R. M., Valerio-Alfaro, G., Lee, C.-H., Parkin, K. L., & García, H. S. (2009). Antioxidant activity, phenolic compounds and anthocyanins content of eighteen strains of Mexican maize. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 42(6), 1187-1192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2008.10.010>.
- López-Martínez, L. X., Parkin, K. L., & García, H. S. (2011). Phase II-inducing, polyphenols content and antioxidant capacity of corn (*Zea mays* L.) from phenotypes of white, blue, red and purple colors processed into masa and tortillas. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(1), 41-47. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-011-0210-z>. PMID:21327968.
- Maga, J. A., & Liu, M. B. (1993). Hopi blue corn extrusion. *Developments in Food Science*, 32, 983-986.
- Martínez-Flores, A., Corrales-García, J. J., Espinosa-Solares, T., García-Gatica, P. G., & Villanueva-Verduzco, C. (2008). Cambios postcosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (D. C.) Corda). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 14(3), 339-346. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v14n3/v14n3a16.pdf>
- McDonough, C. M., Gomez, M. H., Rooney, L. W., & Serna-Saldívar, S. O. (2001). Alkaline-cooked corn products. In E. W. Lusas & L. W. Rooney (Eds.), *Snack foods processing* (Chap. 4, pp. 73-113). Boca Raton: CRC Press. Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/doi/pdf/10.1201/9781420012545.ch4>
- Mehta, S. P. (2001). Tortilla chip processing. In E. W. Lusas & L. W. Rooney (Eds.), *Snack foods processing* (Chap. 10, pp. 261-280). Boca Raton: CRC Press. Retrieved from <http://www.crcnetbase.com/doi/pdfplus/10.1201/9781420012545.ch10>
- México, Secretaría de Salud. (2003, August 18). *Norma Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. Retrieved from [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=691995&fecha=18/08/2003)
- Mora-Rochin, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 502-508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>.
- Nemś, A., Pęksa, A., Kucharska, A. Z., Sokół-Łętowska, A., Kita, A., Drożdż, W., & Hamouz, K. (2015). Anthocyanin and antioxidant activity of snacks with coloured potato. *Food Chemistry*, 172, 175-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.033>. PMID:25442540.
- Plascencia-González, G., Martínez-Bustos, F., Salinas-Moreno, Y., Sánchez-Sinencio, F., & Hernández-Montes, A. (1999). Evaluation of pigmented corns in the elaboration of corn and tortilla chips using nixtamalized flours prepared by a hydrothermal process. In *Proceedings of the 10th World Congress of Food Science & Technology*. Sydney, Australia.
- Reis, S. F., & Abu-Ghannam, N. (2014). Antioxidant capacity, arabinoxylans content and in vitro glycaemic index of cereal-based snacks incorporated with brewer's spent grain. *Lebensmittel-Wissenschaft Und-Technologie*, 55(1), 269-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.09.004>.

- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*, 20(7), 933-956. [http://dx.doi.org/10.1016/0891-5849\(95\)02227-9](http://dx.doi.org/10.1016/0891-5849(95)02227-9). PMID:8743980.
- Ruiz-Herrera, J., & Martínez-Espinoza, A. D. (1998). The fungus *Ustilago maydis*, from the aztec cuisine to the research laboratory. *International Microbiology*, 1(2), 149-158. PMID:10943353.
- Salinas-Moreno, Y., & Arellano, V. J. L. (1989). Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 12, 129-135.
- Salinas-Moreno, Y., Aragón Cuevas, F., Ybarra Moncada, C., Aguilar Villarreal, J., Altunar López, B., & Sosa Montes, E. (2013). Caracterización física y composición química de razas de maíz de grano azul/morado de las regiones tropicales y subtropicales de Oaxaca. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(1), 23-31. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v36n1/v36n1a3.pdf>
- Salinas-Moreno, Y., Martínez-Bustos, F., Soto-Hernández, M., Ortega-Paczka, R., & Arellano-Vázquez, J. L. (2003). Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia*, 37(6), 617-628. Retrieved from <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2003/nov-dic/art-7.pdf>
- Sánchez-Madriral, M. A., Quintero-Ramos, A., Martínez-Bustos, F., Meléndez-Pizarro, C. O., & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2014). Effect of different calcium sources on the antioxidant stability of tortilla chips from extruded and nixtamalized blue corn (*Zea mays* L.) flours. *Food Science and Technology*, 34(1), 143-149. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612014000100021>.
- Setchell, K. D. R., & Cassidy, A. (1999). Dietary isoflavones: biological effects and relevance to human health. *The Journal of Nutrition*, 129(3), 758S-767S. PMID:10082786.
- Singh, R., Singh, G., & Chauhan, G. S. (1996). Effect of incorporation of defatted soy flour on the quality of biscuits. *Journal of Food Science and Technology*, 33(4), 355-357.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
- Valdez-Morales, M., Barry, K., Fahey, G. C. Jr, Domínguez, J., de Mejía, E. G., Valverde, M. E., & Paredes-López, O. (2010). Effect of maize genotype, developmental stage, and cooking process on the nutraceutical potential of huitlacoche (*Ustilago maydis*). *Food Chemistry*, 119(2), 689-697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.07.015>.
- Valverde, M. E., Paredes-López, O., Pataky, J. K., Guevara-Lara, F., & Pineda, T. S. (1995). Huitlacoche (*Ustilago maydis*) as a food source-biology, composition, and production. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35(3), 191-229. <http://dx.doi.org/10.1080/10408399509527699>. PMID:7632354.
- Vinson, J. A., Su, X., Zubik, L., & Bose, P. (2001). Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5315-5321. <http://dx.doi.org/10.1021/jf0009293>. PMID:11714322.
- Wrolstad, R. E., Durst, R. W., & Lee, J. (2005). Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. *Trends in Food Science & Technology*, 16(9), 423-428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.03.019>.
- Zazueta-Morales, J. J., Martínez-Bustos, F., Jacobo-Valenzuela, N., Ordórcica-Falomir, C., & Paredes-López, O. (2002). Effects of calcium hydroxide and screw speed on physicochemical characteristics of extruded blue maize. *Journal of Food Science*, 67(9), 3350-3358. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09590.x>.

**ANEXO B**

**CAPÍTULO PUBLICADO EN LIBRO**

Amador Rodríguez, K.Y.; Guevara Lara, F; Pérez Cabrera, L.E.; Posadas Del Río, F.A. (2014). Huitlacoche un alimento funcional. En: M. Aguilera; R. Reynoso; C. Gómez; R. Uresti; J. Ramírez (coord.), Los alimentos en México y su relación con la salud (pp. 415-434). Editorial: Universidad Autónoma de Tamaulipas, Plaza y Valdés Editores.



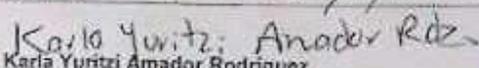
**ANEXO C**

**ESTANCIAS CIENTÍFICAS REALIZADAS**


**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del**  
**Instituto Politécnico Nacional**  
**Unidad Querétaro**  
 ANEXO 10

**Registro de Estancias Académicas**

Datos personales						
Nombre(s): KARLA YURITZI	Apellido paterno: AMADOR	Apellido materno: RODRIGUEZ	CURP: AARK791116E A4MASMDR04			
Institución de procedencia: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE AGUASCALIENTES			Escuela o Facultad : CENTRO DE CIENCIAS BÁSICAS			
Grado: MAESTRIA	Carrera: INGENIERIA AGROINDUSTRIAL		País : MEXICO			
Tel. Particular: 449 153 1829	Tel. Celular: 449 890 8727		Correo electrónico yuriamador@hotmail.co m			
Tipo de estancia:						
Tesis de:	Licenciatura _____		Maestría _____		Doctorado <input checked="" type="checkbox"/>	
	Servicio Social de Nivel: Medio superior _____		Superior _____			
	Residencia Profesional _____		Prácticas Profesionales _____			
	Estancia Investigación <input checked="" type="checkbox"/>					
	Estancia Posdoctoral _____					
	Estancia Sabática _____					
	Verano de la Investigación _____					
	Otro _____					
Nombre del Profesor que fungirá como asesor: DR. FERNANDO MARTÍNEZ BUSTOS			Cuenta con algún apoyo: <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO <small>(Especificar fuente de financiamiento): APOYO ESTANCIA</small>			
Departamento y laboratorio en que realizará la estancia:		LABORATORIO DE REOLOGÍA MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO				
Título de proyecto o tesis:		Desarrollo y evaluación alimentaria y funcional de totopos adionados con huilacoche				
Periodo de la estancia:	Inicio			Término		
	11	11	2013	22	11	2013
	Día	Mes	Año	Día	Mes	Año
¿Cuenta con servicio médico de alguna institución?	Si	X	Nombre de la institución: IMSS			
	No		Deberá acudir a Coordinación Académica para ser afiliado al seguro facultativo del IMSS.			

 Dr. Fernando Martínez Bustos Nombre y firma del profesor asesor	 Dr. J. Gabriela Peña Bárcenas Nombre y firma del Coordinador Académico
 Karla Yuritz Amador Rodríguez Nombre y firma del estudiante	

**Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del  
Instituto Politécnico Nacional**

Esta solicitud se presentará por duplicado y deben anexarse los documentos en el siguiente orden:

En original:

- a. Carta de postulación expedida por la Institución de procedencia o por el tutor miembro de la Unidad.
- b. Carta de exposición de motivos para realizar la estancia en la Unidad.

Copias de:

- a) Identificación personal (credenciales de elector, pasaporte, forma migratoria).
- b) Comprobante de inscripción de la Institución de procedencia.
- c) Seguro Social Facultativo.
- d) CURP
- e) En su caso, carta de aceptación al Verano de la Investigación.
- f) En su caso, carta de Pasante y/o registro de tesis en su Institución de procedencia.
- g) Dos Fotografías tamaño infantil.

- \*Quienes añadan cursos, deberán además tener la boleta de inscripción correspondiente.
- Las prórogas para la estancia de estudiantes externos deberán solicitarse a la CA, con un mes de anticipación.

**ANEXO D**

**PARTICIPACIONES EN CONGRESOS**



La Universidad Autónoma de Aguascalientes  
a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado

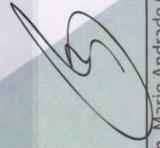
Otorgan la presente

# CONSTANCIA

Fidel Guevara Lara, Karla Yuritzi Amador Rodríguez,  
Laura Eugenia Pérez Cabrera, Fernando Martínez Bustos,  
A: Francisco Aníbal Posadas Del Río, Norma Angélica Chávez Vela,  
Ma. Lorena Sandoval Cardoso

Por su participación como Ponentes con el Trabajo  
"Efecto de la adición de pasta de *huiltacoche* (Ustilago maydis DC Cordal) sobre las propiedades  
físicoquímicas y funcionales de totopos de maíz azul" en la mesa de Ciencias Naturales y Exactas

"Se lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., Junio 2015



M. en Admón. Mario Andrade Cervantes  
Rector



Dra. Gladys Upe Róz Cuéllar  
Directora General de Investigación y Posgrado

La Universidad Autónoma de Aguascalientes  
a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado

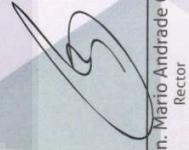
Otorgan el presente

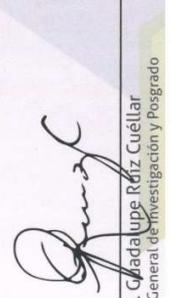
# RECONOCIMIENTO

Fidel Guevara Lara, Karla Yuritzí Amador Rodríguez,  
Laura Eugenia Pérez Cabrera, Fernando Martínez Bustos,  
A: Francisco Aníbal Posadas Del Río, Norma Angélica Chávez Vela,  
Ma. Lorena Sandoval Cardoso

Por su participación como expositores en la Mejor Ponencia titulada  
**"Efecto de la adición de pasta de huitlacoche (Ustilago maydis DC Cordal) sobre las propiedades  
físicoquímicas y funcionales de totopos de maíz azul"** en la mesa de Ciencias Naturales y Exactas

"Se lumen Proferre"  
Aguascalientes, Ags., Junio 2015

  
M. en Admón. Mario Andrade Cervantes  
Rector

  
Dra. Graciela López Roldán Cuéllar  
Directora General de Investigación y Posgrado



ASOCIACION COLOMBIANA  
DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS - ACTA**

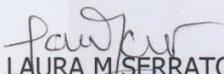
**CERTIFICA QUE**

KY Amador Rodríguez, F. Martínez Bustos, LE Pérez Cabrera,  
FA Posadas Del Río, NA Chávez Vela, y F. Guevara Lara

Presentaron el trabajo "Evaluación funcional y nutricional de tortilla chips de maíz azul horneadas adicionadas con huitlacoche (Ustilago maydis)" de La Universidad Autónoma de Aguascalientes,- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN), El cual fue expuesto en la sala Sur del XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos – CONACTA 2014, realizado en Bogotá del 22 al 24 de Octubre de 2014

Expedido en Bogotá, D.C., el 24 de Octubre de 2014

  
LILIANA NAVARRETE C.  
Directora de Premio

  
LAURA M. SERRATO E.  
Coordinadora Premio



ASOCIACION COLOMBIANA  
DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS - ACTA**

**CERTIFICA QUE**

KY Amador Rodríguez, F. Martínez Bustos, LE Pérez Cabrera,  
FA Posadas Del Río, NA Chávez Vela, y F. Guevara Lara

Presentaron el trabajo "Evaluación funcional y nutricional de tortilla chips de maíz azul horneadas adicionadas con huitlacoche (Ustilago maydis)" de La Universidad Autónoma de Aguascalientes,- Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV-IPN), en la sesión de posters del 12º Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos – CONACTA2014, realizado en Bogotá del 22 al 24 de Octubre de 2014

Expedido en Bogotá, D.C., el 24 de Octubre de 2014

LILIANA NAVARRETE C.  
Directora de Premio

LAURA M SERRATO E.  
Coordinadora Premio

Haga texto



Universidad Veracruzana



Exienden la presente

# Constancia

*K.Y. Amador-Rodríguez, F. Martínez-Bustos, L.E. Pérez-Cabrera,  
F.A. Posadas-Del-Río, N.A. Chávez-Vela, M.L. Sandoval-Cardoso,  
F. Guevara-Lara*

Por su destacada participación en el Trabajo Libre titulado :

**EVALUACIÓN DE COMPONENTES BIOACTIVOS DE  
TOTOPOS DE MAÍZ AZUL HORNEADOS ADICIONADOS  
CON HUITLACOCHÉ (USTILAGO MAYDIS)**

Dentro del:

*CUCCAL 7° Congreso Internacional*

*“Sobre Inocuidad, Calidad y Funcionalidad de los Alimentos en la Industria y Servicios  
de Alimentación”*

*Del 15 al 17 de Octubre de 2014, Boca del Río, Veracruz*



*Dr. Juan Antonio Cortés Ruiz*  
Presidente Nacional de SOMMEICCA AC

*M. en A. Rafael Gómez Rodríguez*  
Director de la Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Veracruzana



La Universidad de Guanajuato y  
La Universidad Autónoma de Nuevo León  
otorgan la presente

# CONSTANCIA

a

Amador Rodríguez-KY, Pérez-Cabrera LE, Posadas-Del Río FA, Chávez-Vela NA, Martínez-Bustos F, Sandoval-Cardoso ML, Guevara-Lara F

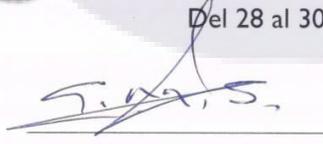
Por su participación con el trabajo

EVALUACION DE UN TOTOPO HORNEADO DE MAÍZ AZUL CON HUITLACOCHÉ  
(USTILAGO MAYDIS)

En el 1er. Congreso Internacional sobre Innovación y Tendencias  
en Procesamiento de Alimentos y el  
XVI Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos



Del 28 al 30 de mayo de 2014 en la ciudad de Guanajuato, Gto.

  
Dr. Gerardo Martínez Soto  
Director del Departamento de Alimentos  
Universidad de Guanajuato

  
Dra. Ma. Guadalupe Alanís Guzmán  
Jefe del Depto. de Alimentos  
Universidad Autónoma de Nuevo León

  
Dra. Ma. del Rosario Abraham Juárez  
Coordinadora del evento



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

Otorga el presente reconocimiento a:

Karla Yuritzí Amador Rodríguez, Laura Eugenia Pérez Cabrera,  
Fernando Martínez Bustos, Francisco Aníbal Posadas del Río,  
Norma Angélica Chávez Vela, Ma. Lorena Sandoval Cardoso, Fidel  
Guevara Lara.

por la presentación del póster:

Evaluación Físicoquímica y Funcional de Totopos de Maíz Azul Nixtamalizado  
Adicionados con Huitlacoche.



**5 CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE NIXTAMALIZACIÓN**

Dra. Cristina Chuck Hernández  
Comité Organizador

Dr. Sergio Serna Saldivar  
Comité Organizador



MONSANTO



Monterrey N.L. México del 7 al 9 de octubre de 2013