



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS

CUANTIFICACIÓN DE LAS VARIACIONES DE LA
PRESENCIA DE ANTOCIANINAS EN HARINA
CRUDA, HARINA NIXTAMALIZADA, TORTILLAS Y
TOTOPOS DE MAÍZ AZUL (*Zea mays*) ORIGINARIO
DE ATLACOMULCO, ESTADO DE MÉXICO,
MÉXICO

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

QUÍMICO DE ALIMENTOS

P R E S E N T A

Juan José Moreno Morales



México D.F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

Presidente: María del Carmen Durán Domínguez

Secretario: Patricia Severiano Pérez

Vocal: María de Lourdes Osnaya Suárez

1^{er} Suplente: Juan Carlos Ramírez Orejel

2^{do} Suplente: Armando Conca Torres

Lugar donde se realizó la tesis:

Laboratorios E-301, 302 y 303, Ingeniería Química Ambiental y Química Ambiental,
Facultad de Química, UNAM

Tutor principal

Dra. en Ing. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa

Asesor Técnico

Dr. Ing. Salvador Alejandro Sanchez Tovar

Sustentante

Juan José Moreno Morales

AGRADECIMIENTOS

AL PAPIME por el apoyo económico para esta investigación.

A la Federación de Productores de Maíz del Estado de México por su interés y apoyo incondicional en el proyecto desarrollado por los Laboratorios de IQAyQA. Al ingeniero Everardo Gómez y a la Ingeniera Matilde Hernández, por facilitarnos el contacto con los productores de maíz negro-azul y, a todos ellos, muchísimas gracias.

A mis asesores de tesis, la Dra. Carmen Durán Domínguez por el apoyo, e impulsar mi crecimiento académico durante la realización de esta investigación; por compartir tantas experiencias de trabajo en los cursos de Operaciones Unitarias de Alimentos I y II, además de ser un ejemplo de vocación de servicio a la Universidad. Al Dr. Salvador Sánchez Tovar por compartirme todo su conocimiento acerca del maíz, sus modificaciones y la elaboración de algunos de sus productos; Aunque el tiempo que trabajamos juntos fue difícil para usted, le agradezco por brindarme su tiempo, abrirme las puertas de su casa y por ese ejemplo de perseverancia ante la vida. Muchas gracias Doc.

A los miembros del jurado, por su tiempo y atención a la presente investigación.

A todos mis profesores, ya que lo que hoy puedo desarrollar es gracias a ellos.

A Montserrat Frías y Osvaldo García, por su apoyo durante la realización de esta investigación.

A mi Familia y amigos

A mi Papá, ya que te has ido, pero nunca nos has abandonado. Gracias por haberme enseñado a pensar antes de actuar, por haber sido de mis mejores amigos, por tus buenos y malos consejos y, sobre todo, y junto con mi madre haber sido el mejor ejemplo de amor eterno. Gracias pá.

A mi Mamá porque este logro se lo debo a tu apoyo incondicional, al gran amor que me tienes, admiro y agradezco todo tu sacrificio por el sustento y mi educación. Eres un gran ejemplo de honestidad y valentía ante la vida y siempre lo llevaré en mi corazón. Te quiero mucho Abuela jajajaja.

A mis hermanos, Arturo y Miguel por crecer y jugar a mi lado, por apoyo, por sus cuidados y todas sus enseñanzas.

A mis tías Consuelo y Marcela, por amarnos tanto, por recibirnos con una sonrisa aunque mi papá ya no este con nosotros y ser el apoyo moral que en ocasiones no puedo ser para mi madre.

A mi tíos Guille y Jesús por ser ángeles en mi vida. Gracias por todo su apoyo tanto a mí, como a mi mamá y a mis hermanos.

A mis tíos José Alfredo Santos y Caty, gracias por su apoyo y cariño, que dios los bendiga.

A mi Abue Angelita, por cuidarme desde pequeño y aguantarme de grande.

A mi tía Juanita y a Pepe por todo su apoyo y buen humor.

A Tania “la niña de la mirada perdida o la punk”, a Yameli y a Diana Denisse Gracias por ser como las hermanas que nunca he deseado tener. Por todo su cariño y sobre todo por escucharme, aconsejarme y cuidarme.

A Azalia, Lula y Paloma, mis niñas, las adoro muchísimo, gracias por abrirme la puerta de su corazón, brindarme todo su cariño, regañarme cuando fue necesario y sobretodo por creer y hacer creer a los demás que soy lindo. Sólo recuerden que anden donde anden, estén o no estén conmigo, siempre tendrán un lugar en mi corazón.

A Pablo, Iván y a Rafa, gracias, por escucharme, mal aconsejarme, por su buen humor, “porque hoy es tu noche mi Juanjo” por tolerar que los haya bajado del carro, y por ser hogosos muchas gracias.

A Sergio y al Manu, porque por su apoyo, mi camino por la Universidad no se prolongó tanto. Gracias por compartir su conocimiento conmigo.

Al buen Jito, que también nos ha dejado, pero sigue viviendo en nuestros corazones. Segurito que anda sonsacando a mi papá.

A mis amigos de la Preparatoria 3. Al buen Rana por enseñarme a amar la camiseta de las Chivas. A Luis Antonio “Raspa” por ser un gran apoyo cuando más lo necesité. Gracias canijo. Al Oso, por siempre mantenerme alegre. Y, finalmente, pero no por eso menos queridos al Capu, al Viru, al Carlos, a la Creti, a Nadia y a Claudia Gracias por dejarme compartir a su lado, esos tres años tan felices en mi vida.

A mis amigos del Fray Martín de Valencia. A Magdalena, gracias por todo tu cariño. A Gustavo y Jorge, Iván, Alfredo, Gerardo, Veranea, Adriana, Hugo, Julio, Jonathan, Ricardo, Antonio, Erick, muchas gracias.

A todos los camaradas que han compartido a mi lado ratos de risas, a la Mom y al Poncholo a Evelyn Marlene, al Polo y al Rod, al Hampshire, a la Grisi, Chilakas y chilakitas, al mike, Anita, Lily, Moni, Dana, Karis, Karen, Gaby, LuzMa, Carlitos “rastudo” Frank, Javier, a la Qska, a la Makaria, al José “gordo”, Lorán, Kiko , Alfredín, al Trompi, Jules, Leo, Danielito, Sandra “dulces”. Muchas gracias.

Al buen Benja “manotas” y a la Señora Irene gracias por tus consejos, tu apoyo, y por tolerarme durante mi estadía en el laboratorio.

A la familia Moreno-Huitrón porque me ha hecho tan feliz, finalmente nos ha regresado algo que sentía, nos habían quitado. Gracias por hacerme tío.

Y, finalmente, Gracias a Dios por permitirme vivir y compartir con todos mis seres queridos este logro.

“Por mi raza hablará el espíritu”
Juan José Moreno Morales

ÍNDICE

	Página
Resumen	15
Glosario de términos	16
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	18
1.1 Planteamiento del problema	18
1.2 Objetivos	20
1.3 Metas	21
1.4 Hipótesis	21
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES	22
2.1 El maíz	22
2.1.1 Características físicas de los granos de maíz	23
2.1.2 Tipos de maíz	25
2.1.3 Valores de producción de maíz amarillo, blanco y azul en México	25
2.1.4 Comparación nutricional de maíz amarillo, blanco y azul	27
2.2 La nixtamalización	28
2.3 La tortilla	29
2.3.1 Proceso de elaboración de tortilla	30
2.3.2 Tortilla elaborada con maíces pigmentados	32
2.3.3 Comparación nutricional entre tres tipos de tortillas de maíz	33
2.4 Proceso de elaboración de totopos nixtamalizados	34
2.5 Las antocianinas	36
2.5.1 Efectos biológicos de las antocianinas	36
2.5.2 Propiedades químicas de las antocianinas	37
2.5.3 Extracción, purificación e identificación de las antocianinas	39
2.5.4 Obtención de antocianinas a nivel planta piloto	40
2.5.5 Estabilidad de las antocianinas	41
2.5.6 Efecto antioxidante de las antocianinas	41
2.5.7 Efecto del pH y de la temperatura en las antocianinas	42
2.5.8 Influencia del oxígeno y la luz sobre las antocianinas	45
2.5.9 Cinética de degradación de las antocianinas en alimentos	45
2.6 Efecto de la nixtamalización sobre los pigmentos naturales del maíz de color.	46
2.7 Contenido de antocianinas en productos de maíz pigmentado	47
2.8 Legislación mexicana sobre el maíz para nixtamalizar, la masa y la tortilla	47

	Página
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA	51
3.1 Cosecha de los maíces negro-azul en Atlacomulco, Estado de México	52
3.2 Pruebas de calidad del grano	53
3.3 Diseño experimental	54
3.4 Proceso de nixtamalización	56
3.5 Elaboración de harinas y pruebas de retención de agua	57
3.6 Elaboración de tortillas	58
3.7 Elaboración de totopos	58
3.8 Extracción y cuantificación de antocianinas totales en harina de maíz crudo, harina de maíz nixtamalizada, tortillas y totopos	59
3.9 Pruebas sensoriales	59
3.10. Análisis bromatológico	59
3.10.1 Determinación de humedad. Método por secado en estufa	61
3.10.2 Humedad empleando una termobalanza	61
3.10.3 Método para cenizas totales	61
3.10.4 Método de Goldfisch	62
3.10.5 Determinación de proteínas. Método de Kjeldhal	62
3.10.6 Determinación de hidratos de carbono	63
3.11 Análisis estadísticos	63
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	64
4.1 Resultados para las pruebas de calidad del grano	65
4.2 Resultados para el proceso de nixtamalización y elaboración de harinas	65
4.3 Resultados para características físicas en la elaboración de tortillas y totopos, evaluadas visualmente	70
4.4 Resultados para la extracción y cuantificación de antocianinas	72
4.4.1 Contenido promedio de antocianinas totales en harina de maíz negro-azul nixtamalizado	74
4.4.2 Contenido promedio de antocianinas totales en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado	75
4.4.3 Contenido promedio de antocianinas totales en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado	78
4.5 Resultados para las pruebas sensoriales	80
4.6 Resultados para el análisis bromatológico	81
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1 Conclusiones	85
5.1.1 Resultados de la primera meta	85
5.1.2 Resultados de la segunda meta	85

5.1.3	Resultados de la tercera meta	86
5.1.4	Resultados de la cuarta meta	87
5.2	Recomendaciones	87
APÉNDICES		
Apéndice A	Cálculo de las concentraciones de antocianinas en las muestras	89
Apéndice B	Análisis estadísticos	92
Apéndice C	Análisis bromatológicos	99
Apéndice D	Acervo fotográfico	105
Apéndice E	Diagramas ecológicos	108
BIBLIOGRAFÍA		110

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS UTILIZADOS

%	Porcentaje
[]	Concentración
[Hum]	Relación grano:agua
[Ant]	Concentración antocianinas totales
A	Proporción grano:agua
Abs	Absorbancia
Andeva	Análisis de varianza
ANOVA	Análisis de varianza, en inglés
b	Cualquier número o cociente (para el análisis de regresión múltiple)
C	Concentración, para el hidróxido de calcio, en porcentaje masa/masa, de cal con respecto al grano de maíz.
CLAR	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés)
CM	Cuadrados medios
CV	Coefficiente de variación
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios (<i>Joint Expert Committee on Food Additives</i>)
Ca(OH) ₂	Hidróxido de calcio
CaO	Óxido de calcio
CLAR	Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC por sus siglas en inglés)
DMS	Diferencia mínima significativa
e	Error experimental
Ea	Energía de activación
Edo	Estado
etc	Etcétera
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (<i>Food and Agriculture Organization</i>)
F calculado	Relación de variación F, calculados para los datos
FQ	Facultad de Química
FCT	Factor de tensión compresión
Fig	Figura
F tablas	Relación de variación críticos teóricos F
g	gramos
gl	Grados de libertad
H	Harinas de maíz
ha	hectárea
hL	Hectolítrico
H ₁	Hipótesis alternativa
H ₀	Hipótesis nula
kg	Kilogramos
kJ	Kilojoules
L	Litros

Lichroprep-RPS	Modelo de columna empleada para análisis en cromatografía líquida de alta resolución
min	minutos
mg	Miligramos
mL	Mililitros
m/m	Relación másica
N	Newton
nm	Nanómetros
NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Totopos de maíz nixtamalizado
PLE	Extracción de líquidos a presión (por sus siglas en inglés)
ppm	Partes por millón
R	Constante universal de los gases
Rel	Relación grano:agua
RMN	Resonancia magnética nuclear
rpm	Revoluciones por minuto
S	Desviación estándar
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SC	Suma de Cuadrados
SCFI	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
SFE	Extracción de fluidos supercríticos (por sus siglas en inglés)
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)
SO ₂	Dióxido de azufre
T	Tortilla de maíz nixtamalizado
t	tiempo
ton	tonelada
UGA	Unidad de Gestión Ambiental
UV-Vis	Detectores que operan en el intervalo ultravioleta-visible
X	Variable independiente
Y	Variable independiente
Z	Variables dependientes
Letras griegas	
α	Nivel de confianza
λ	Longitud de onda
Otros símbolos	
\$	Pesos mexicanos

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
Fig. 2.1	Corte longitudinal y corte transversal de un grano de maíz (Camacho-De-la-Rosa y col., 2007)	24
Fig. 2.2	Proceso tradicional utilizado para elaborar tortillas en México y Centroamérica (Serna-Saldívar, 1996)	31
Fig. 2.3	Harinas de maíz azul en México	33
Fig. 2.4	Diagrama de la producción industrial de productos nixtamalizados (Serna-Saldívar, 1996)	35
Fig. 2.5	Estructura química general de las antocianidinas (Castañeda-Ovando y col., 2008)	37
Fig. 2.6	Posible mecanismo para la estabilización de la cianidina semiquinona (resonancia) (Castañeda-Ovando, y col. 2008)	42
Fig. 2.7	Formas químicas de las antocianinas dependiendo del pH del medio (Castañeda-Ovando y col., 2008)	43
Fig. 2.8	Reacción de degradación de las antocianinas a pH de 6 (Castañeda-Ovando y col., 2008)	43
Fig. 2.9	Degradación de antocianinas por efecto del calor (Rein, 2005)	44
Fig. 2.10	Posible mecanismo de degradación térmica para pelargonidina (Patras y col. 2009)	44
Fig. 2.11	Ecuaciones de la cinética de reacción de las antocianinas (Patras, y col. 2009)	46
Fig. 3.1	Diagrama de bloques de la metodología a seguir	51
Fig. 3.2	a) Federación de Productores de Maíz del Estado de México; b) Cosecha del maíz negro-azul	52
Fig. 3.3	a) Mazorca de maíz negro-azul, Atlacomulco, Estado de México; b) Maíz negro-azul desgranado	52
Fig. 3.4	Gráfica de una superficie de respuesta para una ecuación cuadrática del tipo: $Z = b_0 + b_1C + b_2H + b_3C^2 + b_4A^2 + b_5CA + e$ (donde A es la humedad, C es la concentración y Z es la variable dependiente)	56
Fig. 3.5	Proceso de nixtamalización	57
Fig. 3.6	Molino Estrella	58
Fig. 3.7	Harinas para secado	58
Fig. 3.8	Formato para las pruebas sensoriales	60
Fig. 4.1	Maíz en refrigeración	64
Fig. 4.2	Superficie de respuesta para la variación de la humedad en masas de maíz negro-azul nixtamalizado	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Página
Fig. 4.3	Contorno de respuesta para la variación de humedad en masas de maíz negro-azul nixtamalizado	69
Fig. 4.4	Curva patrón de pelargonidina clorada	72
Fig. 4.5	Superficie de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul nixtamalizado	75
Fig. 4.6	Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul nixtamalizado	75
Fig. 4.7	Superficie de respuesta para la variación en el contenido de antocianinas en tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado	77
Fig. 4.8	Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado	77
Fig. 4.9	Superficie de respuesta para la variación en el contenido de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado	79
Fig. 4.10	Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado	79
Fig. 4.11	Composición química de la harina de maíz negro-azul crudo	82
Fig. 4.12	Composición química de la masa de maíz negro-azul nixtamalizado	83
Fig. 4.13	Composición química de la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado	84
Fig. 4.14	Composición química de totopo de maíz negro-azul nixtamalizado	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
Tabla 2.1	Características de los diferentes tipos de maíz (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)	26
Tabla 2.2	Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2007 (SAGARPA)	26
Tabla 2.3	Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2006 (SAGARPA)	27
Tabla 2.4	Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2005 (SAGARPA)	27
Tabla 2.5	Producción de maíz de color de 2004 a 2007 (SAGARPA)	27
Tabla 2.6	Composición química nutricional de tres tipos de maíz (100 g de alimento crudo en masa neto) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)	28
Tabla 2.7	Composición química nutricional de tres tipos de tortilla de maíz (100 g de alimento crudo en Masa neto) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)	34
Tabla 2.8	Variedad de antocianinas en la naturaleza. Nombres, abreviación, sustituyentes y coloración que presentan (Castañeda-Ovando y col., 2008)	38
Tabla 2.9	Ejemplos de datos obtenidos para degradaciones térmicas cinéticas en alimentos (Patras y col. 2009)	45
Tabla 2.10	Porcentaje de pérdida de antocianina total durante el proceso de nixtamalización en muestras de maíz pigmentado (Salinas-Moreno y col. 2003)	46
Tabla 2.11	Contenido de antocianinas en productos nixtamalizados (Tavera-Hernández, 2007)	48
Tabla 2.12	Especificaciones fisicoquímicas de la cal para nixtamalización (DOF, 2002)	48
Tabla 2.13	Colorantes permitidos en tortillas de maíz nixtamalizado preenvasadas o harinas de maíz nixtamalizado para elaboración de tortillas	49
Tabla 2.14a	Especificaciones de maíz blanco para nixtamalización (DOF, 2002)	49
Tabla 2.14b	Especificaciones de maíz blanco para nixtamalización (DOF, 2002)	50
Tabla 3.1	Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización	54
Tabla 3.2	Diseño experimental	55
Tabla 4.1	Resultados de las pruebas de “peso” hectolítrico, “peso” de mil granos e índice de flotación para maíz blanco y maíz negro azul de Atlacomulco Estado de México	65
Tabla 4.2	Características de las harinas obtenidas bajo distintos métodos de nixtamalización	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
Tabla 4.3	Pruebas de retención de agua en harinas nixtamalizadas de maíz negro-azul	68
Tabla 4.4	Características de los productos elaborados con maíz negro bajo distintos procesos de nixtamalización	71
Tabla 4.5	Curva patrón pelargonidina clorada	72
Tabla 4.6	Contenido promedio de antocianinas en harina cruda, harina nixtamalizada, tortillas y totopos	73
Tabla A.1	Cálculo de la concentración de antocianinas en harinas de maíz negro-azul crudo y nixtamalizado	89
Tabla A.2	Cálculo de la concentración de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado	90
Tabla A.3	Cálculo de la concentración de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado	91
Tabla B.1	Análisis estadístico para la variación de la humedad en masas de harina de maíz negro-azul	93
Tabla B.2	Análisis estadístico para el contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul	94
Tabla B.3	Análisis estadístico para el contenido de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul	95
Tabla B.4	Análisis estadístico para el contenido de antocianinas en totopos de maíz negro-azul	96
Tabla B.5	Resultados pruebas sensoriales. Tortillas	97
Tabla B.6	Resultados pruebas sensoriales. Totopos	98
Tabla C.1	Humedad de la harina de maíz negro-azul crudo	99
Tabla C.2	Humedad de la masa de maíz negro-azul nixtamalizado	99
Tabla C.3	Humedad de la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado	100
Tabla C.4	Humedad del maíz negro-azul totopos	100
Tabla C.5	Determinación de cenizas en el maíz negro-azul crudo	100
Tabla C.6	Determinación de cenizas en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado	101
Tabla C.7	Determinación de cenizas en las tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado	101
Tabla C.8	Determinación de cenizas en el totopo de maíz negro-azul nixtamalizado	101
Tabla C.9	Determinación de grasa en el maíz negro-azul crudo	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Descripción	Página
Tabla C.10	Determinación de grasa en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado	102
Tabla C.11	Determinación de grasa en la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado	102
Tabla C.12	Determinación de grasa en el totopo maíz negro-azul nixtamalizado	103
Tabla C.13	Determinación de proteínas en el maíz negro-azul crudo	103
Tabla C.14	Determinación de proteínas en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado	103
Tabla C.15	Determinación de proteínas en tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado	104
Tabla C.16	Determinación de proteínas en el totopo de maíz negro-azul nixtamalizado	104
Tabla C.17	Determinación de hidratos de carbono por diferencia en cada una de las muestras	104

Resumen

La presente investigación se enfoca a estudiar la variación del contenido de antocianinas en maíz azul (*Zea mays*), originario de Atlacomulco, Estado de México, cuando éste es sometido a una lixiviación alcalina (nixtamalización tradicional), en la cual el pH del medio está entre 12 y 14. En la literatura se ha confirmado que este proceso transforma químicamente más del 70% de las antocianinas presentes en el maíz. La parte experimental del presente estudio se abocó a establecer las mejores condiciones de nixtamalización para obtener productos de maíz, tortillas y totopos, tomando como variable dependiente la menor pérdida de antocianinas. Las variables independientes fueron la concentración de cal durante la nixtamalización con valores de 0.5, 1.0 y 1.5% en masa con respecto a la masa del maíz, así como la proporción de maíz: agua en volumen empleada para el proceso de lixiviación alcalina con proporciones 1:1, 1:2 y 1:3. Se mantuvieron constantes la temperatura de cocción (92°C), el tiempo de cocción (45 min), el tiempo de reposo (16 h) y la proporción de grano a agua para el enjuagado (1:3). En la preparación de las tortillas y los totopos, las condiciones de proceso fueron iguales para todas las muestras. Para la extracción y cuantificación de antocianinas totales de todas las muestras se empleó un proceso ya establecido en la literatura y empleado en distintas investigaciones que consistía en tres extracciones sucesivas de la antocianina empleando una mezcla de disolventes metanol:agua:ácido acético en una proporción 10:9:1 y su cuantificación por espectrofotometría a 520 nm. Se observó un decremento en su contenido debido a las distintas etapas de su elaboración, teniendo con mayor relevancia la pérdida del colorante durante el proceso de lixiviación alcalina del grano; aunque no tan marcada, pero sí existente, sigue siendo la pérdida en el contenido total de las antocianinas durante la producción de tortillas (calor) y de los totopos (calor). Las variables que se manejaron como dependientes durante la realización de las pruebas señalan que la mayor pérdida en el contenido de antocianinas durante la nixtamalización es mayormente afectada por el contenido de hidróxido de calcio que por la cantidad de agua durante el proceso. El mayor contenido de antocianinas retenidas se encontró a concentraciones de 0.5% de hidróxido de calcio (de 154.71 a 104.4 mg/kg, 32.5%), pero sensorialmente las masas producidas eran poco cohesivas y las tortillas se fracturaban al ser enrolladas. A concentraciones de 1.0% de cal, las masas tenían una mejor cohesividad, eran más fácilmente manejables y las tortillas y totopos no se fracturaban fácilmente (las pérdidas fueron de 38.8%). Por tanto, las mejores condiciones de proceso para este tipo de maíz, proveniente de la zona de Atlacomulco fueron una concentración de 1% de cal y una proporción de grano a agua de 1:2. A estas condiciones, las pérdidas de antocianinas en las tortillas fueron de 62% (acumulado) y para los totopos fueron de 72.5% (acumulado).

Palabras clave: Maíz negro o azul, antocianinas, tortillas, totopos, nixtamalización, cocción

Glosario de términos

Aductos: Compuesto formado en una reacción de adición. El término se suele usar para compuestos que se forman por la coordinación entre un ácido de Lewis (aceptor de electrones) y una base de Lewis (donador de electrones).

Aglicona: La porción de un glicósido que no es hidrato de carbono (carbohidrato).

Antocianina: Del griego *anthos* que significa flor y *kianos* que significa azul.

Pseudobase del carbinol: Sistemas derivados del alcohol metílico $\text{CH}_3 \text{OH}$, por el reemplazo de uno o más átomos de hidrógeno por otros grupos.

Catecol: Molécula formada por un anillo de benceno sustituido en las posiciones 1 y 2 por grupos hidroxilo (-OH). Cuando se encuentra unido como radical las posiciones de los grupos hidroxilo son 3 y 4.

Chalcona: Compuesto derivado de los flavonoides, en el cual no hay anillo central heterociclo, sino una cadena abierta.

Flavilio: Ión del compuesto fenil-2-benzopirilio.

Flavonoides: Metabolitos presentes en cualquier vegetal superior, sus funciones en las plantas varían, desde antioxidantes, agentes antimicrobiales, fotorreceptores y protectores, agentes quelantes de metales.

Glicósido: Compuestos acetales de hidratos de carbono (carbohidratos).

Hidroquinona: Compuesto producido por la reducción de la quinona.

Náhuatl: Lengua de los nativos americanos Nahuas, perteneciente a la familia lingüística Uto-Azteca.

Nejayote: Aguas residuales alcalinas y con alta carga orgánica, producto de la cocción del maíz, también del náhuatl *nextli*, cenizas de cal, de *ayoh* caldo o cosa aguada y de *atl* agua, caldo de cenizas de cal.

Nixtamal: Del náhuatl *nextli* o cenizas de cal y *tamalli*, masa de maíz, que quiere decir masa de maíz cocido con cal.

Nixtamalización: (Del náhuatl, *nextli* o cenizas de cal y *tamalli* masa de maíz) proceso de preparación del maíz para consumo humano.

Olote: Corazón o espiga desgranada de la mazorca de maíz. Del náhuatl *yólotl*, corazón.

Quinona: Compuesto formado tras la reacción de oxidación de los fenoles dihidroxílicos.

Semiquinona: Producto de la reacción entre una molécula de quinona y una molécula de hidroquinona (o de su correspondiente derivado disociado) en solución fuertemente alcalina).

Textal: Porción de masa de maíz que se toma con la mano para elaborar una tortilla. Del náhuatl *textli*, harina o masa de maíz.

Tortilla, tlaxcal: Tortilla de maíz. Del náhuatl *tlaxcalli*, que significa “cosa cocida”. Se denominan actualmente tlaxcales a las tortillas gruesas de forma triangular con las que se hacen itacates y tlatlaoyos (incorrectamente conocidos como tlacoyos). Los itacates son la provisión de comida para el camino o tortilla gruesa redonda, del náhuatl *itacatl*, provisión para el camino. Los tlatlaoyos, especie de empanada hecha de una tortilla gruesa de maíz, de forma oblonga o triangular que se rellena con masa de arvejón o frijol o alguna yerba comestible.

Totopo: Trozos de tortilla tostada (actualmente fritos). Del náhuatl *totopochtlic*, cosa muy tostada.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

México es el único país del mundo en el cual se ha desarrollado un proceso *sui generis* para el maíz para consumo humano, ya que el maíz fue domesticado justamente aquí hace más de 8000 años. Además de constituir la base de su dieta, cuenta con establecimientos especializados, como los son los molinos de nixtamal y las tortillerías, donde la población comercializa cotidianamente el alimento. Estos procesos originalmente artesanales han evolucionado desde la década de los 50 del siglo XX industrializándose y produciéndose harinas precocidas, tortillas hechas en forma continua, etc. (Durán-de-Bazúa, 1988).

Tradicionalmente, hasta antes de la década de los 70 del siglo XX cuando México perdió su autosuficiencia alimentaria, solamente se empleaba maíz blanco para la producción de tortillas y otros productos de consumo humano directo. En esa década aciaga para México, se inició la importación de granos forrajeros de baja calidad de color amarillo provenientes principalmente de los EEUU para consumo humano mezclados con el maíz blanco “criollo” (Durán-de-Bazúa, 1988).

En los últimos cinco años se han empezado a introducir en forma masiva maíces pigmentados para la alimentación humana. Hasta antes del año 2004, no se tenían registros acerca de la producción de maíz de color dentro del territorio nacional; sin embargo, es evidente que el consumo de productos elaborados a partir de esta materia prima se ha incrementado de manera gradual desde entonces. Muestra de esto son las estadísticas publicadas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), ya que en el año 2004 se registró una producción de 1,319 toneladas, incrementándose año con año hasta alcanzar una producción en el año 2007 de 115,574.34 toneladas (SIAP, 2007). Este incremento en la producción y consumo de maíz colorido es

debido a que se le atribuyen propiedades funcionales y a que poseen un color exótico y atractivo para los consumidores.

Los pigmentos responsables de la coloración en el maíz son compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides mejor conocidos como antocianinas, las cuales se encuentran distribuidas ampliamente dentro de frutas y verduras como en las uvas, jitomates, arándanos, fresas, papas, etc. Se ha reportado que ejercen efectos benéficos en una multitud de enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos (Katsube y col., 2003). Estas acciones biológicas se han atribuido a sus propiedades antioxidantes, pero ninguna de estas investigaciones fue realizada empleando productos de maíz nixtamalizado como fuente de las antocianinas.

Los consumidores notan coloraciones extrañas y poco uniformes en las tortillas azules que van desde tonos verdosos hasta azul y morado muy intensos, además de que se observan pérdidas repentinas de color al combinarlas con otros alimentos. Esto se debe a que las antocianinas son altamente inestables en una matriz alimenticia. La estabilidad del color es afectada por diversas causas, como el pH, la temperatura, el oxígeno, la luz, enzimas, entre otras (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008).

Durante el proceso de elaboración de tortillas, el maíz es sometido a una lixiviación alcalina (nixtamalización) en la cual el pH del medio es de 12 a 14, proceso en el cual se descomponen químicamente más del 70% de las antocianinas presentes en el maíz. Posteriormente, el maíz es molido y la masa cocinada sobre una superficie que se encuentra a unos 160°C, lo cual provoca que el color del producto cambie paulatinamente en todo el desarrollo de su elaboración. Si el producto no es protegido de la luz solar el color se ve disminuido.

Por ello, la parte experimental de este estudio se enfocó a encontrar las mejores condiciones de nixtamalización y de elaboración de tortillas y de totopos elaborados con maíz azul (o negro, como se le conoce en la zona donde se produce en el estado de México), con las

cuales se tengan una menor pérdida de antocianinas, siendo esto corroborado con su extracción y cuantificación.

1.2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Cuantificar las variaciones de concentración de las antocianinas en maíz negro-azul (*Zea mays*) originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México, nixtamalizado y sus productos, tortillas y totopos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar las concentraciones de antocianinas, como pelargonidina, en harinas crudas de maíz negro-azul (*Zea mays*) originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México
- Cuantificar las concentraciones de antocianinas, como pelargonidina, en harinas nixtamalizadas de maíz negro-azul (*Zea mays*) originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México
- Cuantificar las concentraciones de antocianinas, como pelargonidina, en tortillas de maíz negro-azul (*Zea mays*) nixtamalizado, originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México
- Cuantificar las concentraciones de antocianinas, como pelargonidina, en totopos de maíz negro-azul (*Zea mays*) nixtamalizado, originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México.

1.3. METAS

- 1.3.1 Montaje de la metodología para medir la concentración de antocianinas tipo pelargonidina en harina cruda y nixtamalizada de maíz, en tortillas y totopos, todos de maíz negro-azul (*Zea mays*) originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México.
- 1.3.2 Evaluación del efecto de la adición de diferentes concentraciones de Ca(OH)_2 y la cantidad de agua con respecto a la masa de grano en el proceso de cocción para producir nixtamal, así como en las harinas de tortillas y de totopos.
- 1.3.3 Realización de pruebas sensoriales empleando jueces no entrenados con una escala hedónica para medir el nivel de agrado de los productos elaborados con maíz negro-azul nixtamalizado originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, siendo comparados con sus contrapartes de maíz blanco (control).
- 1.3.4 Realización de análisis bromatológicos de muestras seleccionadas del maíz negro-azul, harinas crudas y nixtamalizadas y de tortillas y totopos.

1.4. HIPÓTESIS

- H_0 : El proceso de nixtamalización tradicional no produce pérdidas en la concentración de antocianina tipo pelargonidina cuando se aplica al maíz negro-azul (*Zea mays*) originario de la zona de Atlacomulco, Estado de México, México.
- H_1 : El proceso de nixtamalización tradicional produce pérdidas de colorantes tipo antocianina cuando se aplica al maíz negro-azul (*Zea mays*), originario de la zona de Atlacomulco Estado de México, México.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 El maíz

El maíz (*Zea mays*) que es, junto con el trigo y el arroz, uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se producen almidón, aceites, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y desde hace unas décadas, combustible (FAO, 1993).

Durante miles de años se ha cultivado permanentemente el maíz en América. La primera evidencia sobre el cultivo del maíz se encuentra en los granos de polen fosilizados que se encontraron en muestras tomadas de los sedimentos que se depositaron en el lago debajo de la Ciudad de México hace más de 8000 años (Dendy y col., 2001). Se sabe que fue el principal cereal cultivado por las culturas prehispánicas de Mesoamérica, como los toltecas, mayas, aztecas y otros (Camacho-de-la-Rosa y col., 2007). La difusión del maíz a partir de su centro de origen en México a varias partes del mundo ha sido tan notable y rápida como su evolución a planta cultivada y productora de alimentos. En el año 2007 fue sembrado en más de 157 millones de hectáreas con una producción de más de 784 millones de toneladas en el mundo (FAOSTAT, 2009), por lo cual constituye el alimento básico de millones de personas en todo el planeta.

En México, con su población de más de 100 millones de habitantes, el maíz es el cereal de mayor producción, al que se destinan más hectáreas de cultivo y el de mayor consumo *per capita* (Serna-Saldívar, 1996). Los granos de maíz nixtamalizados sirven para elaborar diversos alimentos ya sea a partir del primer producto de su molienda en húmedo, la masa o de la harina que se obtiene de la deshidratación y la molienda de la misma. Destacan las tortillas, tostadas, totopos, atole, tamales en todas sus formas y pozole, entre otros, todos de origen prehispánico. Por otra parte, la planta es aprovechada íntegramente desde tiempos remotos, igual se utiliza para hacer imágenes religiosas que para alimentar al ganado; sus hojas sirven para preparar tamales, confeccionar artesanías y juguetes; sus tallos sirven en

la construcción y para elaborar papel. El olote se usa como sustituto del papel higiénico, para hacer desgranadores, pipas, como combustible, etc. Los granos de colores se usan para pintar cuadros y por supuesto, se le reconocen a la planta usos medicinales; por ejemplo, los cabellos del elote son diuréticos y tranquilizantes (Lomelí, 1996).

Botánicamente, el maíz pertenece a la familia de las gramíneas y es una planta anual alta dotada de un amplio sistema radicular fibroso. Se trata de una especie que se reproduce por polinización cruzada y la flor femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) y la masculina (espiguillas) se hallan en distintos lugares de la planta (FAO, 1993).

El consumo de productos de maíz de color se ha incrementado recientemente debido a que se le atribuyen algunas propiedades funcionales y a que poseen un color exótico y atractivo para los consumidores. Los pigmentos responsables de la coloración en el maíz son compuestos fenólicos conocidos mejor como antocianinas, las cuales se encuentran distribuidas ampliamente dentro de frutas y verduras como en las uvas, jitomates, papas, etc. Se ha reportado que ejercen efectos benéficos en enfermedades como el cáncer, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos. Estas acciones biológicas se han atribuido a sus propiedades antioxidantes, pero ninguna de estas investigaciones fue realizada empleando productos de maíz nixtamalizado como fuente de las antocianinas (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008).

2.1.1 Características físicas de los granos de maíz

Los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la adsorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina denominada espiga (FAO, 1993).

El grano de maíz es un fruto completo (cariópside); agrícolamente se le conoce como semilla (Figura 2.1).

El grano está compuesto por las siguientes estructuras (Dendy y col., 2001; Hoseneey, 1991):

- Salvado (pericarpio y cubierta de la semilla): Cubierta del fruto que rodea al endospermo y al germen. Se encuentra fuertemente unido con las células de aleurona. Contiene la mayor parte de la fibra.
- Aleurona: Es la capa exterior del endospermo y contiene las enzimas, y metabolitos proteínicos para iniciar la germinación. Contiene a las antocianinas en el caso de maíces pigmentados.

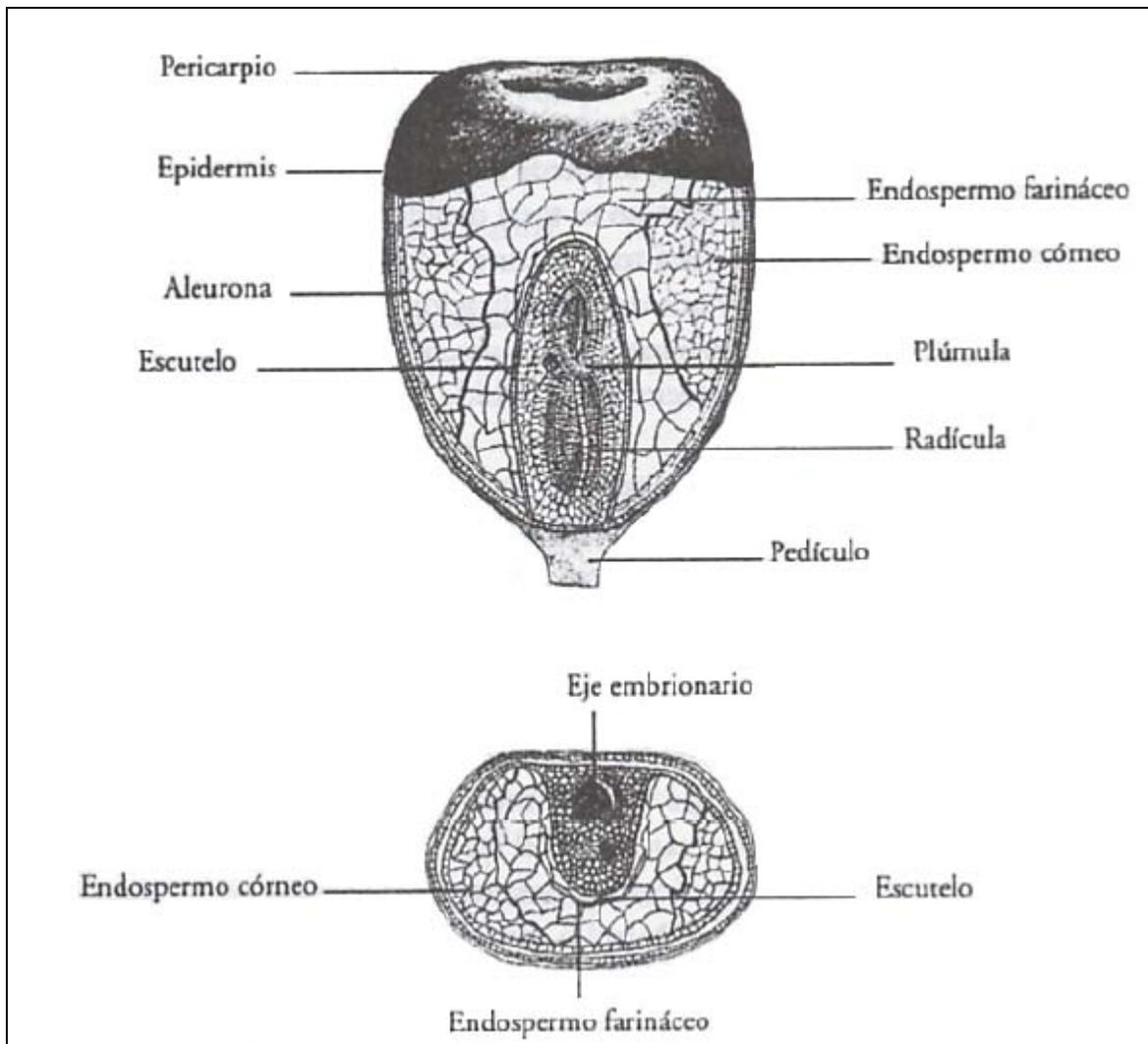


Fig. 2.1. Corte longitudinal y corte transversal de un grano de maíz
(Camacho-de-la-Rosa y col., 2007)

- Germen: Es rico en lípidos insaturados. También contiene enzimas, minerales, vitaminas y nutrientes liposolubles como los tocoferoles. Contiene el embrión.
- Endospermo: Tejido de reserva de la semilla, que alimenta al embrión durante la germinación. Contiene gránulos de almidón embebidos en una matriz proteínica. Hay dos tipos diferenciados en el endospermo, el suave o harinoso (por contener gránulos de almidón esféricos) y el duro o vítreo (contiene gránulos de almidón poligonales). La proporción depende de la variedad.

El color del grano es variable; abarca desde el blanco al pardo oscuro o púrpura; sin embargo, los colores más comunes son el blanco y el amarillo.

El salvado constituye el 5-6% del grano; el contenido de germen es relativamente mayor, de: 10-14% del grano y el endospermo representa alrededor del 82% de la semilla (Camacho-de-la-Rosa y col., 2007; Dendy y col., 2001; Hosney, 1991).

2.1.2 Tipos de maíz

En la Tabla 2.1 se presentan algunas características de los diferentes tipos de maíz.

2.1.3 Valores de producción de maíz amarillo, blanco y de color en México

Como ya se mencionó, el gobierno federal, por medio de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), reporta en su anuario estadístico agrícola, la producción de maíz blanco, amarillo y de color.

Las estadísticas indican que en 2007 la producción de granos de maíz de color fue inferior (115, 574. 34 ton) a la producción de maíz blanco y amarillo, siendo el maíz blanco el que se produce en mayor cantidad en el país (21,777,449.40 ton). La misma tendencia se observa para los años 2006 y 2005. En cuanto a rendimiento en toneladas por hectárea, se refiere, el maíz amarillo ha sido mejor de 2005 a 2007 (Ver Tablas 2.2 a 2.5).

Analizando la información estadística para el maíz de color, se puede apreciar que se ha incrementado su producción de 1,319 a 115, 574.34 toneladas de 2004 a 2007 (Ver Tablas 2.2 a 2.5), destacando que la superficie sembrada y cosechada ha aumentado. El rendimiento del maíz de color es menor que el del maíz blanco y amarillo. En cuanto al maíz blanco, la producción ha aumentado de 17, 961, 283.54 ton, en el año 2005 a 21, 777, 449.40 ton en 2007 y, con ello, el incremento de la superficie sembrada y cosechada. Pese a esto, México se ve en la necesidad de importar maíz, pues la demanda supera a la producción.

Tabla 2.1. Características de los diferentes tipos de maíz (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)

Tipo de maíz	Características	Usos
Duro	<ul style="list-style-type: none"> • Granos redondos, duros y suaves al tacto • Endospermo constituido sobre todo de almidón duro corneo con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano • Los granos poseen colores como el amarillo, anaranjado, blanco, crema, verde, púrpura, rojo, azul y negro 	Son preferidos para alimento humano y para hacer fécula de maíz
Dentado	<ul style="list-style-type: none"> • Endospermo con mayor cantidad de almidón blando y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano • Grano con apariencia de diente por poseer una hendidura en la corona de la cariósida, pues cuando el grano se comienza a secar, el almidón blando en la parte superior del grano se contrae y produce una pequeña depresión • Es muy susceptible a hongos e insectos en el campo y en el almacenamiento • Poseen granos de color blanco y amarillo 	Para grano y ensilaje (alimentación animal) y usos industriales
Reventón (palomero)	<ul style="list-style-type: none"> • Endospermo duro que ocupa la mayor parte del grano • Los granos son pequeños, con pericarpio grueso y varían en su forma de redondos a oblongos • Cuando se calienta el grano, revienta y el endospermo sale 	Elaboración de palomitas
Dulce	<ul style="list-style-type: none"> • Los granos tienen un alto contenido de azúcar y son de gusto dulce en el momento de la cosecha • Los tipos de maíz de grano dulce son susceptibles a enfermedades 	Para elotes (para consumir mazorcas verdes, ya sea hervidas o asadas)
Ceroso	<ul style="list-style-type: none"> • Su endospermo tiene un aspecto opaco y ceroso. El almidón en los maíces cerosos está compuesto exclusivamente de amilopectina 	Industria refinadora de almidón
Harinoso	<ul style="list-style-type: none"> • El endospermo contiene almidón de naturaleza blanda, por lo que es altamente susceptible a la pudrición y ataque por plagas • Los tipos de maíces harinosos muestran gran variabilidad de n color de grano y textura 	Alimento humano y preparación de platos especiales y bebidas

Tabla 2.2. Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2007 (SIAP, 2007)

Tipo de maíz	Superficie sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Blanco	7,650,323.78	6,892,748.12	21,777,449.40	3.16	2,462.66	53,630,402.52
Amarillo	387,191.93	377,844.62	1,574,675.11	4.17	2,100.23	3,307,174.31
De color	71,560.20	54,569.20	115,574.34	2.12	2,936.01	339,327.05

Tabla 2.3. Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2006 (SIAP, 2007)

Tipo de maíz	Superficie sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Blanco	7,327,620.40	6,821,775.99	20,060,877.16	2.94	2,018.13	40,485,541
Amarillo	431,848.56	425,684.85	1,718,291.85	4.04	1,876.72	3,224,749.89
De color	37,395.40	37,355.40	67,705.38	1.81	1,958.97	132,633.01

Tabla 2.4. Comparación de datos de producción nacional de maíz en 2005 (SIAP, 2007)

Tipo de maíz	Superficie sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
Blanco	7,546,477.15	6,214,593.50	17,961,283.54	2.89	1,589.52	28,549,853.05
Amarillo	402,448.72	364,075.33	1,330,127.71	3.65	1,400.05	1,862,246.94
De color	23,245.50	20,523.50	26,528.14	1.29	1,740.99	46,185.13

Tabla 2.5. Producción de maíz de color de 2004 a 2007 (SIAP, 2007)

Año	Superficie sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Precio Medio Rural (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de pesos)
2007	71,560.20	54,569.20	115,574.34	2.12	2,936.01	339,327.05
2006	37,395.40	37,355.40	67,705.38	1.81	1,958.97	132,633.01
2005	23,245.50	20,523.50	26,528.14	1.29	1,740.99	46,185.13
2004	445	445	1,319.00	2.96	2,198.64	2,900.00

Fuente: Elaborado con base en información del anuario agrícola del SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera)

2.1.4 Comparación nutricional de maíz amarillo, blanco y de color

Es bien conocido que ningún cereal por sí mismo es capaz de proporcionar todos los nutrientes que se requieren. Buscando superar estas limitaciones, mediante el principio de la complementación de los alimentos, se reducen estas deficiencias y se compensan algunas otras propiedades. En México, esta complementación se realizó combinando el maíz con el frijol, pues el maíz es deficiente en lisina y los frijoles son ricos en ella (Lomelí, 1996).

La Tabla 2.6 resume la composición química nutricional de tres tipos de maíz: blanco, azul y amarillo. Se puede observar que el maíz azul presenta mayor contenido de hidratos de carbono y es el de mayor aporte calórico con respecto al maíz blanco y amarillo.

Tabla 2.6. Composición química nutricional de tres tipos de maíz (100 g de alimento crudo en masa neta) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)

	Componente	Maíz azul	Maíz amarillo	Maíz blanco
Composición química	Humedad (g)	10.6	13.8	10.6
	Hidratos de carbono (g)	74.6	69.6	73
	Proteínas (g)	8	8.3	7.9
	Grasas (g)	4.3	4.8	4.7
	Fibra (g)	12.2	12.2	12.2
	Energía (cal)	366	350	362
	Porción comestible	92	92	92
LÍPIDOS	Grasas totales (g)	4.3	4.8	4.7
	Colesterol (mg)	0	0	0
	Saturados totales (g)	0.4	0.6	0.6
	Monoinsaturados (oleico) g	1.1	1.3	1.3
	Poliinsaturados (linoléico) g	2.3	2.5	2.5
MINERALES	Calcio (mg)	159	158	159
	Fósforo (mg)	---	235	228
	Hierro (mg)	2.5	2.3	2.3
	Magnesio (mg)	147	147	147
	Sodio (mg)	1	1	1
	Potasio (mg)	284	284	284
	Zinc (mg)	---	---	---
VITAMINAS	Retinol (mg)	5	16	1
	Ácido ascórbico (mg)	0	0	0
	Tiamina (mg)	0.43	0.34	0.36
	Riboflavina (mg)	0.1	0.08	0.06
	Niacina (mg)	1.9	1.6	1.9
	Piridoxina (mg)	---	---	---
	Ácido fólico (µg)	---	---	---
	Cobalamina (µg)	---	---	---

2.2 La nixtamalización

El procesamiento del maíz en México emplea todavía como base una tecnología desarrollada paralelamente con su domesticación en Mesoamérica: La nixtamalización (Durán-Domínguez-de-Bazúa, 1996; Vásquez-Reyes y col., 1996). Es el proceso en el cual los granos de maíz son cocidos con agua y cal (CaO), antiguamente ceniza de hogueras, para posteriormente molturarlo y formar el nixtamal (del náhuatl *nextli* = cenizas; *tamalli* = masa de maíz cocido), materia prima básica para la elaboración de tortillas y otros productos mexicanos. Tradicionalmente, el maíz se mezcla con tres partes de agua y 1% de cal (basado en la masa original del grano) para, posteriormente, ser cocido a la temperatura

de ebullición (hasta que el maíz cambia su color). En términos generales, el maíz se mantiene cociendo a temperaturas de ebullición por 5 a 40 minutos. El grano se deja reposar en el agua de cocimiento cuando menos 8 horas, aunque tradicionalmente es toda la noche, con objeto de que el calcio y los iones hidroxilo se lixivien al interior del grano y promuevan las reacciones químicas que modifican la estructura de almidones y proteínas para darle a la masa de maíz cocido la textura deseable (Durán-de-Bazúa, 1988). Durante los periodos de cocimiento y reposo, el grano absorbe la “solución” alcalina hasta incrementar su humedad a aproximadamente 48-51%. Después, el agua de cocimiento o nejayote es drenada y el nixtamal lavado con agua limpia para remover el pericarpio y el exceso de cal (Serna-Saldívar, 1996). La cocción en cal tiene varias ventajas: promueve la incorporación de calcio dentro del grano, incrementando hasta siete veces su contenido (Fournier-García, 1996), facilita la remoción del pericarpio, controla la actividad microbiana, mejora la absorción de agua, aumenta la gelatinización de los gránulos de almidón y mejora el valor nutricional al aumentar la disponibilidad de la niacina (Paliwal y col., 2001; Sánchez-Tovar, 1993, 2007).

El tratamiento alcalino, permite el gelatinizado parcial del almidón, hidrólisis alcalina sobre la zeína y otras proteínas del maíz, mejorando la disponibilidad del triptófano al favorecer la reducción de la relación leucina-isoleucina, ya que la leucina se destruye por el tratamiento alcalino (Sánchez-Tovar, 1993).

Según algunas investigaciones (Robles y col., 1988, en Sánchez-Tovar, 2007) sobre las propiedades fisicoquímicas de masas y tortillas empleando diferentes tipos de álcalis como los hidróxidos de sodio y magnesio, estos producían residuos tóxicos como la lisina aminonitrosa y, a su vez, demostraron que el hidróxido de calcio es el único álcali capaz de producir una adecuada cocción del maíz, la nixtamalización.

2.3 La tortilla

Los aztecas en su lengua náhuatl le llamaban *tlaxcalli*, que significa “cosa cocida”. Posteriormente, por la forma que tiene, los españoles le dieron el nombre de “tortilla”

(Lomelí, 1996). Por motivos culinarios, culturales y sociales, se ha dicho que los mexicanos somos “la gente del maíz”. También menciona que su consumo representa cerca de la mitad del volumen de los alimentos ingeridos en México y proporciona la mitad de las calorías requeridas. La fabricación de tortilla en México representa el 6.7% del valor de la industria alimentaria y constituye la actividad más importante en la agroindustria del maíz y mantiene una relación estrecha con la molienda de nixtamal (Lomelí, 1996).

El proceso para la elaboración de tortillas se ha transmitido a través del tiempo. Ésta se elabora a partir de la masa fresca proveniente de molinos o de masas de harina precocida rehidratada producida en fábricas (Durán-Domínguez-de-Bazúa, 1996).

El Códice Mendocino es uno de los documentos coloniales más importantes como fuente de información sobre los gobernantes mexicas y sus conquistadores, acerca de los tributos exigidos a los pueblos sometidos y en relación con la vida y costumbres de los antiguos mexicanos. En él se relata que la sociedad azteca tenía reglamentado, en las escuelas precortesianas, la alimentación de niños y jóvenes con base en la tortilla. A partir de los 3 años, se daba media tortilla al niño, una entera entre los 4 y 5 años, tortilla y media entre los 6 y 12 y después de los 13 años, dos tortillas, demostrando que en aquellos tiempos se tenía un abasto garantizado de la tortilla (Lomelí, 1996).

2.3.1 Proceso de elaboración de tortilla

En este proceso el maíz es cocinado en exceso de agua con cal para formar el nixtamal (Fig. 2.2). El nixtamal limpio es posteriormente triturado en un metate o en molinos, resultando una masa.

Para la elaboración de tortillas, el pedazo de masa (20-50g), conocido como *textal*, se moldea a mano o con prensas manuales en un disco de aproximadamente 15 cm de diámetro, el cual se transforma en tortilla cuando se hornea sobre una superficie caliente o comal (Serna-Saldívar, 1996).

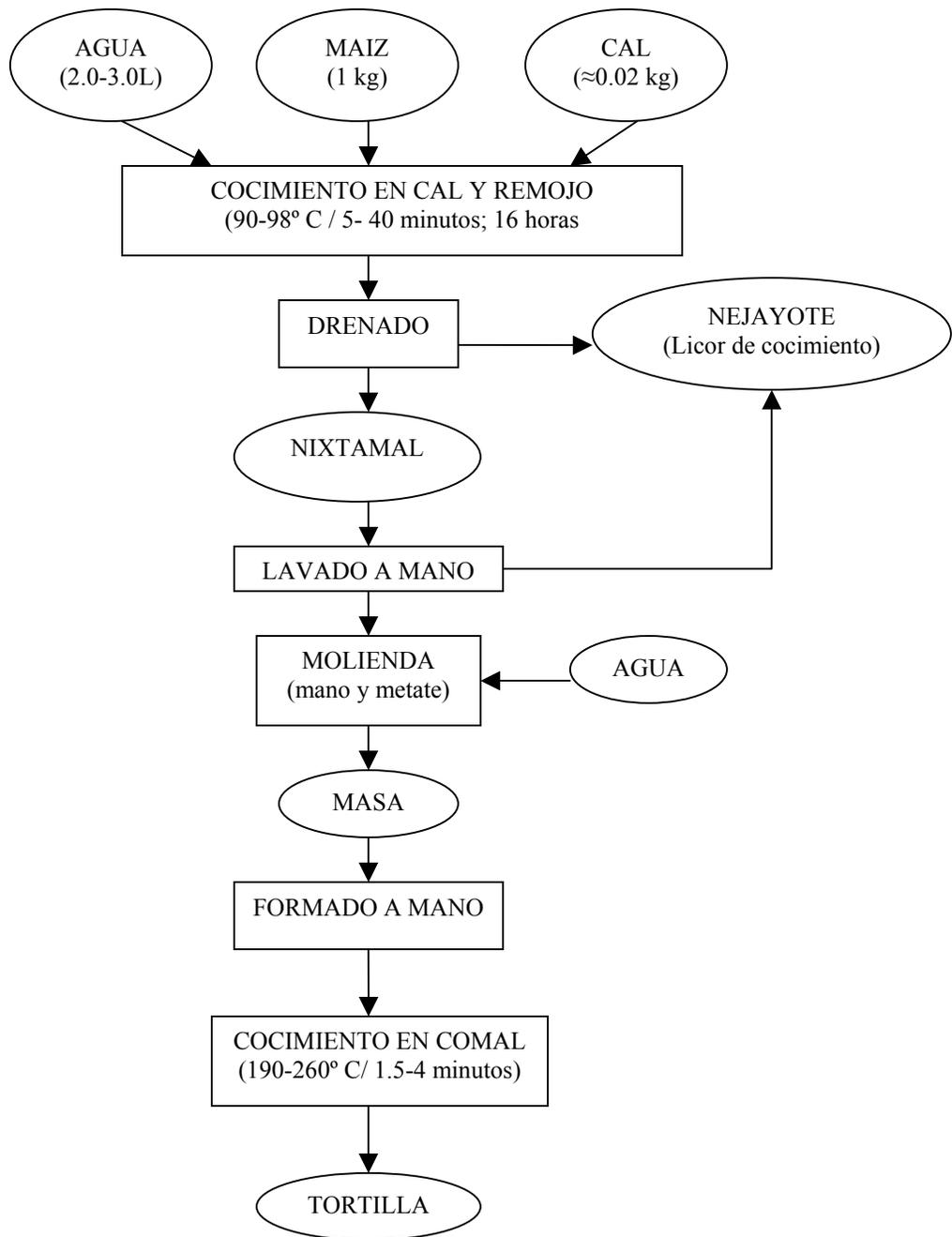


Fig. 2.2. Proceso tradicional utilizado para elaborar tortillas en México y Centroamérica (Serna-Saldívar, 1996)

El cocimiento de los granos de maíz tiene la función de hidratarlos, suavizar el pericarpio, desnaturalizar las proteínas y gelatinizar parcialmente los almidones. Parte de la cal es absorbida. El lavado elimina el pericarpio ya suavizado, el exceso de cal y el agua de cocimiento. La molienda produce una masa compuesta por fragmentos de grano, pericarpio,

germen, almidón, proteínas y fibras hidratadas y la grasa, en una mezcla con alrededor de 50 a 60% de humedad (Almeida y Rooney, 1996).

Las adulteraciones más frecuentes que a lo largo de los años se han detectado son la adición excesiva de cal, para reducir el tiempo de reposo. Esta adición provoca un rápido endurecimiento. Otra adulteración es la inclusión del olote, que si bien podría tener cierta ventaja por su contenido de fibra, benéfico para la digestión, también la endurece y reduce su contenido de proteína. Los productores de tortilla más inmorales agregan tortillas viejas y molidas a la masa, lo que da al producto mal olor y rápido endurecimiento (Lomelí, 1996).

Se ha considerado que las tortillas de buena calidad se obtienen a partir de masas cuya dureza se encuentra entre 8.7×10^{-4} a 1×10^{-5} N/m², adhesividad entre 0.01 y 0.03 N-m y factor de tensión-compresión (FCT) entre 2.4 y 2.7 (Rangel-Meza y col., 2004).

2.3.2 Tortilla elaborada con maíces pigmentados

Las tortillas azules son elaboradas a partir de maíces pigmentados y son consumidas en varias zonas de México. Existen variedades de maíz pigmentado cuyos granos presentan coloración azul, roja, negra o morada debido a la presencia de pigmentos conocidos como antocianinas. Tradicionalmente, las tortillas de maíces pigmentados son empleadas en la preparación de platillos típicos como quesadillas, “*tlacoyos*”, tacos. En la región central de México, el consumo de tortillas de maíz azul generalmente ocurre en comunidades y pueblos, durante festejos especiales. Sin embargo, es cada vez más frecuente que en tiendas de autoservicio y tortillerías expendan tortillas de maíz azul, generalmente a un precio superior al de las elaboradas con maíz blanco. La disponibilidad de las tortillas azules ha aumentado ya que los productores de harina de maíz nixtamalizado en nuestro país (grupos Gruma y Minsa) han desarrollado una harina elaborada a partir de maíz azul (Fig. 2.3) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008; Hernández-Uribe y col., 2007a,b; Salinas-Moreno y col., 2003).



Fig. 2.3. Harinas de maíz azul en México

2.3.3 Comparación nutricional entre tres tipos de tortillas de maíz

La Tabla 2.7 resume la composición química y nutricional de tortillas elaboradas de maíz blanco, amarillo y azul (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008). La tortilla de maíz azul contiene un mayor porcentaje de carbohidratos, proteínas y grasa. Es posible que los datos anteriores puedan variar con respecto a otros autores debido a la variedad de maíz empleada y a las condiciones de procesamiento (temperatura, concentración de cal, tiempo de cocción, drenado) para la elaboración de la tortilla.

A la fecha, no existen pruebas concluyentes que afirmen que alguno de los tres tipos de tortilla tenga cualidades nutricionales superiores desde el punto de vista biológico.

Con base en lo anterior, y a la par de esta investigación, se realizarán ensayos biológicos (empleando ratas como modelo biológico), los cuales arrojarán datos más confiables sobre la evaluación de la calidad nutricional de tortillas y totopos de maíces pigmentados con respecto a maíz blanco (Frías-Hermosillo y García-García, 2009).

A partir de dichas pruebas será posible afirmar si el maíz negro-azul es una alternativa benéfica para la salud o, por el contrario, resultaría dañina para la salud al no permitir la asimilación de su contenido nutrimental.

Tabla 2.7. Composición química nutricional de tres tipos de tortilla de maíz (100 g de alimento crudo en masa neta) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008)

	Componente	Tortilla de maíz blanco	Tortilla de maíz amarillo	Tortilla de maíz azul o negro
Composición química	Humedad (%)	42.4	47.5	47.5
	Hidratos de carbono (%)	47.2	45.3	54
	Proteínas (%)	5.9	4.6	4.9
	Grasas (%)	1.5	1.8	2.7
	Fibra (%)	4.47	2.09	2.09
	Energía (cal)	224	214	259
	Porción comestible (%)	100	100	100
LÍPIDOS	Grasas totales (g)	1.5	1.8	2.7
	Colesterol (mg)	0	0	0
	Saturados totales (g)	0.1	0.2	0.3
	Monoinsaturados (oleico) g	0.4	0.5	0.8
	Poliinsaturados (linoléico) g	0.8	0.9	1.4
MINERALES	Calcio (mg)	108*	196*	125*
	Fósforo (mg)	111	382	---
	Hierro (mg)	2.5	2.6	2.6
	Magnesio (mg)	---	---	---
	Sodio (mg)	---	---	---
	Potasio (mg)	---	---	---
	Zinc (mg)	---	---	---
VITAMINAS	Retinol (mg)	2	20	0
	Ácido ascórbico (mg)	0	0	0
	Tiamina (mg)	0.17	0.15	0.22
	Riboflavina (mg)	0.08	0.05	0.07
	Niacina (mg)	0.09	1	1.1
	Piridoxina (mg)	---	---	---
	Ácido fólico (µg)	---	---	---
	Cobalamina (µg)	---	---	---

*Calcio adicionado al maíz

2.4 Proceso de elaboración de totopos nixtamalizados

Para la producción de botanas a partir de tortillas, en la industria, la masa gruesa con 54% de humedad es laminada y cortada en diferentes formas (triángulos, tiras, pequeños círculos) para posteriormente hacerlas circular a través de un horno para producir tortillas. Los pedazos de tortillas con aproximadamente 36-42% de humedad, los totopos propiamente dichos, son enfriados y freídos (Serna-Saldívar, 1996). Esta última operación generalmente se realiza en freidores continuos, los cuales operan a temperaturas de 180°C y están regulados para dar un tiempo de residencia de aproximadamente un minuto (Fig. 2.4).

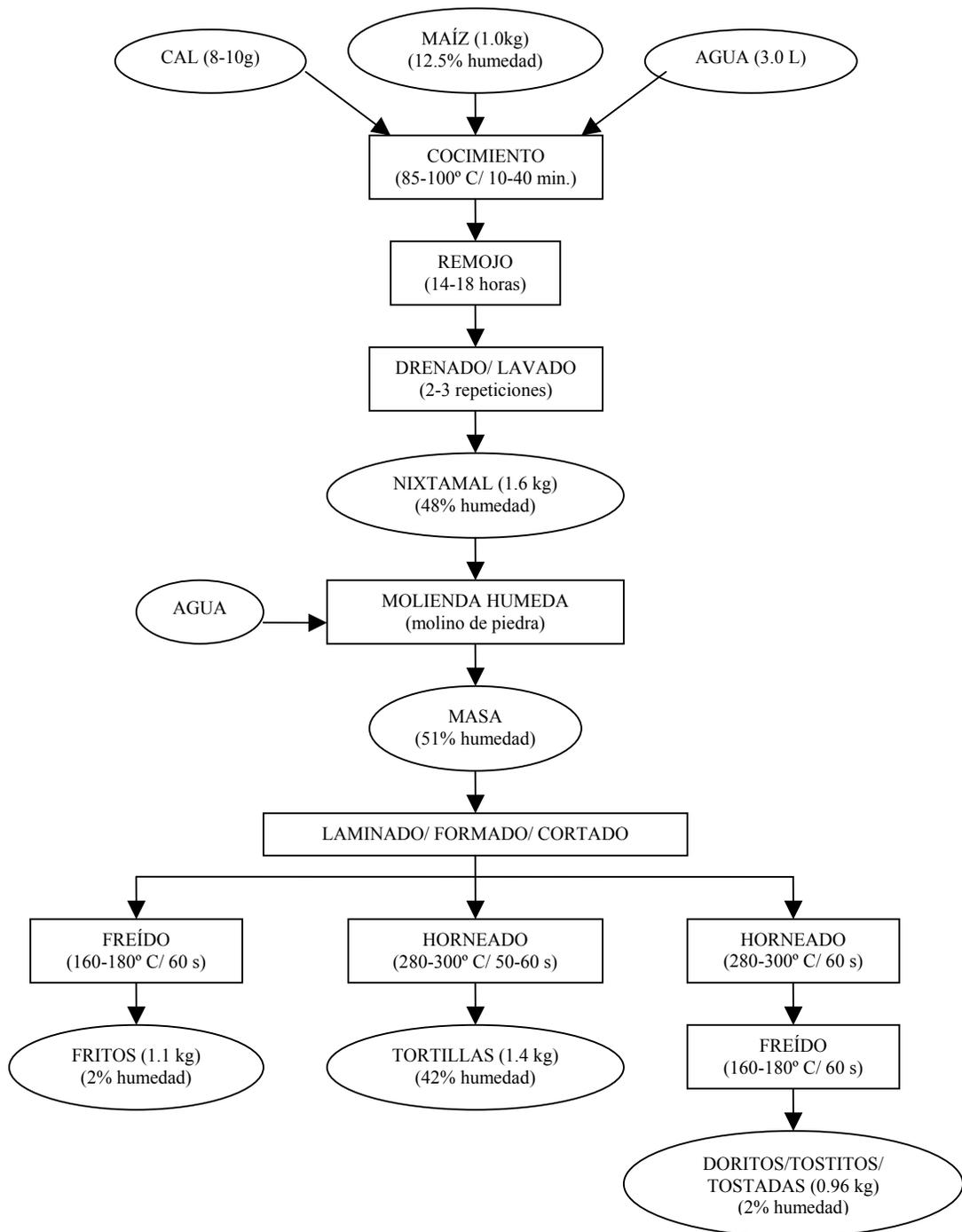


Fig. 2.4. Diagrama de la producción industrial de productos nixtamalizados
(Serna-Saldívar, 1996)

2.5 Las antocianinas

Las antocianinas son colorantes naturales que tienen un creciente interés debido a su amplia gama de colores y beneficios a la salud atribuidos por algunos autores (Castañeda-Ovando y col., 2008). A pesar del gran potencial que las antocianinas pueden tener en la industria de alimentos, su relativa inestabilidad y los bajos porcentajes de extracción centran las más recientes investigaciones a la solución de estos problemas, así como su purificación e identificación.

La palabra antocianina, tiene el siguiente significado: del griego *anthos* que significa flor y *kianos* que significa azul, ya que los primeros aislamientos de estos pigmentos se hicieron a partir de flores (peonías, malvas, etc.). Otras propiedades a destacar de las antocianinas es su actividad antioxidante, la cual juega un papel importante en la prevención de enfermedades neuronales y cardiovasculares, cáncer y diabetes entre otros (Castañeda-Ovando y col., 2008).

Los colores negro, morado y rojo que se observan en algunas variedades de maíz se deben a las antocianinas, compuestos presentes en el pericarpio, en la capa de la aleurona o en ambas estructuras del grano (Salinas-Moreno y col., 2003).

2.5.1 Efectos biológicos de las antocianinas

Las funciones más importantes que se han encontrado en los tejidos vegetales que las contienen son la reproducción, debido a que sus colores son atractivos para ciertos insectos, los cuales ayudan a la polinización y dispersión de las semillas; también ayudan a proteger algunos tejidos contra la fotoinhibición, es decir, que actúan como fotoprotectores reduciendo el daño por la radiación UV, además de actuar como fitoalexinas, compuestos antimicrobianos (Holton y Cornish, 1995; Jin-Ming y col., 2003; Steyn y col., 2002).

Las antocianinas poseen propiedades farmacológicas y son empleadas en humanos con fines terapéuticos. Son reconocidas sus cualidades anti-inflamatorias, anti-edemas, así

como la reducción de la permeabilidad y fragilidad capilar, cuando son aplicadas de manera intravenosa o intramuscular del extracto crudo de *Vaccinium myrtillus*. Se ha encontrado que las antocianinas provenientes del vino ayudan a inhibir la oxidación de las lipoproteínas y la agregación de las plaquetas en la sangre, lo cual sugiere que pueden ser el compuesto presente en el vino tinto que ayuda en las enfermedades cardiovasculares. En un estudio efectuado con ratas, y antocianinas provenientes de pétalos de *H. rosasinensis* se redujo la hepatotoxicidad del tetracloruro de carbono (Jin-Ming y col., 2003).

2.5.2 Propiedades químicas de las antocianinas

Las antocianidinas son las estructuras básicas de las antocianinas (Fig. 2.5). Las antocianidinas consisten en un anillo aromático unido a un anillo heterocíclico que contiene un oxígeno, el cual a su vez se encuentra ligado por medio de un enlace carbono-carbono a un tercer anillo aromático. Cuando las antocianidinas se encuentran en su forma glicosilada (ligada a una molécula de azúcares), son conocidas como antocianinas (Castañeda-Ovando y col., 2008).

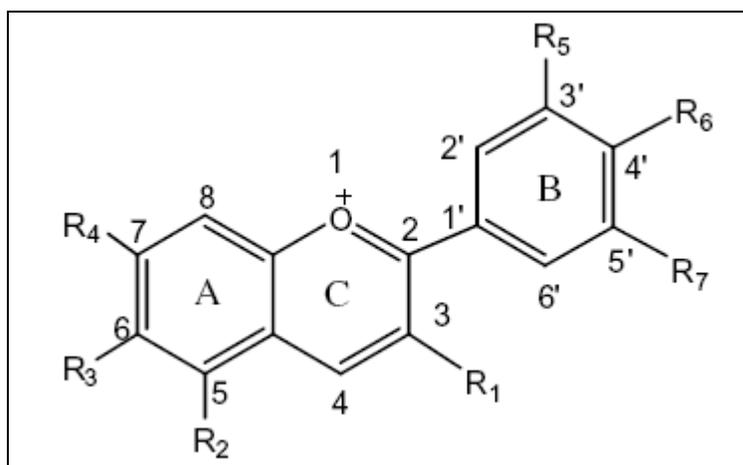


Fig. 2.5. Estructura química general de las antocianidinas (Castañeda-Ovando y col., 2008)

Hay una enorme variedad de antocianinas distribuidas en la naturaleza (Tabla 2.8). La principal diferencia entre ellas son el número de grupos hidroxilados, el grado de metilación de estos grupos hidroxilo y la naturaleza, el número y posición de los azúcares

unidos a la estructura. Hoy en día se reportan 23 antocianidinas y más de 500 diferentes antocianinas, de las cuales sólo seis son las más comunes en plantas: Cianidina, pelargonidina, peonidina, delphinina, petunidina y malvinidina (Castañeda-Ovando y col., 2008). La cianidina, la pelargonidina y la delphinina son las más comunes en hojas pigmentadas en un 80%, en frutas con el 69% y con 50% en las flores. La distribución dentro de las frutas y vegetales es: 50% de cianidina, 12% de delphinina, 12% de pelargonidina, 12% peonidina, 7% de petunidina y 7% de malvinidina.

Tabla 2.8. Variedad de antocianinas en la naturaleza. Nombres, abreviación, sustituyentes y coloración que presentan (Castañeda-Ovando y col., 2008)

Nombre	Abreviación	Sustituyentes							Color
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	
Apigenidina	Ap	H	OH	H	OH	H	OH	H	N.R.
Arrabidina	Ab	H	H	OH	OH	H	OH	OMe	N.R.
Aurantidinina	Au	OH	OH	OH	OH	H	OH	H	N.R.
Capensinidina	Cp	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OMe	azul-rojo
Carajurina	Cj	H	H	OH	OH	H	Ome	OMe	N.R.
Cianidina	Cy	OH	OH	H	OH	OH	OH	H	naranja-rojo
Delphinina	Dp	OH	OH	H	OH	OH	OH	OH	azul-rojo
Europinidina	Eu	OH	OMe	H	OH	OMe	OH	OH	azul-rojo
Hirsutidina	Hs	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	OMe	azul-rojo
30-HydroxyAb	3'OHAb	H	H	OH	OH	OH	OH	OMe	N.R.
6-Hydroxi Cy	6OHCy	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	rojo
6-Hydroxi Dp	6OHDp	OH	OH	OH	OH	OH	OH	OH	azul-rojo
6-Hydroxi Pg	6OHPg	OH	OH	OH	OH	H	OH	H	N.R.
Luteolina	Lt	H	OH	H	OH	OH	OH	H	N.R.
Malvidina	Mv	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OMe	azul-rojo
5-Metil Cy	5-MCy	OH	OMe	H	OH	OH	OH	H	naranja-rojo
Pelargonidina	Pg	OH	OH	H	OH	H	OH	H	rojo
Peonidina	Pn	OH	OH	H	OH	OMe	OH	H	naranja-rojo
Petunidina	Pt	OH	OH	H	OH	OMe	OH	OH	azul-rojo
Pulchellidina	Pl	OH	OMe	H	OH	OH	OH	OH	azul-rojo
Riccionidina A	RIA	OH	H	OH	OH	H	OH	H	N.R.
Rosinidina	Rs	OH	OH	H	OMe	OMe	OH	H	rojo
Tricetinidina	Tr	H	OH	H	OH	OH	OH	OH	rojo

El espectro de absorción de una antocianina se caracteriza por presentar una banda que absorbe fuertemente en la región visible entre 465 y 550 nm. La característica de absorción de la antocianina en solución es afectada por la estructura del pigmento; simplemente un grupo hidroxilo adicional en la molécula puede tener un efecto batocrómico, desplazando su longitud de onda hacia valores más elevados (pelargonidina: $A_{\max}=520$ nm, cianidina: $A_{\max}=535$ nm, delphinina: $A_{\max}=546$ nm) (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008).

Las antocianinas son solubles en solventes polares, y son normalmente extraídas empleando metanol, que contenga una pequeña cantidad de ácido clorhídrico, acético ó fórmico. El

ácido disminuye el pH de la solución previniendo la degradación del pigmento (Jin-Ming y col., 2003).

2.5.3 Extracción, purificación e identificación de las antocianinas

La extracción de antocianinas se lleva a cabo comúnmente a bajas temperaturas, empleando metanol o etanol ligeramente acidificados, con el objetivo de obtener el catión flavilio (de *flavylium*), el cual presenta una coloración roja y es muy estable en medios ácidos. De estos métodos, la extracción con metanol tiene una mayor eficiencia debido a la polaridad de la molécula, aunque para la industria de los alimentos se emplee el etanol en mayor proporción, por tener una menor toxicidad (Castañeda-Ovando y col., 2008; Escribano-Bailón y col., 2004). Recientemente, se han introducido técnicas para la extracción de compuestos fenólicos, que pueden ser usados para la extracción de las antocianinas, como la extracción de líquidos a presión (PLE, por sus siglas en inglés) y la extracción con fluidos supercríticos (SFE, por sus siglas en inglés) (Escribano-Bailón y col., 2004).

El uso de este tipo de metodologías trae como consecuencia la co-extracción de sustancias como azúcares, ácidos orgánicos y proteínas, requiriendo un subsecuente proceso de purificación (Escribano-Bailón y col., 2004).

Las técnicas usadas para la purificación de antocianinas son las cromatográficas. Inicialmente, la cromatografía en papel y la cromatografía en capa fina permiten no sólo el aislamiento, sino la identificación y e inclusive la cuantificación, pero solamente de algunas antocianinas (Escribano-Bailón y col., 2004). Actualmente, se emplean técnicas con mayor eficiencia, como la cromatografía en columna, la cual se comenzó a emplear debido a la necesidad de obtener compuestos puros en cantidades suficientes para su identificación y caracterización, además de obtener compuestos de referencia para el análisis cualitativo y cuantitativo. La técnica, mayormente empleada en la actualidad para la separación de antocianinas es la cromatografía líquida de alta resolución, CLAR (HPLC, por sus siglas en inglés), con detectores de UV-Vis. La mejor resolución se obtiene empleando columnas en fase reversa (fase estacionaria no polar C₁₈, C₈ y fase móvil polar H₂O, etanol), como la

Lichroprep-RPS, la cual ofrece una eficiente y rápida separación de las antocianinas. Por esta técnica es posible elucidar las estructuras de los compuestos obtenidos (Escribano-Bailón y col., 2004).

Para la identificación de antocianinas las técnicas empleadas son el análisis por espectrometría de masas, el cual ha sido utilizado para la elucidación de las moléculas en el estudio de las transformaciones durante la maduración de vinos y las reacciones de polimerización con otros flavonoides. La resonancia magnética nuclear, RMN, es otra técnica empleada para la identificación y elucidación de las antocianinas. Recientemente, se reportó el empleo de la electroforesis capilar para la separación de antocianinas (Castañeda-Ovando y col., 2008).

2.5.4 Obtención de antocianinas a nivel de planta piloto

Aunque la importancia de estos pigmentos naturales es bien conocida, hay pocos reportes del uso de plantas o frutas para la extracción de antocianinas en una planta piloto o a gran escala. Lo anterior puede deberse a tres factores que quizás se pasen por alto en los estudios científicos: a) La efectividad de las extracciones y purificaciones; b) la comerciabilidad de los extractos resultantes y c) su capacidad práctica para comida y productos farmacéuticos. Lee y colaboradores, en el 2002, reportan experimentos llevados a cabo con moras azules, empleando acetona, grado alimenticio para la extracción con la adición de SO₂ como agente extractor. Posteriormente, se realiza una purificación por otra extracción empleando una disolución de cloroformo:acetona (2:1), para después evaporar los disolventes, obteniendo rendimientos entre el 13-23%. Kammerer y colaboradores, en el 2005 (en Castañeda-Ovando y col., 2008) reportan porcentajes de recuperación del 96-100% usando uvas como fuente de antocianinas. Emplearon resinas de intercambio iónico. El extracto acuoso fue preparado agregando agua a 80°C a la piel de las uvas (1:3 muestra:agua). El extracto fue pasado a través de la resina y eluido con metanol, con temperaturas de adsorción y desorción de 25 y 50°C, respectivamente. Meng y colaboradores, en el 2006, proponen una metodología que incluye una microfiltración en membrana y ósmosis inversa, para minimizar la descomposición microbiológica de las antocianinas durante la extracción,

empleando *Perilla frutescens* con ácido nítrico al 0.01M como disolvente, con porcentajes de recuperación del 77%.

2.5.5 Estabilidad de las antocianinas

El aislamiento de las antocianinas ha mostrado que éstas son muy inestables y, por lo cual, tienden a ser degradadas. Su estabilidad se ve afectada por diversos factores entre los cuales se conocen el pH, la temperatura, su concentración, la luz, el oxígeno, la presencia de enzimas, proteínas y de iones metálicos. Una de las principales líneas de investigación es la de mantener la estabilidad de las antocianinas debido a su abundancia, su potencial de aplicación, sus efectos benéficos y su empleo como colorantes artificiales.

Cuando se aumenta o se tiene una mayor concentración de antocianinas se promueve una mayor estabilidad. Esta mejora es debida a una auto-asociación entre las mismas moléculas (Rein, 2005).

La presencia de ácido ascórbico (vitamina C) provoca una descomposición acelerada del color producido por las antocianinas, debido a una condensación entre las dos moléculas y a la formación de peróxido de hidrógeno durante la oxidación del ácido ascórbico (Rein, 2005).

2.5.6 Efecto antioxidante de las antocianinas

Los compuestos que son fáciles de oxidar son frecuentemente los mejores antioxidantes (moléculas las cuales pueden donar electrones libres o átomos de hidrogeno para reaccionar con los radicales libres). Muchos estudios sugieren que el contenido de antocianinas y su correspondiente actividad antioxidante, contribuyen a tener un efecto en contra de enfermedades crónico-degenerativas, como el cáncer y la diabetes con las frutas y los vegetales que los contienen (Castañeda-Ovando y col. 2008; Kahkonen y col., 2003). Las antocianidinas y las antocianinas muestran un mayor poder antioxidante que las vitaminas C y E (Bagchi y col., 2000). Este tipo de compuestos son capaces de capturar radicales

libres por la donación de los átomos de hidrógeno fenólicos y ésta es la razón de la actividad anticancerígena. En los catecoles la oxidación se lleva a cabo por vía de radicales libres hasta la formación de una semiquinona muy estable. Los compuestos con grupos catecoles o 1,4-hidroquinonas son fáciles de oxidar porque el radical fenilo puede estabilizarse con un oxígeno. Esta especie es muy estable y no extrae o reacciona con hidrógenos de otras moléculas, hasta que pueda reaccionar con otra semiquinona y originar una desprotonación que genere otra quinona y un grupo fenol con dos radicales. Considerando este tipo de estabilizaciones, en la Figura 2.6 se propone un mecanismo para la estabilización de la semiquinona vía radicales libres usando a la cianidina.

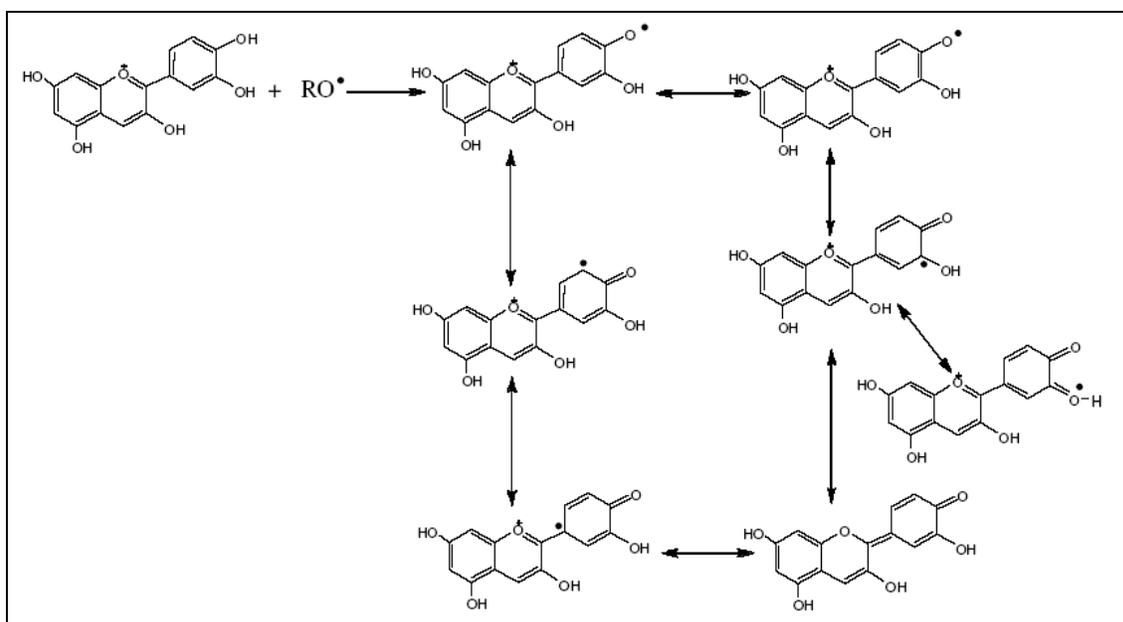


Fig. 2.6. Posible mecanismo para la estabilización de la cianidina semiquinona (resonancia) (Castañeda-Ovando y col., 2008)

2.5.7 Efecto del pH y de la temperatura en las antocianinas

Las antocianinas pueden ser encontradas en diferentes formas químicas, las cuales dependen del pH de la solución. A pH de 1 el catión flavilio, de color rojo como ya se dijo, predomina sobre las otras especies y contribuye al color morado del maíz (Fig. 2.7 A). A valores de 2 a 4, la molécula derivada de la quinona predomina con especies de color azul (Fig.2.7 B-D). Con valores entre 5 y 6, sólo dos especies incoloras pueden ser observadas,

la pseudobase del carbinol (Fig. 2.7 E) y la chalcona (Fig. 2.7 F). A valores de pH de 6, las antocianinas pueden ser degradadas dependiendo de sus grupos sustituyentes (Castañeda-Ovando y col., 2008) (Fig. 2.8).

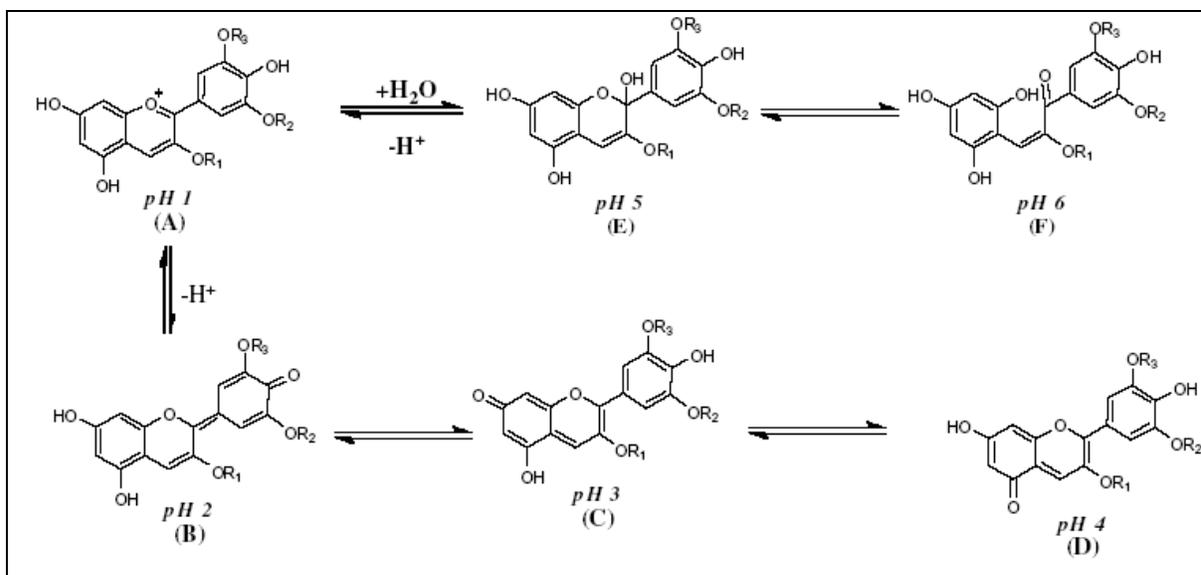


Fig. 2.7. Formas químicas de las antocianinas dependiendo del pH del medio. $R_1 = H$ o azúcar, R_2 y $R_3 = H$ o metil (Castañeda-Ovando y col., 2008)

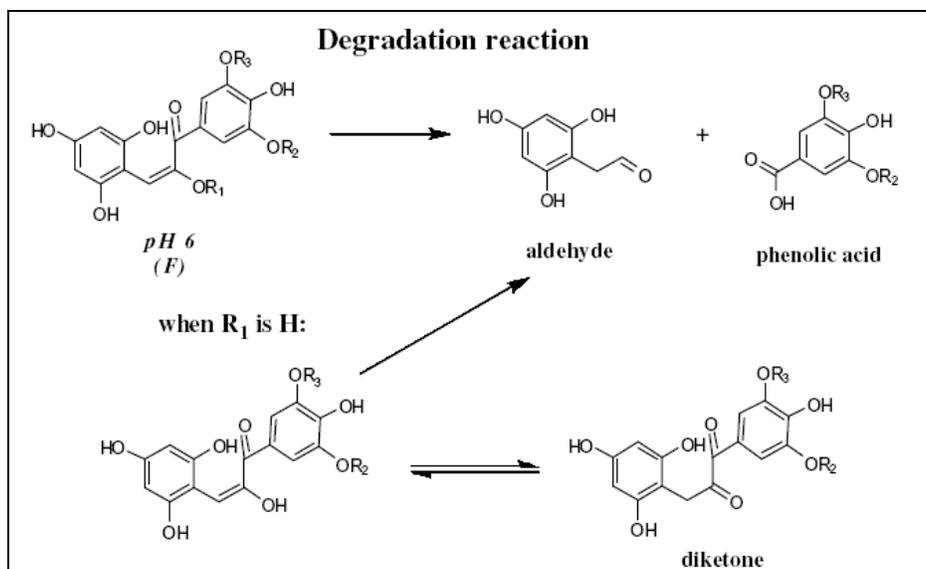


Fig. 2.8. Reacción de degradación de las antocianinas a pH de 6 (Castañeda-Ovando y col., 2008)

Todas las investigaciones acerca de la estabilidad y la variación del color de las antocianinas con el pH concluyen que las transformaciones de estos compuestos son más

significativas en la región alcalina debido a la inestabilidad de las moléculas (Cabrita, 2000). Como ya se mencionó, la estabilidad de las antocianinas es afectada por la temperatura. La proporción de moléculas degradadas por un tratamiento térmico incrementa con una mayor temperatura. La degradación térmica de las antocianinas tiene un comportamiento cinético de primer orden.

La Figura 2.9 (Rein, 2005) y la Figura 2.10 (Patras y col. 2009) muestran los posibles mecanismos de degradación de las moléculas de las antocianinas por el efecto de la temperatura. En la Figura 2.10, el primer paso de la reacción consiste en una hidrólisis de la molécula de azúcar con la formación de una aglicona, posiblemente por la formación de compuestos cíclicos que forman aductos (Patras y col., 2009).

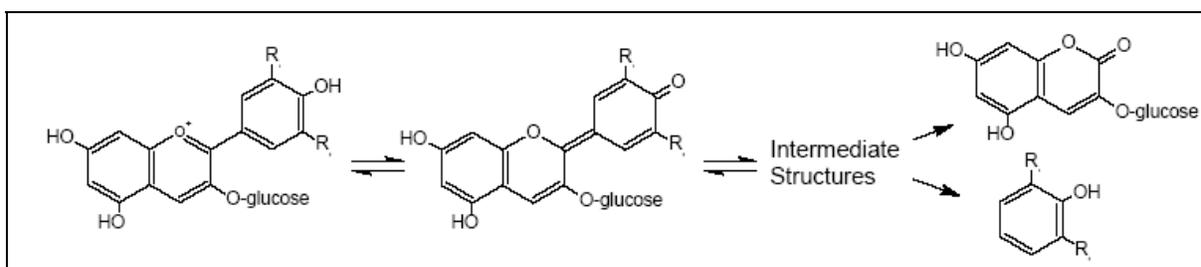


Fig. 2.9. Degradación de antocianinas por efecto del calor (Rein, 2005)

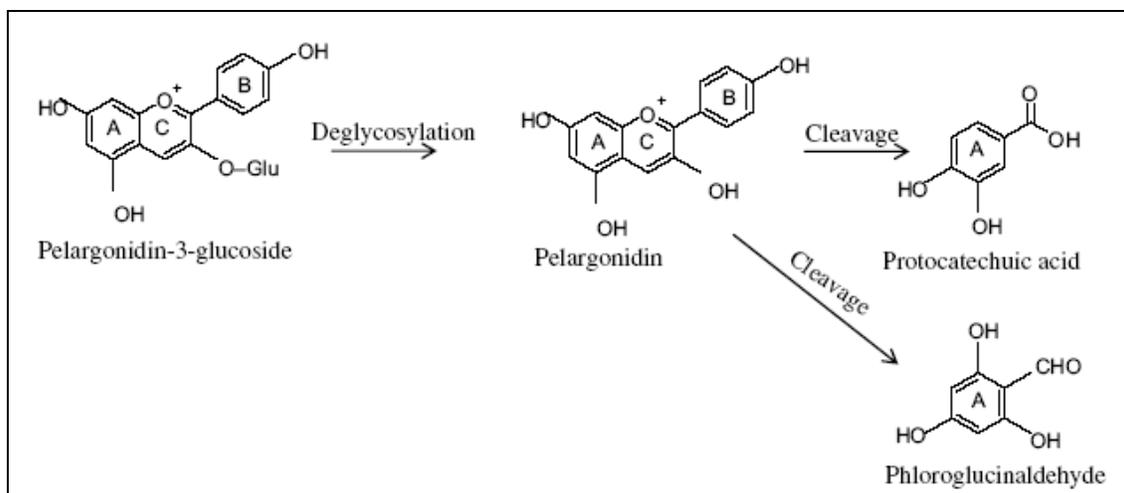


Fig. 2.10. Posible mecanismo de degradación térmica para pelargonidina (Patras y col. 2009)

2.5.8 Influencia del oxígeno y la luz en las antocianinas

El oxígeno amplifica el impacto de otros procesos de degradación de las antocianinas. La presencia de oxígeno, en conjunto con altos valores de pH y elevadas temperaturas, es la combinación que provoca mayor inestabilidad a las antocianinas. Este deterioro puede ser debido a un mecanismo directo y/o indirecto de oxidación en el cual la molécula oxidada reacciona con la antocianina provocando un incremento en la pérdida del color o generando oscurecimiento en los productos. También reaccionan en presencia de peróxidos, actuando como antioxidantes (Rein, 2005). La luz afecta a las antocianinas de dos distintas formas. Ésta es esencial para la biosíntesis de las antocianinas, pero también acelera su degradación. Las antocianinas preservan su color cuando los productos son guardados en la oscuridad (Markakis, 1982).

2.5.9 Cinética de degradación de las antocianinas en alimentos

Para evaluar la vida útil de los alimentos se emplean comúnmente modelos cinéticos. Con ellos se pueden predecir los efectos de algunos parámetros sobre la calidad de los alimentos, ya sea durante su elaboración o su vida de anaquel o cualquier otra situación. El conocimiento acerca de la degradación cinética incluye el orden de la reacción, la constante de reacción y la energía de activación, los cuales son vitales para la predicción de las pérdidas en la calidad organoléptica de los alimentos, así como la pérdida de nutrientes. La Tabla 2.9 y la Figura 2.11 presentan algunos datos experimentales ajustados a las ecuaciones de los modelos obtenidos (Patras y col., 2009).

Tabla 2.9. Ejemplos de datos obtenidos para degradaciones térmicas cinéticas en alimentos (Patras y col., 2009)

Fruta o vegetal	Condiciones del proceso	Parámetros cinéticos
Piel de papas moradas	agua a ebullición	$E_a = 72.49$ kJ/ mol
Zanahoria morada	agua a ebullición	$E_a = 88.79$ kJ/ mol
Zanahoria negra	90°C	$E_a = 72.4$ kJ/ mol
Maíz morado	90°C	$E_a = 18.3$ kJ/ mol
Puré de ciruela	90°C	$E_a = 37.48$ kJ/ mol
Piel de uvas	agua a ebullición	$E_a = 69.0$ kJ/ mol

$$C_t = C_0 \times \exp(-K \times t) \quad (1)$$

$$T_{1/2} = \frac{\text{Log}_e 2}{K} \text{ or } T_{1/2} = \frac{2.303}{K} \quad (2)$$

$$\text{Log} \left(\frac{K_T}{K_0} \right) = -\frac{E_a}{2.303 \times R} \left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad (3)$$

Fig. 2.11. Ecuaciones de la cinética de reacción de las antocianinas, donde C_t es la concentración de antocianinas (mg/100mL), t es el tiempo (min), C_0 es la concentración inicial ($t = 0$). K es la constante de reacción (min^{-1}), R es la constante universal de los gases, E_a es la energía de activación (kJ mol^{-1}) (Patras, y col. 2009)

2.6 Efecto de la nixtamalización sobre los pigmentos naturales del maíz de color y sobre algunos productos

En la nixtamalización, el pH está entre 12 y 14 y la temperatura se acerca a los 100°C , conjugándose dos de los factores a los que las antocianinas son más susceptibles. Aunque el tiempo de cocción es relativamente corto, las condiciones son drásticas, suficientes para descomponer el pigmento presente en la capa de aleurona y/o en el pericarpio. En un estudio realizado por Salinas-Moreno y col. (2003), ver Tabla 2.10, se determinó el efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados.

Tabla 2.10. Porcentaje de pérdida de antocianina total durante el proceso de nixtamalización en muestras de maíz pigmentado (Salinas-Moreno y col., 2003)

Muestra	Concentración de antocianinas (mg/kg)		
	Harina cruda	Harina nixtamalizada	% pérdida
Puebla Azul	779	52	93.3
Puebla Rojo	690	87	87.4
Oaxaca Azul	115	76	33.8
Oaxaca Rojo	127	87	31.5
Rojo Chihuahua	35	0	100
Azul Chihuahua	157	89	43.7
Rojo Chalco	36	10	73
Azul Chalco	192	101	47.5

Encontraron estos autores que la nixtamalización descompone parte de las antocianinas del grano de maíz, siendo mayor en los maíces con pigmento en el pericarpio. La nixtamalización de maíces de grano azul produjo un oscurecimiento de la harina.

2.7 Contenido de antocianinas en productos de maíz pigmentado

La elaboración de productos nixtamalizados de maíces de color requiere que las antocianinas del grano no se destruyan completamente durante la lixiviación alcalina, para poder obtener productos pigmentados de manera natural. Debido a esto, es importante seleccionar maíces que preserven su color durante la nixtamalización y que reúnan, además, las características físicas del grano para la elaboración del nixtamal y las tortillas.

Hay estudios cuantitativos sobre el contenido de antocianinas en productos de maíz pigmentado, en especial harinas, masas y, sobre todo, tortillas. Del Pozo-Insfran y col. (2006) reporta contenidos de 160 mg/kg en el nixtamal y de 120 mg/kg en tortillas (25% de pérdida). Cortés y col., en 2006, reportan 49.3 mg/kg en el nixtamal.

Los datos de la Tabla 2.11 muestran los contenidos de antocianinas en productos de maíz nixtamalizados, en los cuales los productos de maíz azul tienen un contenido mayor de antocianinas que los elaborados con maíz rojo.

2.8 Legislación mexicana sobre el maíz para nixtamalizar, harinas, masa y tortillas

En la legislación mexicana se tienen dos normas referentes al maíz y sus procesamientos para el consumo humano. La primera, que es de carácter oficial, es la 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. (DOF, 2002), la cual tiene como principal objetivo establecer las especificaciones que deben de cumplir la masa, tortillas, tostadas, harinas preparadas para su elaboración y los establecimientos donde son procesados. Así mismo establece la información comercial que debe figurar en las etiquetas de los productos.

Tabla 2.11. Contenido de antocianinas en productos nixtamalizados (Tavera-Hernández, 2007)

Muestra	Antocianinas mg/kg
Masa azul	28.30
Tortilla Wal Mart	31.56
Tortilla azul experimental	44.57
Tortilla azul artesanal	8.63
Masa roja	15.57
Tortilla roja experimental	24.82
Tortilla roja artesanal	13.03

Para el proceso de nixtamalización, esta norma indica que la cal (hidróxido de calcio) a utilizar debe tener las especificaciones señaladas en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Especificaciones fisicoquímicas de la cal para nixtamalización (DOF, 2002)

Especificación	Límite máximo
Hidróxido de calcio u oxido de calcio	90% mínimo
Hidróxido de magnesio	5%
Plomo	8 mg/kg
Flúor	40 mg/kg
Arsénico	3 mg/kg

El uso de colorantes en la preparación de las masas para tortillas a granel está limitado por la norma para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado preenvasadas o harinas de maíz nixtamalizado para preparar tortillas a granel o preenvasadas para estandarizar el color de las harinas o de las tortillas. Esta norma incluye una lista de 64 aditivos alimentarios, entre los cuales figuran emulsificantes, estabilizantes, gelificantes, espesantes y colorantes naturales y sintéticos, aprobados por el Comité de Expertos de la FAO/OMS en Aditivos Alimentarios, conocida como JECFA (Joint Expert Committee on Food Additives, por sus siglas en inglés). Sólo algunos de los colorantes presentes en la norma se muestran en la Tabla 2.13. Estos aditivos alimentarios deben ser declarados por el responsable o informar a las tortillerías, donde se comercializa el producto.

Tabla 2.13. Colorantes permitidos en tortillas de maíz nixtamalizado preenvasadas o harinas de maíz nixtamalizado para elaboración de tortillas*

Nombre	Límite máximo (mg/kg)	Observaciones
Amarillo ocaso FCF	200	En tortillas
Azul brillante FCF	250	En tortillas
Beta-apo-8 β -carotenal	30	En tortillas
Beta-caroteno sintético	30	En tortillas
Color caramelo clase I	BPF	
Color caramelo clase II	3200	En tortillas
Color caramelo clase III y IV	4000	En tortillas
Cúrcuma	BPF	
Dióxido de titanio	BPF	
Indigotina	30	En tortillas
Oleoresina de paprika	BPF	
Ponceau 4R	320	En tortillas
Rojo allura AC	50	
Tartrazina	600	En tortillas

* Elaborado con datos de la NOM-187-SSA1/SCFI-2002

La segunda norma que se tiene en México para maíz o productos nixtamalizados es la Norma Mexicana MMX-FF-034/1-SCFI-2002 “Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado”. Esta norma tiene como objetivo establecer las características de calidad comercial que debe reunir el maíz blanco de consumo humano para la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado y se aplica para el maíz comercializado e industrializado en el territorio nacional. El maíz objeto de esta norma se clasifica en grados de calidad (Tablas 2.14a,b).

Tabla 2.14a. Especificaciones de maíz blanco para nixtamalización (DOF, 2002)

Parámetros generales	Grado 1	Grado 2	Grado 3
Impurezas (%) máximo	2	2.5	3
Daños por calor (%) máximo	1.5	2.5	3.5
Suma de daños (%) máximo	5	7	10
Granos quebrados (%) máximo	3	3.5	4

Tabla 2.14b. Especificaciones de maíz blanco para nixtamalización (DOF, 2002)

Parámetros de nixtamalización			
Humedad en nixtamal	36-42	36-42	36-42
Dureza de grano (%) máximo (índice de flotación)	40	40	40
Pérdida de materia seca. Método por sólidos en agua de nejayote (%máximo)	5	5	5

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

A continuación se detalla la metodología planteada en esta investigación (Fig. 3.1).

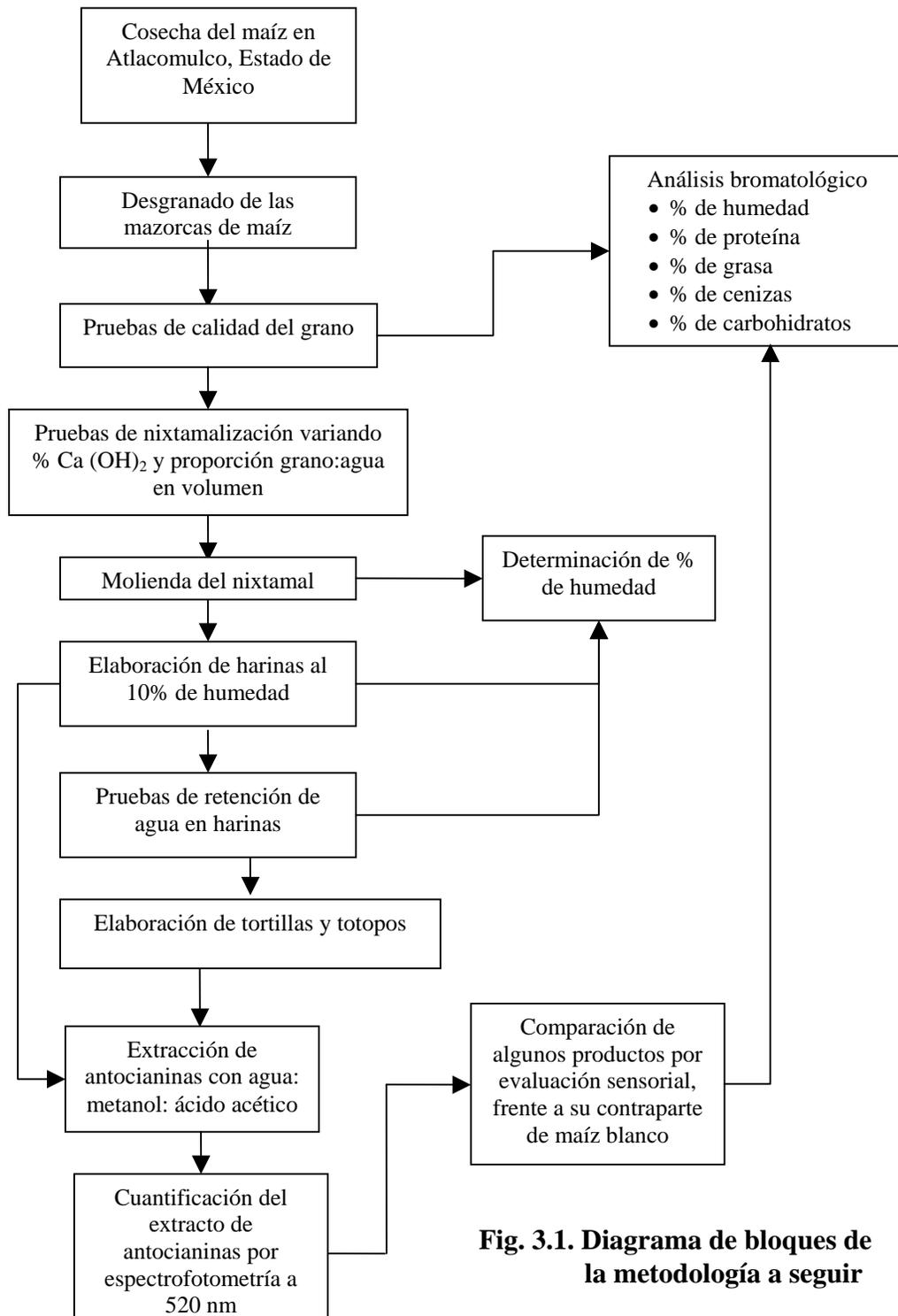


Fig. 3.1. Diagrama de bloques de la metodología a seguir

3.1 Cosecha de los maíces negro-azul en Atlacomulco, Estado de México

El maíz negro-azul con el cual se llevaron a cabo todas las pruebas de esta investigación fue proporcionado por la Federación de Productores de Maíz del Estado de México, con sede en el municipio de Atlacomulco, Estado de México. Gracias a los Ingenieros Everardo Gómez y Matilde Hernández, las muestras fueron recolectadas el día 15 de diciembre del año 2008 (Figuras 3.2a,b). Las mazorcas se trasladaron a los Laboratorios E-301, 302 y 303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, de la Facultad de Química, de la UNAM, en donde fueron almacenados en una cámara de refrigeración a una temperatura de 4°C para evitar la descomposición por acción microbiana (Figuras 3.3a,b).



Fig. 3.2. (a). Federación de Productores de Maíz del Estado de México; (b) Cosecha del maíz negro-azul



Fig. 3.3. (a) Mazorca de maíz negro-azul, Atlacomulco, Estado de México; (b) Maíz negro-azul desgranado

Los costales con las mazorcas fueron homogeneizados para poder tener muestras representativas para todas las pruebas. Posteriormente fueron desgranadas las mazorcas de forma manual y los granos colocados en bolsas de plástico con cierre hermético para realizar posteriormente las pruebas de calidad del grano.

3.2 Pruebas de calidad del grano (Camacho-De-la-Rosa, 2007; NMX-FF-034/1-SCFI-2002)

Con el objetivo de poder establecer las características de calidad comercial que debe reunir el maíz, así como de poder determinar las condiciones ideales para la nixtamalización del maíz mediante estos parámetros se realizaron, en primer lugar, pruebas de calidad a los granos aplicando los métodos de prueba de acuerdo a la especificación de la NMX-FF-034/1-SCFI-2002 (Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Cereales. Parte 1: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado. Especificaciones y métodos de prueba).

Olor. Este parámetro se verifica sensorialmente. Se procedió a la percepción del olor abriendo la bolsa de la muestra representativa, agitando su contenido para que el maíz desprendiera su olor. En esta prueba se evalúan en el maíz olor a moho, humedad, fermentación, putrefacción, rancidez o cualquier otro olor extraño.

“Peso¹” hectolítrico. Se fundamenta en determinar la masa del grano por unidad de volumen. Procedimiento: Se emplea un recipiente de 1 litro exacto, se deja caer el grano limpio, libremente, desde una altura de 20 cm, hasta que se desborde. Se rasa el recipiente

¹ ¹ El **peso**, en física, es la medida de la fuerza que ejerce la gravedad sobre la masa de un cuerpo. Normalmente, se considera respecto de la fuerza de gravedad terrestre. El peso depende de la intensidad del campo gravitatorio, de la posición relativa de los cuerpos y de la masa de los mismos. La **masa** es una propiedad característica de los cuerpos: la cantidad de materia, y no depende de la intensidad del campo gravitatorio, ni de su posición en el espacio. Por ejemplo, una persona de 60 kg de **masa**, pesa 60 **kg-fuerza** en la superficie de la Tierra; pero, la misma persona, en la superficie de la Luna pesaría sólo unos 10 **kg-fuerza**; sin embargo, su masa seguirá siendo de 60 kg. Las unidades de **peso** y **masa** tienen una larga historia compartida, en parte porque su diferencia no fue bien entendida cuando dichas unidades comenzaron a utilizarse. Cotidianamente, el término "peso" se utiliza a menudo *erróneamente* como sinónimo de masa. La unidad de masa del SI es el kilogramo, kg

con una reglilla, haciendo 3 movimientos de zigzag, se pesa el grano y se calcula la masa en kg que corresponde a 1 hL (100 L). Se reporta con un decimal.

“Peso” de mil granos Procedimiento: Se pesan en balanza analítica, 50 piezas del grano, tomadas al azar, de la muestra limpia y se hace el cálculo correspondiente (x20). La determinación se repite con otros 2 lotes de 50 granos c/u, para que sea por triplicado.

Índice de flotación. Se fundamenta en el principio de que los granos duros son de mayor densidad y por lo tanto tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad. El procedimiento es el siguiente: Se hace por duplicado, directamente sobre muestras de 100 piezas de cada una. Los 100 granos se colocan en un vaso de precipitados, se estima el volumen aparente que ocupa el grano y enseguida se agregan 4 volúmenes de agua destilada. Se dejan transcurrir exactamente 15 minutos, al cabo de los cuales se separan y se cuentan los granos que flotan. Es importante para la reproducibilidad del método, controlar muy bien el volumen de agua y tiempo. El tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización está directamente correlacionado con los siguientes datos: Índice de flotación para el grano de maíz y tiempos de nixtamalización (Tabla 3.1)

Tabla 3.1. Índice de dureza para grano de maíz y tiempos de nixtamalización (NMX-FF-034/1-SCFI-2002)

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

3.3 Diseño experimental

Se propuso un diseño factorial 3 x 3 (Tabla 3.2). Cada uno de los diseños experimentales se corrió por duplicado y cada muestra se analizó por duplicado. Los resultados se ajustaron a un modelo cuadrático del tipo:

$$Z = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3X^2 + b_4Y^2 + b_5 XY + e \quad (3.1)$$

Sustituyendo X por C y Y por A y siendo “e” el error experimental

$$Z = b_0 + b_1C + b_2A + b_3C^2 + b_4A^2 + b_5CA + e \quad (3.2)$$

Por medio de regresión múltiple, donde Z es la variable dependiente o respuesta medida.

Tabla 3.2. Diseño experimental

VARIABLES INDEPENDIENTES X, Y			
Clave muestras	Muestra	Ca (OH) (% p/p)	Proporciones Maíz : Agua
H	Harina		
C		% Ca(OH) ₂ b.s.	
A			Proporción sólido : Agua
C0		0	
C1		0.5	
C1		1.0	
C3		1.5	
A1			1:1
A2			1:2
A3			1:3
SUSTANCIAS DE CONTROL (TESTIGOS)			
H0	Harina de maíz negro-azul cruda	0	-----
H C0 A3	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada Sin cal	0	1:3
DISEÑO FACTORIAL 3 X 3			
	A1	A2	A3
C1	HC1A1	HC1A1	HC1A1
C2	HC2A1	HC2A1	HC2A1
C3	HC3A1	HC3A1	HC3A1
VARIABLES DEPENDIENTES, Z			
[Hum]	% Humedad del nixtamal		
[Ant]	% De pérdida de antocianinas		

Al sustituirse los valores en la ecuación 3.2 se obtiene una gráfica en un plano del tipo superficie de respuesta, como la que se muestra en la Figura 3.4. Los resultados fueron analizados por medio del análisis de la varianza (Andeva o ANOVA por sus siglas en inglés) y del coeficiente de regresión R².

Al modelo anterior se le aplicó además el análisis de la varianza como prueba de diferenciación entre los datos siguiendo la metodología de Pedrero y Pangborn (1989).

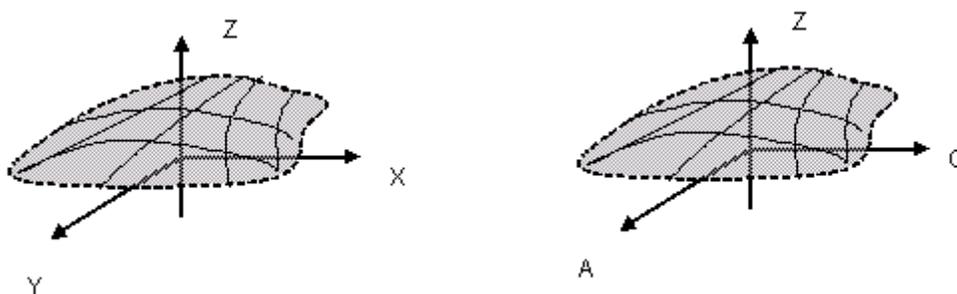


Figura 3.4. Gráfica de una superficie de respuesta para una ecuación cuadrática del tipo: $Z = b_0 + b_1C + b_2A + b_3C^2 + b_4A^2 + b_5CA + e$ (donde A es la humedad, C es la concentración y Z es la variable dependiente)

3.4 Procesos de nixtamalización

Una vez conocidas las características del grano, en especial su dureza, se procedió a realizar las pruebas de nixtamalización. Durante este proceso pueden tenerse muchas variables a considerar, como la forma de transmisión de calor, la agitación durante el calentamiento, la cantidad de agua, la cantidad de grano, la cantidad de cal, etc. Para esta investigación únicamente se tomaron como variables independientes la concentración de cal durante la nixtamalización con valores de 0.5, 1.0 y 1.5 % en masa con respecto a la masa del maíz, así como la proporción de maíz:agua empleada para el proceso de lixiviación alcalina con proporciones 1:1, 1:2 y 1:3 en volumen, para lo cual se midió el volumen ocupado por cada muestra de maíz. Para cada muestra se pesaron 250 gramos de maíz negro-azul. Las otras condiciones se mantuvieron constantes (tiempo de cocción, 45 min; temperatura de cocción, 92°C; tiempo de reposo, 16 horas). Para los procesos de nixtamalización se empleó agua destilada. Se puso el agua en un vaso de precipitados en una parrilla de calentamiento hasta alcanzar una temperatura de 92°C y se colocaron la cal y el grano de maíz, dejando la mezcla a ebullición durante 45 minutos (Figura 3.5). Posteriormente, se dejó reposar el nixtamal durante 16 horas, se drenó el nejayote y se guardó. Se realizaron tres lavados del nixtamal con agua destilada, con aproximadamente 500 mL en cada lavado, frotando los granos con las yemas de los dedos para desprender el pericarpio. El nejayote y

las aguas de lavado se almacenaron para su posterior estabilización antes de su disposición (Apéndice E).



Fig. 3.5. Proceso de nixtamalización a nivel de laboratorio

3.5 Elaboración de harinas y pruebas de retención de agua

Empleando un molino manual para granos marca Estrella se procedió a la molienda del nixtamal, haciéndolo pasar 2 veces (Figura 3.6). Después se colocó la sémola húmeda en charolas metálicas para llevarlas a un horno a 70°C hasta obtener una humedad final del 10% en las muestras (Figura 3.7).



Fig. 3.6. Molino tipo Estrella



Fig. 3.7. Harinas para secado

Posteriormente, se volvió a pasar la sémola de nixtamal por el molino para obtener una harina del tamaño de partícula establecido por la NMX- FF-034/1-SCFI-2002. Se guardó la harina en bolsas de plástico con cierre hermético en refrigeración a 6°C, hasta la elaboración de las tortillas. Para las pruebas de retención de agua se pesaron 50 gramos de

la harina y se le agregaron de 5 mL en 5 mL hasta obtener masas cohesivas y, posteriormente, se continuó agregando agua hasta que ya no pudiera ser retenida.

3.6 Elaboración de tortillas

Se tomó la harina restante al 10% y se pesó. Se agregó agua de 5 mL en 5 mL hasta tener una masa cohesiva y se dejó reposar por 30 minutos. Se elaboraron las tortillas moldeando la masa en una máquina manual tratando de mantener un espesor uniforme para, posteriormente, ser colocadas en un comal a una temperatura de 150°C cubierto con un poco de agua destilada con cal, evitando así que las tortillas se peguen a la superficie caliente. Se cocieron las tortillas por ambos lados, repitiendo el primer lado nuevamente, aproximadamente durante 2 minutos. Una vez frías, una parte de las tortillas fueron molidas en el Molino Estrella para tener harinas, que se guardaron en bolsas de plástico con cierre hermético en refrigeración a 6°C.

3.7 Elaboración de totopos

Una parte de las tortillas elaboradas fueron empleadas para la formación del producto. Se consiguió un molde (cortadora-de galletas) y se cortaron las tortillas frías por presión manual, obteniéndose figuras de triángulo equilátero de 5 cm de lado, por 0.2cm de espesor,. Los cortes triangulares de tortilla fueron secados durante una hora a 60°C. Se colocaron en una freidora marca MAXI-MATIC modelo DF-666 durante 60 segundos en aceite vegetal comercial a una temperatura de 160-180°C, para evitar productos heterogéneos. Se dejaron escurrir para eliminar el exceso de aceite. Una vez fríos, los totopos fueron molidos en el Molino Estrella para tener harinas, que se guardaron en bolsas de plástico con cierre hermético en refrigeración a 6°C.

3.8 Extracción y cuantificación de antocianinas totales en harina de maíz crudo y nixtamalizado y en harinas de tortillas y totopos

Siguiendo la metodología desarrollada por Salinas-Moreno y col. (2003) y Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán (2008), se realizó la extracción del pigmento. Se tomaron muestras de 5 g de

cada una de las cuatro harinas (cruda, nixtamalizada, de tortillas y de totopos), por duplicado, que se colocaron en matraces Erlenmeyer de 250 mL a los que se añadieron 25 mL de disolvente (metanol:ácido acético:agua; 10:1:9), realizando tres extracciones sucesivas a temperatura ambiente y con agitación por 24 horas la primera y 8 horas las dos restantes. Al inicio de cada extracción la mezcla se ajustó a un valor de pH de 3 con HCl concentrado. Al término de cada extracción se separó el disolvente de la harina y se midió el volumen. Una alícuota de 5 mL del extracto, por duplicado, se centrifugó para eliminar la turbidez empleando una centrifuga Eppendorf 5810R a 3900 rpm por 25 minutos. En esta alícuota centrifugada se midió la absorbancia en un espectrofotómetro UV-VIS GBC-911 a 520 nm. Para realizar los cálculos, se empleó una curva de calibración preparada a partir de un estándar de pelargonidina clorada (Sigma Chem. Co. St. Louis MO) en concentraciones de 0 a 20 ppm.

3.9 Pruebas sensoriales

Para corroborar la metodología de nixtamalización, se emplearon las condiciones de 1.0% de cal y una proporción de grano:agua 1:2, debido a que ésta presentó una cantidad alta en el contenido de antocianinas totales, además de que el manejo de las masas y las tortillas no presentaban dificultades para su elaboración, Se realizó la evaluación sensorial de la tortilla de maíz negro-azul contra la tortilla de maíz blanco (control). Así mismo, bajo las mismas condiciones de nixtamalización se evaluó el totopo de maíz negro-azul contra el de maíz blanco (control). Estas pruebas fueron realizadas con consumidores habituales (jueces “no entrenados” formalmente). Empleando una escala hedónica, se les pidió a los consumidores probar cada muestra y emitir su juicio de acuerdo con su nivel de agrado. Para realizar el análisis estadístico se le dio a cada atributo el valor de 1 a 9, siendo 1 “gusta muchísimo” hasta 9 “disgusta muchísimo”. En la Figura 3.8, se muestra el formato que se les brindó a los consumidores para realizar la evaluación.

3.10 Análisis bromatológico

El análisis bromatológico fue realizado a la harina de maíz negro-azul y a los productos nixtamalizados, masa de maíz, tortilla y totopo, bajo las condiciones de 1.0% de hidróxido

de calcio y una proporción de grano:agua 1:2, siendo todos de maíz negro-azul originario de Atlacomulco, Estado de México.

Edad _____ Sexo F o M																																																																
Responda las siguientes preguntas:																																																																
¿Consume productos elaborados con maíz de color?		Si	No																																																													
¿Con que frecuencia los consume?																																																																
Diario	3 veces por semana	1 vez a la semana	1 vez al mes	no consume																																																												
<p>Instrucciones: Pruebe las muestras de tortilla de izquierda a derecha e indique con una "X" su nivel de agrado, de acuerdo con la siguiente escala.</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;">Muestra 612</td> <td style="width: 40%;"></td> <td style="width: 30%; text-align: center;">Muestra 361</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta muchísimo</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta mucho</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta moderadamente</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta poco</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Ni gusta ni disgusta</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta poco</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta moderadamente</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta mucho</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta muchísimo</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </table> <p>Instrucciones: Pruebe las muestras de totopo de izquierda a derecha e indique con una "X" su nivel de agrado, de acuerdo con la siguiente escala.</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%; text-align: center;">Muestra 073</td> <td style="width: 40%;"></td> <td style="width: 30%; text-align: center;">Muestra 169</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta muchísimo</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta mucho</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta moderadamente</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Gusta poco</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Ni gusta ni disgusta</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta poco</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta moderadamente</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta mucho</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">Disgusta muchísimo</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p style="font-size: 1.2em; font-weight: bold;">Gracias por tu participación</p> </div>					Muestra 612		Muestra 361	_____	Gusta muchísimo	_____	_____	Gusta mucho	_____	_____	Gusta moderadamente	_____	_____	Gusta poco	_____	_____	Ni gusta ni disgusta	_____	_____	Disgusta poco	_____	_____	Disgusta moderadamente	_____	_____	Disgusta mucho	_____	_____	Disgusta muchísimo	_____	Muestra 073		Muestra 169	_____	Gusta muchísimo	_____	_____	Gusta mucho	_____	_____	Gusta moderadamente	_____	_____	Gusta poco	_____	_____	Ni gusta ni disgusta	_____	_____	Disgusta poco	_____	_____	Disgusta moderadamente	_____	_____	Disgusta mucho	_____	_____	Disgusta muchísimo	_____
Muestra 612		Muestra 361																																																														
_____	Gusta muchísimo	_____																																																														
_____	Gusta mucho	_____																																																														
_____	Gusta moderadamente	_____																																																														
_____	Gusta poco	_____																																																														
_____	Ni gusta ni disgusta	_____																																																														
_____	Disgusta poco	_____																																																														
_____	Disgusta moderadamente	_____																																																														
_____	Disgusta mucho	_____																																																														
_____	Disgusta muchísimo	_____																																																														
Muestra 073		Muestra 169																																																														
_____	Gusta muchísimo	_____																																																														
_____	Gusta mucho	_____																																																														
_____	Gusta moderadamente	_____																																																														
_____	Gusta poco	_____																																																														
_____	Ni gusta ni disgusta	_____																																																														
_____	Disgusta poco	_____																																																														
_____	Disgusta moderadamente	_____																																																														
_____	Disgusta mucho	_____																																																														
_____	Disgusta muchísimo	_____																																																														

Fig. 3.8 Formato para las pruebas sensoriales

3.10.1 Determinación de humedad. Método por secado en estufa (Kirk y col., 1996)

Se colocaron en un pesafiltro con tapa de masa conocida (después de ponerlo a masa constante 2 horas a 130°C aproximadamente) la cantidad necesaria de muestra para formar una capa de no más de 1 cm de profundidad. Tapando el pesafiltros para transportar y colocar en una estufa a 100-110°C, donde se dejó destapado para permitir el secado. Después de 2 horas, se retiró de la estufa y fue colocado dentro de un desecador. Una vez frío en el desecador, se quitó la tapa y se pesó tan pronto como se equilibrio con la temperatura ambiente. Se repitió el proceso de secado hasta obtener masa constante. Se calculó el porcentaje de humedad, reportándolo como pérdida por secado a 100-110°C.

3.10.2 Humedad por termobalanza (NMX-F-428-1982, 1982)

Para las muestras de nixtamal y la elaboración de harinas al 10% se llevó a cabo la determinación de humedad por esta técnica. Se colocó la charola de aluminio en el espacio destinado para ello en la termobalanza, pesando de 8 a 10 g de muestra y formando una capa lo más homogénea posible. Se enciende el equipo, de marca O'Haus modelo MB200. Se registró la pérdida de masa o en su caso, el porcentaje de humedad, durante 20 minutos. Se calculó el porcentaje de humedad.

3.10.3 Método cenizas totales (Kirk y col., 1996)

Se colocaron crisoles a masa constante durante 2 horas aproximadamente en una mufla a 600°C. Se pesaron de 3 a 5 g de muestra en cada uno de los crisoles (la muestra no debió sobrepasar la mitad del crisol) previamente calibrado a masa constante. Se calcinó la muestra, primeramente con un mechero en la campana hasta que no se desprendieran humos y posteriormente se introdujo a la mufla durante 2 horas cuidando que la temperatura no excediera de 550°C. Cuando las cenizas estaban ya de color blanco o ligeramente grises, homogéneas, se retiraron de la mufla y se dejaron enfriar en un desecador para después ser pesadas. Se calculó el porcentaje de cenizas de cada muestra.

3.10.4 Método de Goldfisch (Pomeranz y Meloan, 2000)

Se colocó un vaso para Goldfisch en la estufa a 100°C hasta masa constante, aproximadamente 2 horas. Se pesaron de 4 a 5 g de cada muestra sobre un papel, enrollándolo y colocándolo en un cartucho de celulosa, tapando con un algodón. Se situó cada cartucho en un recipiente con el fondo perforado y fue colocado en el contenedor del equipo. Se adicionaron en el vaso para Goldfisch aproximadamente 40 mL del disolvente (éter etílico) y se colocó en el equipo mediante un anillo de hierro con empaque de hule. Se subió la parrilla, para posteriormente girar el vaso y evitar fugaz del disolvente. Se calentó hasta la extracción completa de la grasa. Para verificar que se ha extraído toda la grasa, se dejó caer una gota de la descarga sobre papel filtro, al evaporarse el disolvente no debió dejar residuo de grasa. Al finalizar, se cambió el contenedor del cartucho por un recipiente sin perforación y se calentó de nuevo para recuperar el disolvente del vaso. Se quitó el vaso del equipo y se secó el extracto en una estufa a 100°C por 30 minutos, dejando enfriar y pesando posteriormente para calcular el porcentaje de grasa.

3.10.5 Determinación de proteínas. Método de Kjeldhal

Se pesaron de 0.1-0.2g de muestra y se colocó en un tubo de Kjeldhal, agregando una pastilla que contenía los catalizadores con 0.15g de sulfato de cobre pentahidratado, 2.5g de sulfato de potasio o sulfato de sodio y adicionando 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. Se precalentó el aparato a 360°C. Se colocaron los tubos en el portatubos del equipo Kjeldhal y después en el bloque de calentamiento. Se acomodó la unidad de evacuación de gases con las juntas colocadas sobre los tubos de digestión. Se accionó la trampa de succión de gases antes de que se produzcan estos, calentando hasta total destrucción de la materia orgánica, es decir hasta que el líquido quede translúcido, con una coloración azul verdosa. Una vez finalizada la digestión, sin retirar la unidad de evacuación de gases, se colgaron en el portatubos para enfriar. En un matraz Erlenmeyer de 250 mL se puso la muestra de los tubos y se adicionó el ácido bórico al 0.5% con indicadores (fenolftaleína, 0.035mg; rojo de metilo, 6.6mg; verde de bromocresol, 3.3mg). Se conectó el aparato de destilación y se esperó unos instantes para que se generara vapor. Se colocó el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en un volumen no mayor de 10 mL de agua destilada,

en el aparato de destilación cuidando de introducir el tubo hasta el fondo de la solución. Se adicionó sosa al 36% (hasta 40 mL aproximadamente), se procedió a destilar. Se tituló el exceso de ácido bórico, con una solución de HCl 0.1N. Se calculó el % de proteína considerando las reacciones que se llevan a cabo.

3.10.6 Determinación de hidratos de carbono

La determinación de hidratos de carbono se realizó por diferencia, conociendo las proporciones de los otros componentes de las muestras:

$$\% \text{ Hidratos de Carbono} = 100\% - (\% \text{ humedad} + \% \text{ cenizas} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ grasas})$$

3.11 Análisis estadísticos

El análisis estadístico de los datos de la retención de agua en las masas y del contenido total de antocianinas se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), utilizando el programa estadístico STATISTICA, a 95% de confianza; así como la regresión múltiple, la cual tiene como propósito analizar las relaciones entre dos o más variables independientes y una sola variable dependiente, generando superficies de respuesta y los contornos de respuesta, que muestren el comportamiento de estas relaciones.

Para el análisis estadístico en la prueba de densidad hectolítrica se empleó como herramienta una prueba de t de Student, a un nivel de confianza del 95% para ambos maíces. De igual manera para el análisis estadístico de las pruebas sensoriales, se realizó una t de Student al 95% de confianza. Para los resultados de los análisis bromatológicos se estimaron la desviación estándar de las muestras y su coeficiente de variación. Para estos análisis se empleó una hoja de cálculo elaborada con el programa Microsoft Excel 2003.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados para las pruebas de calidad del grano

Tanto el maíz de color como el maíz blanco se almacenaron en refrigeración a 4°C, después de su cosecha en Atlacomulco, Estado de México, en el mes de diciembre del año 2008 hasta el inicio de la investigación en enero de 2009 (Fig.4.1). Una vez que se iniciaron las pruebas, los costales de maíz fueron homogenizados para, posteriormente, ser desgranados manualmente en el laboratorio. Ambos maíces, negro-azul y blanco, no presentaron olores a moho, humedad, fermentación, putrefacción, rancidez ni cualquier otro olor extraño.



Fig. 4.1 Maíz en refrigeración

La Tabla 4.1, muestran los resultados de las pruebas de “peso” hectolítrico, “peso” de mil granos e índice de flotación, realizadas para conocer la calidad de los granos de maíz negro-azul y de maíz blanco, que fueron empleados para el desarrollo del proyecto. De acuerdo con lo especificado en la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, en donde se señalan las pruebas de calidad del grano de maíz para procesos de nixtamalización, estrictamente la densidad hectolítrica mínima para un maíz tipo comercial debe ser de 74 kg/hL. Sin embargo, también se observa que esta diferencia no es estadísticamente significativa con un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ (Ver Apéndice B), para ambos maíces negro-azul y blanco, como para que ninguno pudiera dejar de considerarse un producto que no pudiera comercializarse. Además, debe considerarse que dicha norma no es de carácter obligatorio.

Tabla 4.1. Resultados de las pruebas de “peso” hectolítrico, “peso” de mil granos e índice de flotación para maíz blanco y maíz negro azul de Atlacomulco Estado de México

Resultados de las pruebas de “peso” hectolítrico				
Maíz / Muestra	1	2	3	Promedio
Negro-azul	70.2 kg/hL	72.5 kg/hL	73.1 kg/hL	71.9± 1.5 kg/hL
Blanco	74.4 kg/hL	70.6 kg/hL	72.1 kg/hL	72.4± 1.9 kg/hL
“Peso”de 1000 granos				
Maíz / Muestra	1	2	3	Promedio
Negro-azul	363.99 g	387.11 g	355.60 g	368.90 ± 16.3 g
Blanco	291.59 g	259.41 g	341.27 g	297.42 ± 41.2 g
Resultados de la prueba de índice de flotación				
Maíz	Volumen de agua promedio (mL)		% Índice de flotación	
Negro-azul	61.5		6	
Blanco	46.5		1.5	

El método para la determinación indirecta de la dureza del grano es el índice de flotación que dice: que los granos duros son de mayor densidad y, por lo tanto, tales granos flotan en menor cantidad que los granos de menor densidad. De acuerdo con las especificaciones de la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002, al obtener en las muestras evaluadas un índice de flotación menor al 12% puede decirse que se tiene un grano muy duro. De la misma forma puede observarse que el maíz negro-azul que presenta un índice de flotación del 6% es más duro que cualquier maíz comercial que pudiera cumplir con la anterior norma. Esto se debe a que, por costumbre, los campesinos de la región lo cosechan hasta el invierno, para que; las heladas lo “cristalicen”. A la vez resultó ser menos denso y duro que el maíz blanco de la región cosechado en los meses de otoño ya que manifestó un índice seis veces menor. Siguiendo las recomendaciones de la mencionada norma mexicana mencionada anteriormente, se optó por un tiempo de nixtamalización de 45 minutos para maíces con índice de flotación menor a 12.

4.2 Resultados para el proceso de nixtamalización y elaboración de harinas

Los datos obtenidos se concentran en la Tabla 4.2, en la que se plasman las características observadas en las harinas elaboradas con maíz negro-azul, para las variaciones del proceso de nixtamalización. Se incluye la clave de identificación para las harinas (H) la concentración de cal en porcentaje (p/p) (C), la proporción de maíz:agua (A) empleada y

las características físicas de las harinas obtenidas. Pueden observarse las imágenes en el acervo fotográfico del Apéndice D.

Tabla 4.2. Características de las harinas obtenidas bajo distintos métodos de nixtamalización

Clave muestras	Muestra	Ca(OH) ₂ (% p/p)	Proporciones Maíz:Agua	Características
H0	Harina de maíz negro-azul cruda	0	-	La harina es de un color grisáceo
H C0 A3	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	0	1:3	No hay desprendimiento del pericarpio, al realizar la molienda pequeños pedazos del pericarpio y del germen son apreciables, la harina tiene un color grisáceo
H C1 A1	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	0.5	1:1	No hay desprendimiento del pericarpio durante los lavados, al realizar la molienda pequeños pedazos del pericarpio y del germen son apreciables, la harina tiene un color morado-violeta
H C1 A2	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	0.5	1:2	No hay desprendimiento del pericarpio durante los lavados, al realizar la molienda pequeños pedazos del pericarpio y del germen son apreciables, la harina tiene un color morado-violeta
H C1 A3	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	0.5	1:3	No hay desprendimiento del pericarpio durante los lavados, al realizar la molienda pequeños pedazos del pericarpio y del germen son apreciables, la harina tiene un color morado-violeta
H C2 A1	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.0	1:1	El desprendimiento del pericarpio es fácil de realizar durante el lavado, en la molienda la harina tiene un aspecto no homogéneo con un color morado-violeta
H C2 A2	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.0	1:2	El desprendimiento del pericarpio es fácil de realizar durante el lavado, en la molienda la harina tiene un aspecto no homogéneo con un color morado-violeta
H C2 A3	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.0	1:3	El desprendimiento del pericarpio es fácil de realizar durante el lavado, en la molienda la harina tiene un aspecto no homogéneo con un color morado-violeta intenso
H C3 A1	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.5	1:1	El desprendimiento del pericarpio se realiza con facilidad durante los lavados, la harina tiene aspecto homogéneo y color morado.
H C3 A2	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.5	1:1	El pericarpio se desprende del grano durante el lavado, debiendo aplicar un esfuerzo y en la molienda la harina tiene un color morado-violeta
H C3 A3	Harina de maíz negro-azul nixtamalizada	1.5	1:1	El desprendimiento del pericarpio se realiza con facilidad durante los lavados, la harina tiene aspecto homogéneo y color morado

Se observó que, para la ausencia de cal y a la concentración más baja de la misma, el pericarpio prácticamente no se ablanda por hidrólisis alcalina y quizás debido a que el mismo podría actuar como una barrera física que aísla a la aleurona que contiene la mayor proporción de antocianinas del medio líquido alcalino. El nejayote presentó valores de pH entre 7 y 8 y muestra un color blanco tipo “lechada” y una consistencia semejante a la del agua (a la vista), el maíz cocido manifiesta un intenso color violeta casi negro.

A la concentración media de hidróxido de calcio se requiere de cierta fricción para desprender el pericarpio. A simple vista se observó una disminución del color con respecto a las contrapartes anteriores que podría ser debido a que, por el ablandamiento de la cascarilla, el medio acuoso alcalino penetra con mayor facilidad hacia la aleurona y ataca a las antocianinas. El nejayote tiene un pH entre 10 y 11, es ligeramente amarillo y de baja viscosidad (visualmente un poco mayor a la del agua). El maíz cocido muestra una coloración morada con tendencia al púrpura.

A la cantidad de cal más alta añadida, el pericarpio se desprende por sí solo. El nejayote presentó un pH entre 12 y 13, se ve de un color amarillo “manila” intenso, muy viscoso semejante a una “crema de elote” de manera visual. La coloración del maíz disminuyó considerablemente con respecto a la primera muestra y se tornó violeta tipo liliáceo.

Podría suceder que las antocianinas, las cuales están contenidas en la capa de la aleurona (fracción proteínica del maíz debajo del pericarpio) sufren una hidrólisis alcalina por estar expuestas al pH del medio.

En la Tabla 4.3 se observan los resultados para las pruebas de porcentaje de humedad en las harinas de maíz nixtamalizado, para la cantidad de agua retenida por cada cincuenta gramos de harina, para la cantidad de masa obtenida (gramos) y para el porcentaje final de humedad en las masas. En esta tabla se ve que prácticamente no hay variación para la humedad final de los granos nixtamalizados. Sin embargo, la humedad final de las masas tiende a elevarse ligeramente a los niveles más altos de alcalinización. Esto quizás se deba a la hidrólisis alcalina de los almidones, fenómeno que eleva sus índices de absorción y solubilidad en agua (Sánchez-Tovar, 2007).

Si los datos de la Tabla 4.3 para la columna porcentaje de humedad en las masas [**Hum**], se llevan por medio de un análisis de regresión múltiple, se obtiene una ecuación de tipo:

$$[\mathbf{Hum}] = 69.40 + 3.78C - 0.255A + 0.657 C^2 - 0.208A^2 + 0.382CA + 1.8319 \quad (4-1)$$

Y ésta se expresa en la Figura 4.2 como una superficie de respuesta de tipo pendiente suave y ascendente *en dirección del aumento las concentraciones*. Se ve que el porcentaje de humedad en las masas tiende a aumentar en forma directamente proporcional a la concentración de cal.

Tabla 4.3. Pruebas de retención de agua en harinas nixtamalizadas de maíz negro-azul

Muestra	[Hum] % Humedad del nixtamal	Cantidad de agua retenida por 50g de harina (mL)	Cantidad de masa (g)	% humedad de las masas
H C1A1	44.85	70	111	67.57
H C1A2	49.66	65	108	64.81
H C1A3	49.12	65	106	66.04
H C2A1	48.95	70	110	68.18
H C2A2	49.9	75	112	71.43
H C2A3	49.95	70	110	68.18
H C3A1	50.9	80	115	73.91
H C3A2	49.34	80	116	73.28
H C3A3	49.76	80	115	73.91

Si se observa la Figura 4.3 que el contorno de respuesta en curvas de nivel, también va en dirección del *aumento de las concentraciones*. La retención de agua es importante de alguna manera dada la estructura química que da alta hidrosolubilidad a las antocianinas.

De acuerdo con la regresión de la Tabla B.1 del Apéndice B se observa que hay una buena correlación de resultados $R^2 = 0.8969$ es decir casi un 90% de explicación del fenómeno, debido a que los datos obtenidos para la retención de agua por las masas de maíz nixtamalizado se ajustan a la ecuación cuadrática (4-1) obtenida, lo que permite calificarlos como aceptables. Al realizar el análisis de la varianza de los datos de la misma tabla, al 5% de significancia, se demuestra que para la variable de la concentración de hidróxido de calcio sí hay diferencia significativa al interior del experimento, mas no para la variación de la relación grano:agua. Así mismo, en el análisis de regresión múltiple, se observa también que la variable más significativa es la concentración de cal por sobre la relación grano:agua. Por lo tanto, los fenómenos ocurridos para el caso de las harinas de maíz negro-azul nixtamalizado, deben estudiarse con respecto a esta última variable.

Superficie de respuesta para la variación del % de humedad en masas de maíz azul nixtamalizado

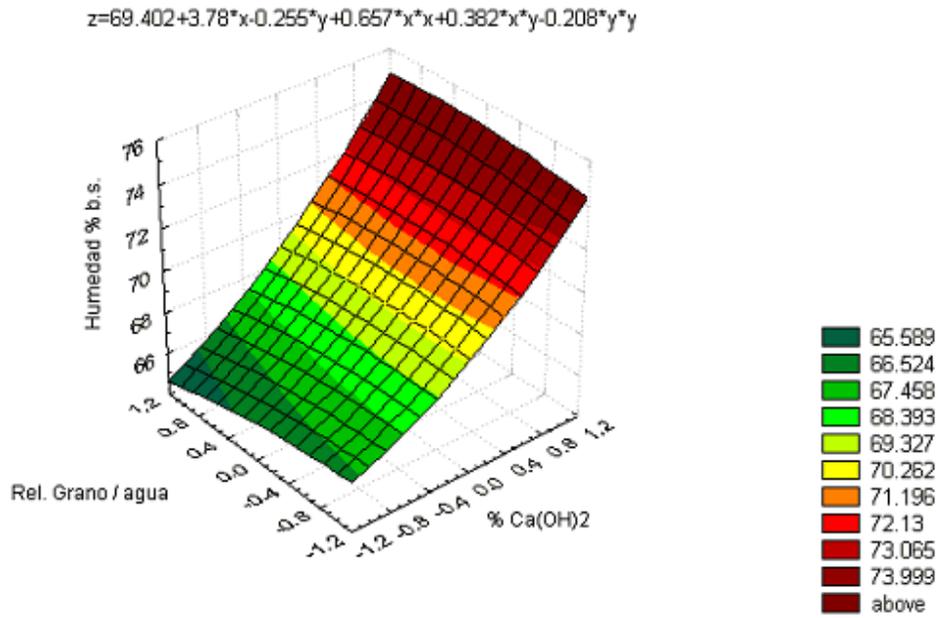


Fig. 4.2. Superficie de respuesta para la variación de la humedad en masas de maíz negro-azul nixtamalizado

Contorno de respuesta para la variación del % de la humedad en masas de maíz azul nixtamalizado

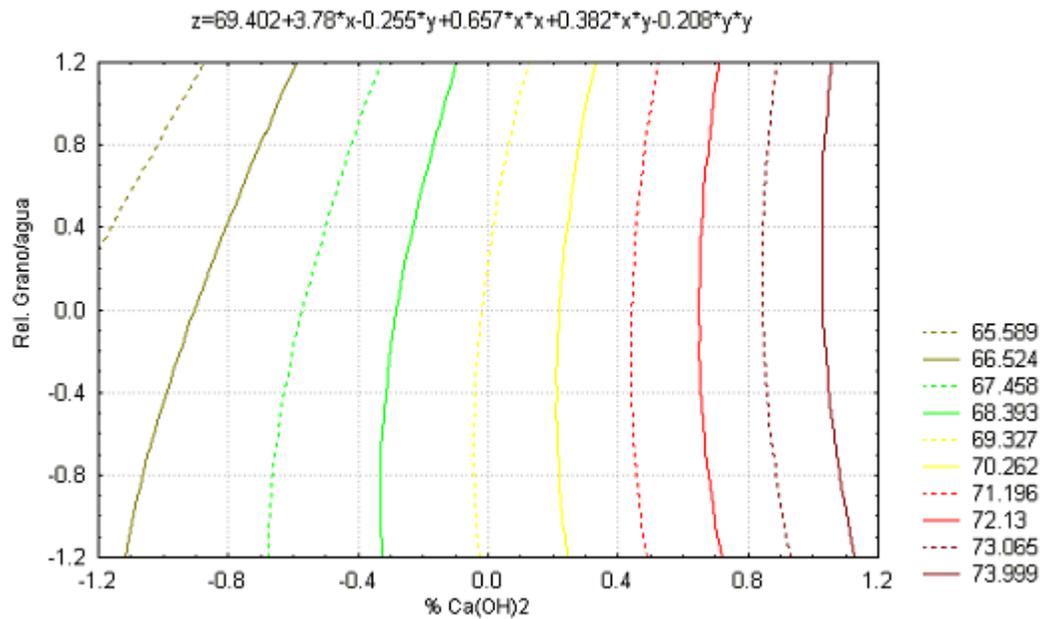


Fig. 4.3. Contorno de respuesta para la variación de humedad en masas de maíz negro-azul nixtamalizado

4.3 Resultados para características físicas en la elaboración de tortillas y totopos evaluadas visualmente

Como se mencionó en la Metodología, la formación de tortillas se llevó a cabo de manera manual empleando una prensa metálica (sin marca). En la Tabla 4.4 se plasman las características observadas en los productos elaborados con maíz negro-azul, para las variaciones del proceso de nixtamalización. Se incluye la clave de identificación (T para las tortillas y P para los totopos), la concentración de cal en porcentaje (m/m) (C), la proporción de maíz:agua (A) empleada y las características físicas de los productos obtenidos, durante su elaboración y al finalizar el proceso de elaboración. Para el caso de las tortillas evaluadas visualmente, considerando *el aumento de las concentraciones*, se observó que la facilidad de manejo de la masa con que se elaboraron aumenta con el aumento de la concentración de hidróxido de calcio. Las tortillas ganan flexibilidad conforme aumenta la concentración de cal y a bajas concentraciones son quebradizas al ser enrolladas. Sin embargo, se presentó la degradación del color púrpura del producto con una menor concentración de cal en un tiempo de 60 minutos. En las tortillas de concentración intermedia, la degradación de la coloración en un tiempo de 30 minutos genera tonalidades verde opaco y, para las concentraciones de hidróxido de calcio mayores, los cambios de color son evidentes en un tiempo menor de diez minutos. Cabe mencionar que todas las tortillas fueron enfriadas a temperatura ambiente (20°C). Pueden observarse las imágenes en el acervo fotográfico del Apéndice D.

Para la elaboración de los totopos, estos fueron sometidos al tratamiento térmico en aceite vegetal de maíz durante 1 minuto y enfriados a temperatura ambiente. A diferencia de las tortillas, estos no presentaron cambios significativos en coloración a simple vista. El color de las muestras era un púrpura oscuro.

Estos cambios observados durante la elaboración de los productos, tanto tortillas como totopos, pueden ser debidos a que en la matriz alimenticia se encuentran presentes hidratos de carbono, proteínas, lípidos y las antocianinas y todos ellos estuvieron sometidos a los procesos térmicos posteriores a la nixtamalización para su elaboración.

Tabla 4.4 Características de los productos elaborados con maíz negro-azul bajo distintos procesos de nixtamalización

Clave muestras	Muestra	%Ca(OH) ₂	Proporciones Maíz:Agua	Características
T C1 A1	Tortilla de maíz negro-azul	0.5	1:1	La masa era poco cohesiva y era difícil de manejar. Después de la cocción la tortilla se rompe fácilmente al doblarla o al intentar enrollarla. Presenta un color violeta pero al exponerse al aire y la luz y guardarse en una bolsa de plástico el color de la tortilla cambia a un verde opaco al cabo de unos 60 minutos
T C1 A2	Tortilla de maíz negro-azul	0.5	1:2	La masa era poco cohesiva y era difícil de manejar. Después de la cocción la tortilla se rompe fácilmente al doblarla o al intentar enrollarla. Presenta un color violeta pero al exponerse al aire y la luz y guardarse en una bolsa de plástico el color de la tortilla cambia a un verde intenso al cabo de unos 60 minutos
T C1 A3	Tortilla de maíz negro-azul	0.5	1:3	La masa era poco cohesiva y era difícil de manejar. Después de la cocción la tortilla se rompe fácilmente al doblarla o al intentar enrollarla. Presenta un color violeta uniforme y estable.
T C2 A1	Tortilla de maíz negro-azul	1.0	1:1	La masa es más cohesiva y por tanto se maneja con mayor facilidad. Después de la cocción la tortilla no se rompe tan fácilmente al ser doblada, pero aun cuesta trabajo enrollarla. Presenta un color violeta, pero al exponerse al aire y la luz y guardarse en una bolsa de plástico y el color de la tortilla cambia a un verde opaco al cabo de unos 30 minutos
T C2 A2	Tortilla de maíz negro-azul	1.0	1:2	La masa es más cohesiva y por tanto se maneja con mayor facilidad. Después de la cocción la tortilla no se rompe tan fácilmente al ser doblada, pero aun cuesta trabajo enrollarla. Presenta un color violeta, pero al exponerse al aire y la luz y guardarse en una bolsa de plástico y el color de la tortilla cambia a un verde opaco al cabo de unos 30 minutos
T C2 A3	Tortilla de maíz negro-azul	1.0	1:3	La masa es más cohesiva y por tanto se maneja con mayor facilidad. Después de la cocción la tortilla no se rompe tan fácilmente al ser doblada, pero aun cuesta trabajo enrollarla. Presenta un color violeta, pero al exponerse al aire y la luz y guardarse en una bolsa de plástico y el color de la tortilla cambia a un verde opaco al cabo de unos 40 minutos
T C3 A1	Tortilla de maíz negro-azul	1.5	1:1	La masa es perfectamente manejable, muy cohesiva. Después de la cocción la tortilla no se rompe al doblarla y puede ser enrollada. En la cocción presenta un color violeta, pero este se cambia a un verde opaco al cabo de 10 minutos.
T C3 A2	Tortilla de maíz negro-azul	1.5	1:2	La masa es perfectamente manejable, muy cohesiva. Después de la cocción la tortilla no se rompe al doblarla y puede ser enrollada. En la cocción presenta un color violeta, pero este se cambia a un verde opaco al cabo de 10 minutos
T C3 A3	Tortilla de maíz negro-azul	1.5	1:3	La masa es perfectamente manejable, muy cohesiva. Después de la cocción la tortilla no se rompe al doblarla y puede ser enrollada. En la cocción presenta un color violeta, pero este se cambia inmediatamente a un verde opaco
P C1 A1	Totopo de maíz negro-azul	0.5	1:1	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C1 A2	Totopo de maíz negro-azul	0.5	1:2	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C1 A3	Totopo de maíz negro-azul	0.5	1:3	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C2 A1	Totopo de maíz negro-azul	1.0	1:1	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C2 A2	Totopo de maíz negro-azul	1.0	1:2	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C2 A3	Totopo de maíz negro-azul	1.0	1:3	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C3 A1	Totopo de maíz negro-azul	1.5	1:1	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C3 A2	Totopo de maíz negro-azul	1.5	1:2	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad
P C3 A3	Totopo de maíz negro-azul	1.5	1:3	Tiene una coloración morada y se rompen con facilidad

Estos procesos pueden generar reacciones de oscurecimiento no enzimático, de caramelización, interacción lípido-proteína, lípido-carbohidrato, la formación de compuestos cromóforos y reacciones de degradación de las antocianinas. Se sugiere realizar un estudio más a fondo acerca de este tipo de compuestos que se pudiesen estar generando durante los procesos para la elaboración de productos de maíz de color nixtamalizado, posiblemente empleando técnicas cromatográficas para la identificación de estos posibles compuestos y para explicar sus interacciones.

4.4 Resultados para la extracción y cuantificación de antocianinas

A continuación, en la Tabla 4.5 y en la Figura 4.4, se muestra la curva patrón de pelargonidina clorada (Sigma Chem. Co.St. Louis MO) en concentraciones de 2 a 20 ppm. En la Figura 4.4 se observa que el coeficiente de correlación lineal es de 0.9994, muy cercano a 1, lo que nos indica que la ecuación obtenida para la regresión lineal puede ser empleada para interpolar los resultados de los extractos evaluados por espectrofotometría.

Tabla 4.5. Curva patrón de pelargonidina clorada

[Pelargonidina] ppm	Abs
2	0.126
4	0.264
8	0.514
12	0.746
16	1.024
20	1.285

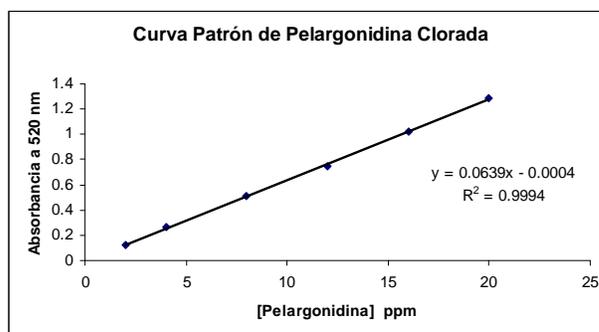


Fig. 4.4. Curva patrón de pelargonidina clorada

Los extractos fueron evaluados cuantitativamente por espectrofotometría, obteniendo cuatro datos para cada una de las muestras. En la Tabla 4.6 se muestran los valores promedio del contenido de antocianinas, así como la clave de la muestra y el porcentaje de pérdida de éstas con respecto a las harinas de maíz crudo. Los datos completos se pueden ver en el Apéndice A.

Tabla 4.6 Contenido promedio de antocianinas [A_{nt}], en harina cruda, harina nixtamalizada, tortillas y totopos

Muestra	Clave	Promedio de antocianinas (mg/kg)	% de pérdida de antocianina
Harina de maíz crudo	CRUDO	154.71	0
Harinas nixtamalizadas			
Harina; 0.5% cal; 1:1 grano:agua	H C1A1	104.41	32.51
Harina; 0.5% cal; 1:2 grano:agua	H C1A2	84.82	45.17
Harina; 0.5% cal; 1:3 grano:agua	H C1A3	93.15	39.79
Harina; 1.0% cal ; 1:1 grano:agua	H C2A1	94.56	38.88
Harina; 1.0% cal; 1:2 grano:agua	H C2A2	93.4	39.63
Harina; 1.0% cal; 1:3 grano:agua	H C2A3	94.29	39.05
Harina; 1.5% cal; 1:1 grano:agua	H C3A1	79.08	48.89
Harina; 1.5% cal; 1:2 grano:agua	H C3A2	84.71	45.25
Harina; 1.5% cal; 1:3 grano:agua	H C3A3	87.77	43.27
Tortillas			
Tortilla; 0.5% cal; 1:1 grano:agua	T C1A1	58.69	62.06
Tortilla; 0.5% cal; 1:2 grano:agua	T C1A2	56.16	63.70
Tortilla; 0.5% cal; 1:3 grano:agua	T C1A3	77.8	49.71
Tortilla; 1.0% cal ; 1:1 grano:agua	T C2A1	66.73	56.87
Tortilla; 1.0% cal; 1:2 grano:agua	T C2A2	58.81	61.99
Tortilla; 1.0% cal; 1:3 grano:agua	T C2A3	54.12	65.02
Tortilla; 1.5% cal; 1:1 grano:agua	T C3A1	66.2	57.21
Tortilla; 1.5% cal; 1:2 grano:agua	T C3A2	58.48	62.20
Tortilla; 1.5% cal; 1:3 grano:agua	T C3A3	54.97	64.47
Totopos			
Totopo; 0.5% cal; 1:1 grano:agua	P C1A1	49.32	68.12
Totopo; 0.5% cal; 1:2 grano:agua	P C1A2	43.56	71.84
Totopo; 0.5% cal; 1:3 grano:agua	P C1A3	47.44	69.34
Totopo; 1.0% cal ; 1:1 grano:agua	P C2A1	49.67	67.89
Totopo; 1.0% cal; 1:2 grano:agua	P C2A2	42.62	72.45
Totopo; 1.0% cal; 1:3 grano:agua	P C2A3	45.18	70.80
Totopo; 1.5% cal; 1:1 grano:agua	P C3A1	40.42	73.87
Totopo; 1.5% cal; 1:2 grano:agua	P C3A2	43.83	71.67
Totopo; 1.5% cal; 1:3 grano:agua	P C3A3	44.26	71.39

4.4.1 Contenido promedio de antocianinas totales en harina de maíz negro-azul nixtamalizado

De acuerdo con la regresión de la Tabla B.2 del Apéndice B, se observa que hay una buena correlación de resultados, $R^2 = 0.7960$. Se tiene casi un 80% de explicación del contenido de antocianinas en las harinas de maíz nixtamalizado, lo que permite aceptarlos. Por el análisis de la varianza de la misma tabla, se demuestra que no hay diferencia significativa al interior del experimento para la variable concentración de hidróxido de calcio, así como para la variación de la relación grano:agua, ambas consideradas al 5% de significancia. Revisando la regresión múltiple de la misma tabla, se observa que la variable más significativa es la concentración de hidróxido de calcio por sobre la relación grano:agua de trabajo. Por lo tanto, los fenómenos ocurridos para el caso del contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul nixtamalizado, deben estudiarse con respecto a la concentración de hidróxido de calcio.

Corroborando lo anterior, se observa, que si los datos de la Tabla 4.6 para el contenido total de antocianinas en las harinas de maíz negro-azul nixtamalizado $[A_{nt}]$ se analizan por medio de un análisis de regresión múltiple, se genera una ecuación de tipo:

$$[A_{nt}] = 91.03 - 5.13C - 0.47A - 5.09 C^2 + 4.56A^2 + 4.98CA + 5.48 \quad (4-2)$$

donde se observa que la variable con mayor significancia es la concentración de hidróxido de calcio, la cual es diez veces más significativa que la proporción grano:agua. Ésta se expresa en la Figura 4.5 como una superficie de respuesta del tipo “silla de montar descendiente y con tendencia a un mínimo en el centro” pero, conservando la tendencia ascendente hacia el aumento de las concentraciones de hidróxido de calcio.

Al observar la Figura 4.6, que es el contorno de respuesta representado en curvas de nivel, se tiene la presencia de un vado para las concentraciones de cal de 0.5 y 1.0% y una proporción de grano:agua de 1:2. Este gráfico, a pesar de la depresión, también conserva su tendencia en dirección del *aumento de las concentraciones* de hidróxido de calcio.

Superficie de respuesta para la retención de antocianinas en maíz azul nixtamalizado

$$z=91.039-5.137*x-0.473*y-5.093*x*x+4.987*x*y+4.567*y*y$$

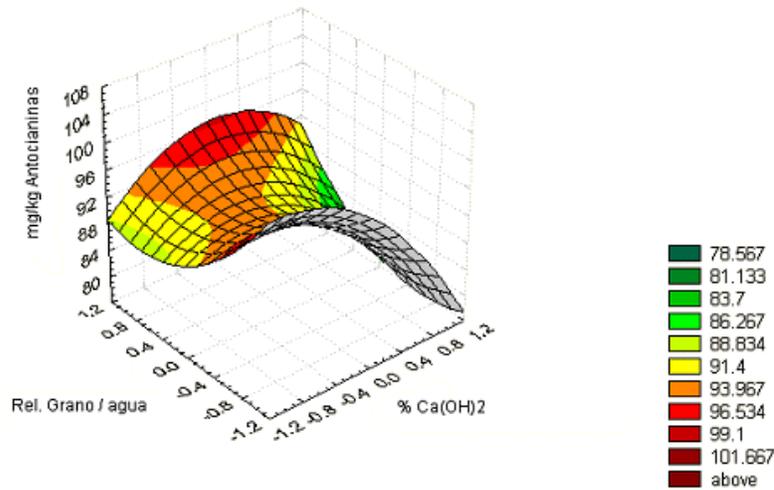


Fig. 4.5. Superficie de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul nixtamalizado

Contorno de respuesta para el contenido de antocianinas en harinas de maíz azul nixtamalizado

$$z=91.039-5.137*x-0.473*y-5.093*x*x+4.987*x*y+4.567*y*y$$

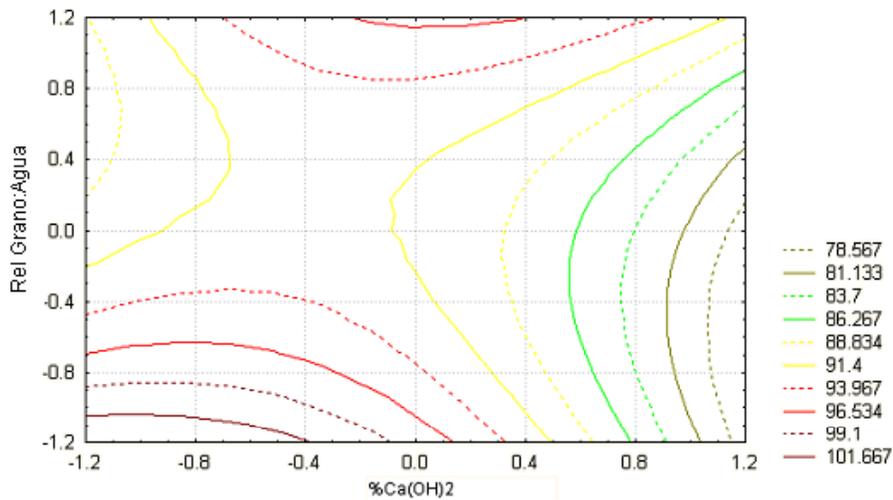


Fig. 4.6 Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en harinas de maíz negro-azul nixtamalizado

4.4.2 Contenido promedio de antocianinas totales en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado

De acuerdo con la regresión de la Tabla B.3 del Apéndice B se observa que hay una buena correlación de resultados, $R^2 = 0.7033$. Es decir, casi un 70% de explicación en la

concentración de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado, lo que permite aceptarlos. Por el análisis de la varianza de la misma tabla se demuestra que no hay diferencia significativa al interior del experimento para la variable concentración de hidróxido de calcio.

Tampoco hay diferencia significativa para la variación de la relación grano:agua, ambas medidas al 5% de significancia. Revisando la regresión múltiple de la misma tabla, se observa que la variable más significativa es la concentración de hidróxido de calcio por sobre la proporción grano:agua de trabajo. Si los datos de la Tabla 4.6 para el contenido total de antocianinas en las tortillas elaboradas con harinas maíz negro-azul nixtamalizado $[A_{nt}]$ se analizan por medio de un análisis de regresión múltiple se obtiene una ecuación del tipo:

$$[A_{nt}] = 56.37 - 2.16C - 0.78A + 2.16 C^2 + 5.26A^2 - 7.58CA + 6.77 \quad (4-3)$$

Según la ecuación anterior se observa que la variable con mayor significancia en la pérdida de antocianinas durante el proceso de elaboración de las tortillas es el contenido de cal, el cual es tres veces mayor que la variable de la proporción de grano:agua. También se puede apreciar que la interacción entre ambas variables (-7.58CA) es más significativa que cualquier otra. Expresándose como lo muestra la Figura 4.7 una superficie de respuesta de tipo “cañada descendiente” con dirección hacia el aumento de las concentraciones de hidróxido de calcio. Esta misma gráfica se reinterpreta en la Figura 4.8 como un contorno de respuesta en curvas de nivel, que también va en dirección del aumento de las concentraciones de hidróxido de calcio.

Este tipo de comportamiento en el cual la interacción entre ambas variables tuvo una mayor relevancia, quizá fue debido a que durante el cocimiento de las tortillas los gránulos de almidón que fueron hinchados por el agua durante la nixtamalización, sufrieron la evaporación de ésta de una manera rápida. Esto podría haber sido posible debido a que no se podía tener un adecuado control de la temperatura del proceso generando vapor de agua sobrecalentado, el cual pudiera haber degradado las antocianinas, pero esto puede ser tema de otra investigación.

Superficie de respuesta para el contenido de antocianinas en tortillas de maíz azul nixtamalizado

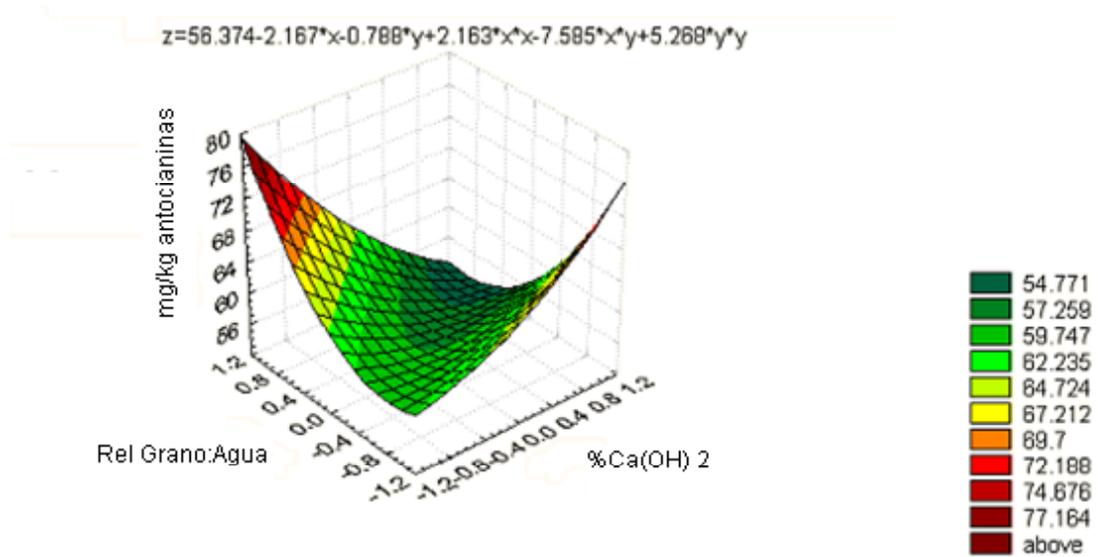


Fig. 4.7. Superficie de respuesta para la variación en el contenido de antocianinas en tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado

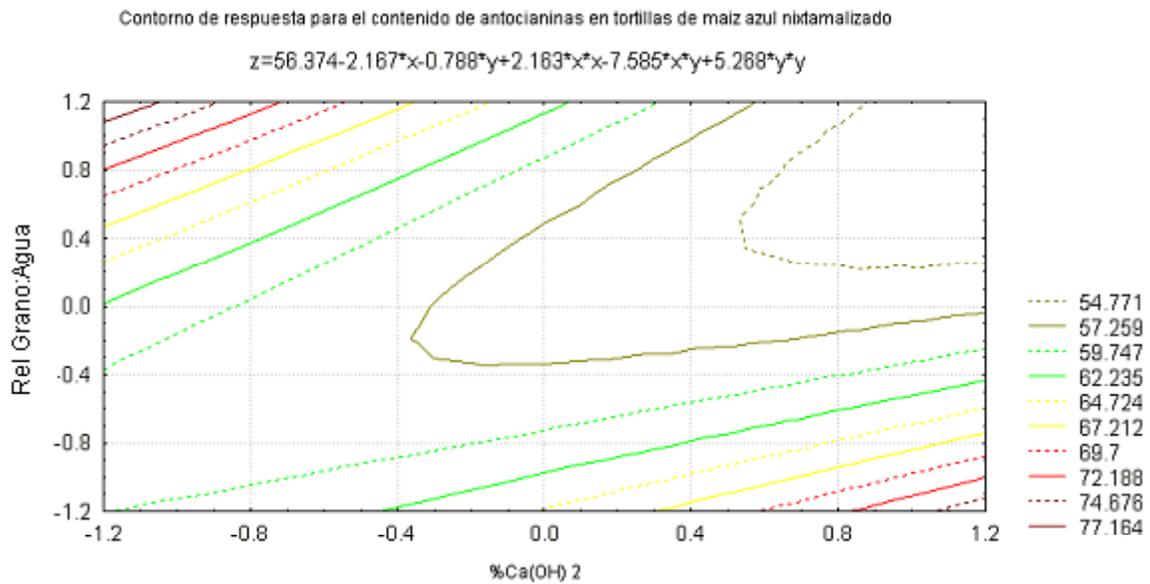


Fig. 4.8. Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado

4.4.3 Contenido promedio de antocianinas totales en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado

De acuerdo con la regresión de la Tabla B.4 del Apéndice B se observa que hay una correlación de resultados menos buena que en los casos anteriores ($R^2 = 0.6407$), es decir, casi un 65% (menor a 70 y casi 80% de los productos anteriores), de explicación en el contenido de antocianinas en los totopos de maíz negro-azul nixtamalizado. Por el análisis de la varianza de la misma tabla, que demuestra que no hay diferencia significativa al interior del experimento para la variable concentración de hidróxido de calcio, tampoco hay diferencia significativa para la variación de la relación grano:agua, calculadas al 5% de significancia. Haciendo la regresión múltiple de la misma tabla, se observa que la variable más significativa es la concentración de hidróxido de calcio por sobre la relación grano:agua de trabajo. Para los datos de la Tabla 4.6, el contenido total de antocianinas en los totopos elaborados con maíz negro-azul nixtamalizado $[A_{nt}]$ fueron analizados por una regresión múltiple, la cual proporcionó una ecuación de tipo:

$$[A_{nt}] = 44.01 - 1.96C - 0.42A - 1.01 C^2 + 2.71A^2 + 1.43CA + 3.03 \quad (4-4)$$

en la cual la variable de la concentración de hidróxido de calcio tiene mayor relevancia, ya que es 5 veces mayor que la proporción de grano:agua.

La ecuación puede verse expresada en la Figura 4.9 como una superficie de respuesta de tipo “silla de montar descendente” que avanza hacia el centro de la gráfica y sin mantener una tendencia ni en dirección del aumento de las concentraciones, ni de la proporción grano:agua. De transformar la forma anterior a un bidimensional tipo contorno de respuesta en curvas de nivel y que se muestra en la Figura 4.10, se aprecia un vado entre 0.5 y 1.0% de cal y una proporción grano:agua 1:2. Esto corrobora lo ya descrito en la superficie de respuesta. Las concentraciones similares de antocianinas para este tipo de producto pudieron ser afectadas por reacciones de oscurecimiento no enzimático, caramelización, interacciones entre las antocianinas y el aceite, las cuales podrían ser elucidadas por un análisis cromatográfico, pero esto brinda la pauta para un nuevo tema de investigación.

Superficie de respuesta para el contenido de antocianinas en totopos de maíz azul nixtamalizado

$$z=44.016-1.968*x-0.422*y-1.018*x^2+1.43*x*y+2.712*y^2$$

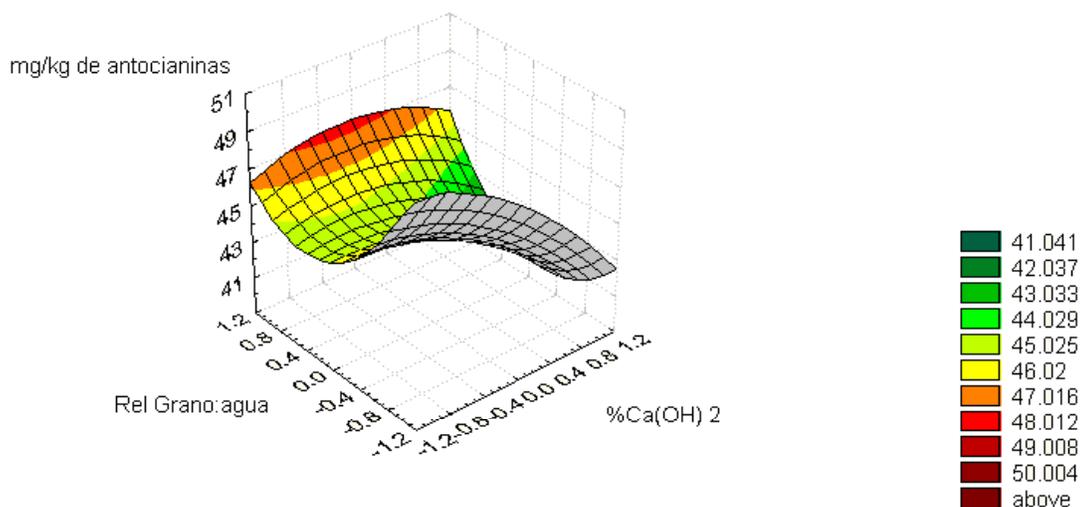


Fig. 4.9 Superficie de respuesta para la variación en el contenido de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado

Contornos de respuesta para el contenido de antocianinas en totopos de maíz nixtamalizado

$$z=44.016-1.968*x-0.422*y-1.018*x^2+1.43*x*y+2.712*y^2$$

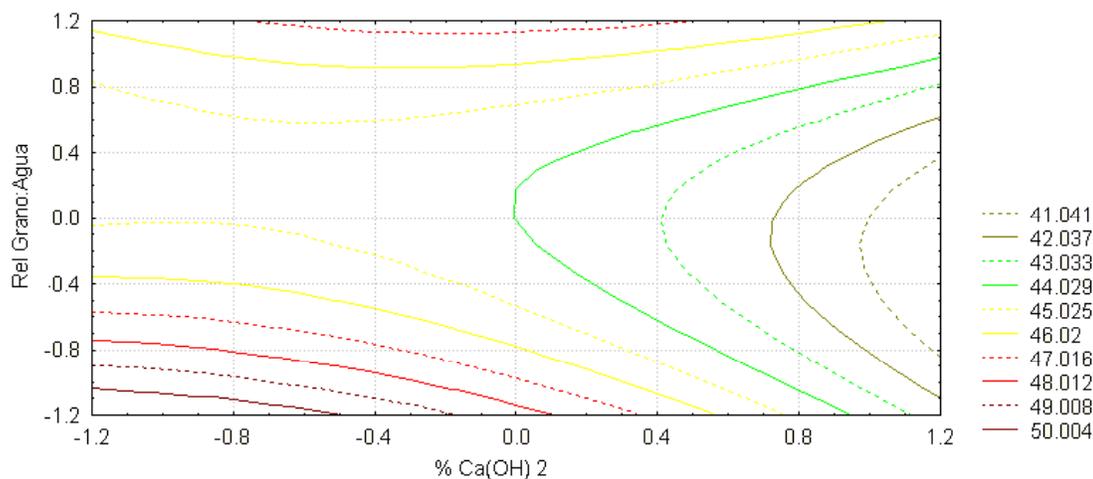


Fig. 4.10 Contorno de respuesta para la variación del contenido de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado

Durante la extracción de las antocianinas posiblemente el disolvente logró remover una pequeña cantidad del aceite, lo cual se lograba apreciar en la parte superior de las muestras, pudiendo haber interferido durante la cuantificación espectrofotométrica.

4.5 Resultados para las pruebas sensoriales

Las ventajas que presenta el apoyo de una escala hedónica es que se tiene una prueba sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los jueces-consumidores. Además permite detectar el nivel de agrado que una muestra representa para una población en particular.

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante la realización de las pruebas sensoriales, empleando pruebas con consumidores. Participaron 75 consumidores con un rango de edad entre los 21 y 28 años, de los cuales el 32% fueron hombres y el 68% mujeres.

Se evaluó una muestra de tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado bajo las condiciones 1.0% de hidróxido de calcio contra el control (tortilla de maíz blanco). Por otro lado, se evaluó la muestra de totopo negro-azul nixtamalizado, bajo las mismas condiciones de nixtamalización, contra un control de maíz blanco. Con respecto a la tortilla se formularon las siguientes hipótesis.

Ho: A los consumidores les gustan por igual las tortillas

Hi: A los consumidores no les gustan por igual las tortillas

Los resultados de la prueba muestran que, para las tortillas blancas, la respuesta predominante fue de “gusta poco” y para las tortillas de maíz negro-azul fue de “gusta moderadamente”. Los resultados del análisis estadístico muestran que los valores medios calculados fueron de 1.80 para la tortilla de maíz blanco y de 1.72 para la tortilla de maíz negro. El valor calculado de $t = 2.104$, en tanto que el valor de las tablas para la t de Student con grados de libertad = 74 y $\alpha = 0.05$, es equivalente a 1.665. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula, es decir que los consumidores mostraron un mayor nivel de agrado por las tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. Para apreciar los resultados completos se puede consultar la Tabla B5 del Apéndice B.

Para los totopos de maíz evaluados se formularon las siguientes hipótesis:

Ho: A los consumidores les gustan por igual los totopos

Hi: A los consumidores no les gustan por igual los totopos

Los resultados muestran que, para los totopos elaborados con maíz blanco, la opinión era de “ni gusta ni disgusta” y para los de maíz de negro-azul fue de “gusta moderadamente”. El análisis estadístico muestra que las medias para los totopos fueron de 2.69 para el totopo de maíz blanco y de 1.83 para el totopo de maíz de color. A su vez, el valor calculado de $t=5.711$ y el valor equivalente de tablas al $\alpha=0.05$ y grados de libertad = 74 es de 1.665, por lo cual la hipótesis nula se rechaza, mostrando así que los totopos de maíz negro-azul tienen un mayor nivel de agrado por parte de los consumidores, siendo esta diferencia estadísticamente significativa. Los análisis completos se muestran en el Apéndice B Tabla B6.

Ambos resultados obtenidos para el análisis sensorial pueden ser debidos a que el contenido de los hidratos de carbono y, en especial, de azúcares en los productos de maíces pigmentados es mayor (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008), mostrando así un mayor nivel de agrado por parte de los consumidores, aunque no debe dejarse de remarcar que el color en el producto juega un papel importante para la toma de decisiones por parte del consumidor.

4.6 Resultados para el análisis bromatológico

Una vez encontradas las condiciones más adecuadas de nixtamalización, bajo las condiciones de 1.0% de cal y proporción grano:agua 1:2, para evitar una mayor pérdida de antocianinas en los productos, y ser estos manejados con mayor facilidad, se realizó el análisis bromatológico de cada uno de estos productos de maíz negro-azul de Atlacomulco Estado de México. Estos se presentan en las Figuras 4.11 a 4.14. Para ver los resultados detallados de cada experimento, se puede consultar el Apéndice C.

En cuanto al análisis bromatológico, para el maíz crudo, se encuentra resumido en la Figura 4.11. El contenido de humedad de grano seco es del 15%, lo que permite tener un almacenamiento adecuado, aunque se mantuvo a una temperatura de 4°C, para evitar la contaminación microbiológica. Según lo reportado por Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán (2008), la cantidad de proteína, de grasa total y de hidratos de carbono en el maíz azul son de 8, 4.3 y 74.6%, respectivamente.

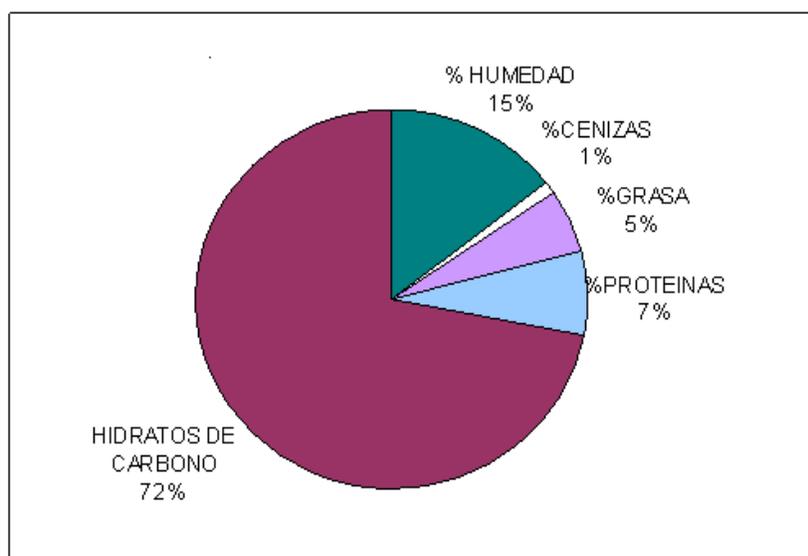


Fig. 4.11. Composición química de la harina de maíz negro-azul crudo

De acuerdo con el análisis bromatológico del maíz negro-azul de Atlacomulco realizado, la cantidad de grasa fue de 5%, la de proteína de 7% y la de hidratos de carbono de 72%. Estas pequeñas variaciones, que no son significativas ($p < 0.05$), pueden deberse a la variedad de maíz, las condiciones climatológicas de crecimiento, las condiciones de cosecha e, inclusive, las de almacenamiento.

Para el análisis bromatológico del nixtamal elaborado con el maíz negro-azul de Atlacomulco (Figura 4.12), se observa que hay un aumento considerable del porcentaje de humedad en el producto, con respecto al grano crudo, durante el proceso de nixtamalización. Puede verse que no hay un aumento perceptible en la cantidad de cenizas con respecto al maíz crudo, debido a que durante la nixtamalización sólo se llega a ligar una cantidad muy pequeña del calcio con el almidón del grano. Según Sánchez-Tovar (1993), sólo se liga alrededor del 0.01% del calcio adicionado durante el proceso alcalino.

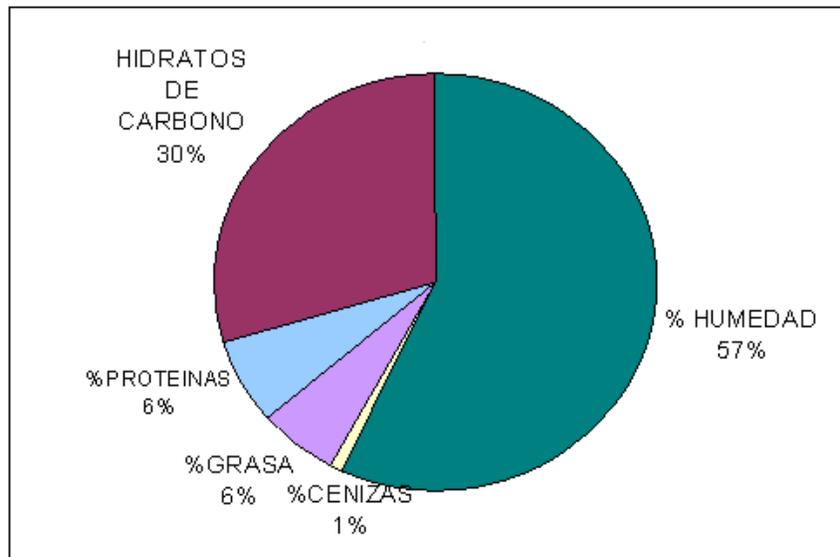


Fig. 4.12 Composición química de la masa de maíz negro-azul nixtamalizado

Según lo reportado por Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, en el 2008, el porcentaje de humedad en la tortilla de maíz azul es de 47%. El porcentaje de humedad de la muestra de tortillas de esta investigación fue de 32%. Esta variación puede ser debida al tipo de proceso de elaboración de la tortilla, ya que en esa investigación no se reporta el tipo de proceso. En este estudio, las muestras fueron elaboradas de manera tradicional empleando una prensa manual para la formación de la tortilla y la cocción se hizo sobre una superficie caliente a 120-150°C. Otra posible razón de esta variación en la humedad puede ser por la temperatura de elaboración de la tortilla. Con respecto a la cantidad de grasa, de proteínas y de hidratos de carbono reportados son de 2.7, 4.9 y 54%, respectivamente (Gutiérrez-Vite y Pérez-Morán, 2008). Las muestras de la tortilla elaborada en el laboratorio presentaron un porcentaje de grasa, de proteína y de hidratos de carbono del 2, 8 y 57%, respectivamente (Figura 4.13). Estas pequeñas variaciones entre la composición de las tortillas elaboradas en el laboratorio y los datos reportados pueden deberse a la variedad de maíz empleado para su elaboración.

Para el análisis bromatológico realizado a las muestras de totopo, elaborado a partir de maíz negro-azul nixtamalizado, proveniente de Atlacomulco, Estado de México (Figura 4.14), hay un aumento considerable, aproximadamente el doble en la cantidad de grasa total, con

respecto a los otros productos elaborados durante la parte experimental de este trabajo, debido a la absorción de aceite durante la fritura, reduciéndose la humedad a 11%.

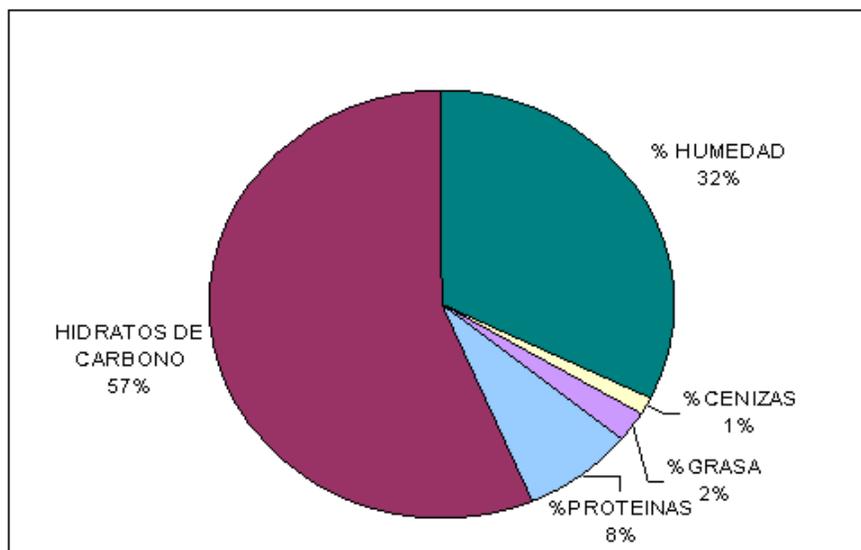


Fig. 4.13 Composición química de la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado

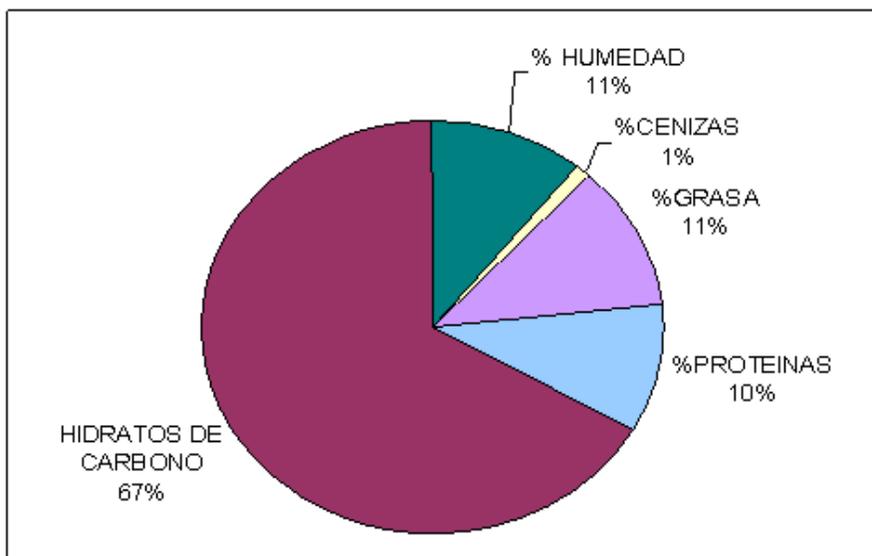


Fig. 4.14 Composición química de totopo de maíz negro-azul nixtamalizado

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se acepta la hipótesis alternativa planteada al inicio de la investigación pues, las extracciones y su posterior cuantificación mostraron que existe una pérdida en el contenido de antocianinas totales durante el proceso de nixtamalización del maíz negro-azul originario de Atlacomulco Estado de México.

De acuerdo con los objetivos y metas, se cuantificaron las variaciones en el contenido de antocianinas en las distintas etapas para la elaboración de productos de maíz negro-azul nixtamalizados, desde la harina de maíz crudo, harina de maíz nixtamalizado, harina de tortilla y harina de totopo, reduciéndose progresivamente. A continuación se condensan los resultados de cada meta que respaldan estas conclusiones.

5.1.1 Resultados de la primera meta

- El maíz negro-azul de Atlacomulco Estado de México presenta de manera natural un alto contenido de antocianinas totales (cuantificadas como pelargonidina) de 154.71 mg/kg, que le brinda su tono característico.

5.1.2 Resultados de la segunda meta

- El maíz originario de Atlacomulco cumple con la Norma Mexicana NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y responde bien al proceso de nixtamalización. El aumento en la retención de humedad en masas es directamente proporcional al contenido de cal. Demostró ser adecuado para elaborar productos de consumo popular elaborados tradicionalmente con maíz blanco como son: harinas precocidas, masas, tortillas y totopos.
- Para la nixtamalización de los granos, los resultados obtenidos son estadísticamente aceptables. Se observa un claro decremento de antocianinas determinado por el aumento del contenido de hidróxido de calcio, que se mostró como la variable

independiente con mayor significancia. La relación agua grano no parece influir significativamente en el fenómeno. A altas cantidades de cal llega a perderse hasta el 50% de las antocianinas, fenómeno que no es deseado por las bondades atribuidas a ellas.

- Se demostró que pueden obtenerse masas y harinas precocidas con contenidos de humedad semejantes a los elaborados con otro tipo de maíces de uso tradicional. Sin embargo, se tienen pérdidas de las antocianinas mayores al 30% con respecto al maíz crudo.
- En el proceso de tortillado, los resultados son estadísticamente aceptables. Puede afirmarse que las masas que se han sometido a un segundo cocimiento presentan una nueva pérdida de antocianinas, prácticamente del doble. Sin embargo, se mantiene la tendencia al aumento directamente proporcional de la misma conforme se incrementa la concentración de hidróxido de calcio. Podría afirmarse que el agua de las masas se reduce del 57 al 32% concentrando proporcionalmente el contenido de calcio, aunque globalmente se tiene 1% de cenizas en ambos productos. Sin embargo, visualmente, las antocianinas sí se ven afectadas.
- En los totopos se observó una clara interferencia del proceso de freído ya que los resultados estadísticos no son tan buenos como para los productos previos (tortillas y harinas de maíz nixtamalizado). Sin embargo, el aumento de la pérdida de antocianinas no es significativo con respecto al contenido de las tortillas de las cuales se elaboraron. Prácticamente todas las muestras muestran el mismo porcentaje de pérdida de antocianinas debido en mayor proporción al tratamiento térmico. Por ello, se señala que la fritura puede haber interferido en la espectrofotometría.

5.1.3 Resultados de la tercera meta

- Sensorialmente, los consumidores mostraron un mayor nivel de agrado hacía las tortillas y totopos elaborados con el maíz negro-azul, siendo estas diferencias estadísticamente significativas.

5.1.4 Resultados de la cuarta meta

- Se realizaron todos los análisis bromatológicos para las muestras de harina cruda, harinas nixtamalizadas, harinas de tortillas y harinas de totopos, todas de maíz negro-azul originario de Atlacomulco Estado de México, México, siendo similares a los de los productos elaborados con maíz blanco.

5.2 Recomendaciones

Durante el análisis de los resultados de esta investigación surgieron ideas acerca de nuevos campos en el estudio de las antocianinas contenidas en maíz de color nixtamalizado. Una de ellas es realizar un estudio cromatográfico para la identificación de los posibles compuestos fenólicos generados durante los procesos térmicos de nixtamalización; la degradación o interacción de las moléculas durante el sobrecalentamiento del agua contenida en los gránulos de almidón durante la elaboración de tortillas y las posibles reacciones de los triglicéridos y generación algunos radicales libres del aceite vegetal durante la elaboración de los totopos con grupos hidroxilo(-OH) de las antocianinas.

También se sugiere la realización de una investigación similar a ésta, en la cual se sustituya el proceso de nixtamalización tradicional de los granos de maíz de color, por una extrusión alcalina, en la cual el nivel de alcalinidad de los productos sea menor y la temperatura de cocción más controlada para tener menores pérdida de antocianinas totales en los productos de maíz.

Actualmente dentro de los Laboratorios 301, 302 y 303 de la Facultad de Química de la UNAM, en el antiguo Programa de Ingeniería Química y Química Ambiental, se trabaja en la realización de pruebas *in vivo* empleando maíces pigmentados y productos nixtamalizados como fuente de antocianinas, para poder corroborar los efectos benéficos de estas moléculas.

Se sugiere investigar sobre la posibilidad de microencapsular estos compuestos durante los procesos de cocimiento y hacer que después se liberen en el tracto intestinal. Ésta podría ser una nueva línea de investigación en el área de nutrición.

APÉNDICE A

CÁLCULO DE LAS CONCENTRACIONES DE ANTOCIANINAS EN LAS MUESTRAS

Tabla A.1 Calculo de la concentración de antocianinas en harinas de maíz negro-azul crudo y nixtamalizados

Clave de la muestra	Peso de la muestra (g)	Volumen Extracto (mL)	ABS (520 nm)	[Pelargonidina] mg/L	[Pelargonidina] mg/kg muestra
CRUDO I a	5.8752	65	0.822	12.8576	142.2493
CRUDO I b	5.8752	65	0.834	13.0454	144.3270
CRUDO II a	5.5262	64	0.91	14.2347	164.8553
CRUDO II b	5.5262	64	0.924	14.4538	167.3927
H C1A1 I a	5.2332	64	0.555	8.6792	106.1431
H C1A1 I b	5.2332	64	0.552	8.6322	105.5689
H C1A1 II a	5.0049	59	0.561	8.7731	103.4210
H C1A1 II b	5.0049	59	0.556	8.6948	102.4986
H C1A2 I a	5.2152	66	0.419	6.5509	82.9032
H C1A2 I b	5.2152	66	0.416	6.5039	82.3091
H C1A2 II a	5.5629	60	0.516	8.0689	87.0286
H C1A2 II b	5.5629	60	0.516	8.0689	87.0286
H C1A3 I a	5.5721	62	0.544	8.5070	94.6567
H C1A3 I b	5.5721	62	0.489	7.6463	85.0796
H C1A3 II a	5.0072	64	0.489	7.6463	97.7322
H C1A3 II b	5.0072	64	0.476	7.4429	95.1319
H C2A1 I a	5.2237	62	0.481	7.5211	89.2681
H C2A1 I b	5.2237	62	0.488	7.6307	90.5683
H C2A1 II a	5.0971	65	0.509	7.9593	101.4999
H C2A1 II b	5.0971	65	0.486	7.5994	96.9099
H C2A2 I a	5.4427	68	0.469	7.3333	91.6212
H C2A2 I b	5.4427	68	0.471	7.3646	92.0122
H C2A2 II a	5.5221	60	0.556	8.6948	94.4731
H C2A2 II b	5.5221	68	0.562	8.7887	108.2258
H C2A3 I a	5.3411	63	0.497	7.7715	91.6676
H C2A3 I b	5.3411	63	0.497	7.7715	91.6676
H C2A3 II a	5.5085	60	0.569	8.8983	96.9223
H C2A3 II b	5.5085	60	0.569	8.8983	96.9223
H C3A1 I a	5.5131	62	0.418	6.5352	73.4946
H C3A1 I b	5.5131	62	0.423	6.6135	74.3746
H C3A1 II a	5.6047	66	0.461	7.2081	84.8818
H C3A1 II b	5.6047	66	0.454	7.0986	83.5918
H C3A2 I a	5.1483	66	0.421	6.5822	84.3817
H C3A2 I b	5.1483	66	0.418	6.5352	83.7799
H C3A2 II a	5.6826	67	0.467	7.3020	86.0937
H C3A2 II b	5.6826	67	0.459	7.1768	84.6176
H C3A3 I a	5.4005	64	0.484	7.5681	89.6874
H C3A3 I b	5.4005	64	0.461	7.2081	85.4219
H C3A3 II a	5.5782	61	0.478	7.4742	81.7333
H C3A3 II b	5.5782	61	0.551	8.6166	94.2261

Tabla A.2 Cálculo de la concentración de antocianinas en tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado

Clave de la muestra	Peso de la muestra (g)	Volumen Extracto (mL)	ABS (520 nm)	[Pelargonidina] mg/L	[Pelargonidina] mg/kg muestra
T C1A1 I	5.1962	65	0.342	5.345852895	66.87202921
T C1A1 I b	5.1962	65	0.351	5.486697966	68.6338801
T C1A1 II	5.1357	65	0.25	3.906103286	49.43760609
T C1A1 II	5.1357	65	0.252	3.937402191	49.83374076
T C1A2 I	5.3005	64	0.339	5.298904538	63.98073587
T C1A2 I	5.3005	64	0.34	5.314553991	64.16969256
T C1A2 II	5.1309	67	0.234	3.65571205	47.73679225
T C1A2 II	5.1309	67	0.239	3.733959311	48.75855578
T C1A3 I	5.0928	66	0.381	5.956181534	77.18896898
T C1A3 I	5.0928	66	0.395	6.175273865	80.02828996
T C1A3 II	5.0612	65	0.398	6.222222222	79.91078093
T C1A3 II	5.0612	65	0.369	5.768388106	74.0822783
T C2A1 I	5.204	64	0.342	5.345852895	65.74453983
T C2A1 I	5.204	64	0.342	5.345852895	65.74453983
T C2A1 II	5.1189	66	0.337	5.267605634	67.91732049
T C2A1 II	5.1189	66	0.335	5.236306729	67.51377134
T C2A2 I	5.1279	65	0.349	5.455399061	69.1512976
T C2A2 I	5.1279	65	0.36	5.627543036	71.33335232
T C2A2 II	5.179	66	0.239	3.733959311	47.58472959
T C2A2 II	5.179	66	0.237	3.702660407	47.18586346
T C2A3 I	5.3898	66	0.326	5.095461659	62.39572331
T C2A3 I	5.3898	66	0.318	4.970266041	60.86265885
T C2A3 II	5.0494	62	0.243	3.796557121	46.61673495
T C2A3 II	5.0494	62	0.243	3.796557121	46.61673495
T C3A1 I	5.3886	63	0.392	6.128325509	71.64838864
T C3A1 I	5.3886	63	0.42	6.566510172	76.77135821
T C3A1 II	5.2159	64	0.303	4.735524257	58.1057061
T C3A1 II	5.2159	64	0.304	4.751173709	58.2977276
T C3A2 I	5.1295	65	0.354	5.533646322	70.12126152
T C3A2 I	5.1295	65	0.349	5.455399061	69.12972784
T C3A2 II	5.0324	69	0.222	3.467918623	47.54915845
T C3A2 II	5.0324	69	0.22	3.436619718	47.12001442
T C3A3 I	5.4616	67	0.285	4.453834116	54.63726486
T C3A3 I	5.4616	67	0.287	4.48513302	55.02122315
T C3A3 II	5.3274	65	0.29	4.532081377	55.29625887
T C3A3 II	5.3274	65	0.288	4.500782473	54.91437863

Tabla A.3 Cálculo de la concentración de antocianinas en totopos de maíz negro-azul nixtamalizado

Clave de la muestra	Peso de la muestra (g)	Volumen Extracto (mL)	ABS (520 nm)	[Pelargonidina] mg/L	[Pelargonidina] mg/kg muestra
P C1A1 I	5.5944	57	0.313	4.892018779	49.84360618
P C1A1 I	5.5944	57	0.308	4.813771518	49.0463636
P C1A1 II	5.0037	59	0.265	4.14084507	48.82584071
P C1A1 II	5.0037	59	0.269	4.203442879	49.56394866
P C1A2 I	5.0693	60	0.234	3.65571205	43.2688385
P C1A2 I	5.0693	60	0.238	3.718309859	44.00974327
P C1A2 II	5.0017	64	0.223	3.483568075	44.57451603
P C1A2 II	5.0017	64	0.212	3.3114241	42.37182206
P C1A3 I	5.2789	63	0.26	4.062597809	48.4842793
P C1A3 I	5.2789	63	0.265	4.14084507	49.41810594
P C1A3 II	5.5923	61	0.273	4.266040689	46.53335515
P C1A3 II	5.5923	61	0.266	4.156494523	45.33844141
P C2A1 I	5.1876	65	0.258	4.031298905	50.51168725
P C2A1 I	5.1876	65	0.255	3.984350548	49.92343003
P C2A1 II	5.261	65	0.259	4.046948357	50.00031233
P C2A1 II	5.261	65	0.25	3.906103286	48.26016225
P C2A2 I	5.439	62	0.229	3.577464789	40.78007297
P C2A2 I	5.439	62	0.232	3.624413146	41.31524453
P C2A2 II	5.3088	66	0.236	3.687010955	45.83761359
P C2A2 II	5.3088	66	0.219	3.420970266	42.53014571
P C2A3 I	5.0951	61	0.322	5.03286385	60.25489094
P C2A3 I	5.0951	61	0.238	3.718309859	44.51667316
P C2A3 II	5.0918	57	0.254	3.968701095	44.42750352
P C2A3 II	5.0918	57	0.251	3.921752739	43.90194157
P C3A1 I	5.359	59	0.214	3.342723005	36.80176475
P C3A1 I	5.359	59	0.22	3.436619718	37.83552218
P C3A1 II	5.3668	66	0.224	3.499217527	43.03278617
P C3A1 II	5.3668	66	0.229	3.577464789	43.99505777
P C3A2 I	5.1	58	0.238	3.718309859	42.28666114
P C3A2 I	5.1	58	0.239	3.733959311	42.46463531
P C3A2 II	5.2824	63	0.245	3.827856025	45.65253097
P C3A2 II	5.2824	63	0.241	3.765258216	44.90596464
P C3A3 I	5.3496	64	0.236	3.687010955	44.10959718
P C3A3 I	5.3496	64	0.244	3.812206573	45.60737638
P C3A3 II	5.8717	61	0.263	4.109546166	42.69331133
P C3A3 II	5.8717	61	0.263	4.109546166	42.69331133

APÉNDICE B. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

T-Student para el peso hectolítrico

Ho: no hay diferencias entre la muestra y el dato de la Norma Mexicana

H₁: hay diferencias entre la muestra y el dato de la Norma Mexicana

- Maíz negro-azul. Teniendo grados de libertad $3-1 = 2$. $\alpha=0.05$

$$t_{\text{tablas}} = -2.920$$

$$t = (71.9-74) / (1.5/\sqrt{3}) = -2.42$$

Puesto que la t calculada es mayor a la de tablas la hipótesis nula no se rechaza

- Maíz blanco. Teniendo grados de libertad $3-1 = 2$. $\alpha=0.05$

$$t_{\text{tablas}} = -2.920$$

$$t = (72.4-74) / (1.9/\sqrt{3}) = -1.45$$

Puesto que la t calculada es mayor a la de tablas la hipótesis nula no se rechaza

Tabla B.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA VARIACIÓN DE LA HUMEDAD EN						
MASAS DE HARINAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
	VARIABLE	X		VARIABLE	Y	
		% Ca(OH) ₂			Grano /Agua	
	C1	0.50	-1	A1	1 a 1	-1
DETERMINACIÓN	C2	1.00	0	A2	1 a 2	0
% humedad de la masa	C3	1.50	1	A3	1 a 3	1
		X	Y	X ²	Y ²	XY
	VAR1	VAR2	VAR3	VAR 4	VAR 5	VAR 6
	DEP	IND.	IND.	IND.	IND.	IND.
H C1A1 I	67.57	-1	-1	1	1	1
H C1A2 I	64.81	-1	0	1	0	0
H C1A3 I	66.04	-1	1	1	1	-1
H C2A1 I	68.18	0	-1	0	1	0
H C2A2 I	71.43	0	0	0	0	0
H C2A3 I	68.18	0	1	0	1	0
H C3A1 I	73.91	1	-1	1	1	-1
H C3A2 I	73.28	1	0	1	0	0
H C3A3 I	73.91	1	1	1	1	1
Masa artesanal (maíz azul)	56	(Tavera 2007)				
Masa comercial (maíz blanco)	62	(Bressani 1958)				
ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA VARIACION DE LA HUMEDAD EN						
MASAS DE HARINAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
		Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3		
Relación grano / agua		0.1	0.5	0.9	TOTAL	MEDIAS
A1	1 a 1	67.570000	68.180000	73.910000	209.660	69.887
A2	1 a 2	64.810000	71.430000	73.280000	209.520	69.840
A3	1 a 3	66.040000	68.180000	73.910000	208.130	69.377
	TOTAL	198.420	207.790	221.100	627.310	
	MEDIAS	66.140	69.263	73.700		
Factor de corrección	F=	43724.20401	Suma de cuadrados de las concentraciones			
			ScC=	86.5928222		
			Grados de libertad		GI C=	2
Suma de cuadrados de la Humedades			Suma de Cuadrados Total =		97.72288889	
ScH=	0.476955556		ScT=			
Grados de Libertad	GI H=	2	Grados de Libertad		GI T=	8
			CUADRADOS MEDIOS			
Suma de cuadrados del error			CM Concentraci	43.2964111		
Sce=	10.65311111		CM Humedades	0.23847778		
Grados de Libertad	GI e=	4	CM Error =	2.66327778		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	16.25681387	>	6.94	Si		
5.00%	16.25681387	<	18.00	No		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	0.089542961	<	6.94	No		
5.00%	0.089542961	<	18.00	No		
DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA						
		t= 4.064 PARA 4 GI en el error				
DMS=	1.0422					
RESUMEN DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE						
R=	.94708772 R ² = .89697515					
F(5,3)=	5.2238 p<.10206 Std.Error of estimate: 1.8319					
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(3)	p-level
Intercpto			69.40222222	1.36543889	50.82777625	1.6771E-05
VAR2 [Ca(OH) ₂]	0.936632615	0.185314913	3.78	0.74788168	5.054275435	0.01494316
VAR3 (grano:agua)	-0.063185534	0.185314913	-0.255	0.74788168	-0.340963025	0.7556138
VAR4	0.093942437	0.185314913	0.656666667	1.29536907	0.506934034	0.64711404
VAR5	-0.029804073	0.185314913	-0.208333333	1.29536907	-0.160829326	0.88244784
VAR6	0.077386158	0.185314913	0.3825	0.91596425	0.417592717	0.70433158

Tabla B.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS						
EN HARINAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
	VARIABLE	X		VARIABLE	Y	
		% Ca(OH) ₂			Grano /Agua	
	C1	0.50	-1	A1	1 a 1	-1
DETERMINACIÓN	C2	1.00	0	A2	1 a 2	0
ANTOCIANINAS mg/kg	C3	1.50	1	A3	1 a 3	1
		X	Y	X ²	Y ²	XY
	VAR1	VAR2	VAR3	VAR 4	VAR 5	VAR 6
	DEP	IND.	IND.	IND.	IND.	IND.
H C1A1 I	104.41	-1	-1	1	1	1
H C1A2 I	84.82	-1	0	1	0	0
H C1A3 I	93.15	-1	1	1	1	-1
H C2A1 I	94.56	0	-1	0	1	0
H C2A2 I	93.4	0	0	0	0	0
H C2A3 I	94.29	0	1	0	1	0
H C3A1 I	79.08	1	-1	1	1	-1
H C3A2 I	84.71	1	0	1	0	0
H C3A3 I	87.77	1	1	1	1	1
Harina artesanal (maíz azul)	28.30	(Tavera, 2007)				
Test crudo (maíz azul)	154.71					
ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN HARINAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
		Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3		
Relación grano / agua		0.1	0.5	0.9	TOTAL	MEDIAS
A1	1 a 1	104.410000	94.560000	79.080000	278.050	92.683
A2	1 a 2	84.820000	93.400000	84.710000	262.930	87.643
A3	1 a 3	93.150000	94.290000	87.770000	275.210	91.737
	TOTAL	282.380	282.250	251.560	816.190	
	MEDIAS	94.127	94.083	83.853		
Factor de corrección			Suma de cuadrados de las concentraciones			
	F=	74018.45734	ScC=	210.196156		
			Grados de libertad			
			Suma de Cuadrados Total = 443.1067556			
Suma de cuadrados de la Humedades			ScT=			
Sch=	43.05315556					
Grados de Libertad	Gl H=	2	Grados de Libertad		Gl T=	8
			CUADRADOS MEDIOS			
Suma de cuadrados del error			CM Concentraci	105.098078		
Sce=	189.8574444		CM Humedades	21.5265778		
Grados de Libertad	Gl e=	4	CM Error =	47.4643611		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	2.214252448	<	6.94	No		
5.00%	2.214252448	<	18.00	No		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	0.453531392	<	6.94	No		
5.00%	0.453531392	<	18.00	No		
DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA						
	t= 4.064 PARA 4 Gl en el error					
DMS=	4.3996					
RESUMEN DE LA REGRESIÓN MULTIPLE						
R=	.89223506, R ² = .79608341					
F(5,3)=	2.3424 p<.25742 Std.Error of estimate: 5.4881					
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(3)	p-level
Intercepto			91.03888889	4.09056773	22.25580773	0.00019861
VAR2 [Ca(OH) ₂]	-0.597726931	0.260714782	-5.136666667	2.24049622	-2.292646881	0.10569912
VAR3 (grano:agua)	-0.055079315	0.260714782	-0.473333333	2.24049622	-0.211262724	0.84621966
VAR4	-0.342186532	0.260714782	-5.093333333	3.88065328	-1.312493789	0.28073558
VAR5	0.306803369	0.260714782	4.566666667	3.88065328	1.176777809	0.32415399
VAR6	0.473869458	0.260714782	4.98750000	2.74403625	1.817578028	0.1667233

Tabla B.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS						
EN TORTILLAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
	VARIABLE	X		VARIABLE	Y	
		% Ca(OH) ₂			Grano /Agua	
	C1	0.50	-1	A1	1 a 1	-1
DETERMINACIÓN	C2	1.00	0	A2	1 a 2	0
ANTOCIANINAS mg/kg	C3	1.50	1	A3	1 a 3	1
		X	Y	X ²	Y ²	XY
	VAR1	VAR2	VAR3	VAR 4	VAR 5	VAR 6
	DEP	IND.	IND.	IND.	IND.	IND.
H C1A1 I	58.69	-1	-1	1	1	1
H C1A2 I	56.16	-1	0	1	0	0
H C1A3 I	77.8	-1	1	1	1	-1
H C2A1 I	66.73	0	-1	0	1	0
H C2A2 I	58.81	0	0	0	0	0
H C2A3 I	54.12	0	1	0	1	0
H C3A1 I	66.2	1	-1	1	1	-1
H C3A2 I	58.48	1	0	1	0	0
H C3A3 I	54.97	1	1	1	1	1
Tortilla comercial (maíz azul)	31.56	(Tavera 2007)				
Test crudo (maíz azul)	154.71					
ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN TORTILLAS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
		Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3		
		0.1	0.5	0.9	TOTAL	MEDIAS
Relación grano / agua						
A1	1 a 1	58.690000	66.730000	66.200000	191.620	63.873
A2	1 a 2	56.160000	58.810000	58.480000	173.450	57.817
A3	1 a 3	77.800000	54.120000	54.970000	186.890	62.297
	TOTAL	192.650	179.660	179.650	551.960	
	MEDIAS	64.217	59.887	59.883		
Factor de corrección		Suma de cuadrados de las concentraciones				
	F=	33851.09351	ScC=	37.5266889		
			Grados de libertad		GI C=	2
Suma de cuadrados de la Humedades			Suma de Cuadrados Total =		464.7428889	
Sch=	59.23948889		ScT=			
Grados de Libertad	GI H=	2	Grados de Libertad		GI T=	8
			CUADRADOS MEDIOS			
Suma de cuadrados del error			CM Concentraci	18.7633444		
Sce=	367.9767111		CM Humedades	29.6197444		
Grados de Libertad	GI e=	4	CM Error =	91.9941778		
RELACIONES DE VARIACION		Concentraciones				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	0.203962304	<	6.94	No		
5.00%	0.203962304	<	18.00	No		
RELACIONES DE VARIACION		Humedades				
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	0.32197412	<	6.94	No		
5.00%	0.32197412	<	18.00	No		
DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA						
		t= 4.064 PARA 4 GI en el error				
DMS=	6.1250					
RESUMEN DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE						
R= .83868295 R ² = .70338909						
F(5,3)=1.4229 p<.41015 Std.Error of estimate: 6.7786						
		St. Err.		St. Err.		
	BETA	of BETA	B	of B	t(3)	p-level
Intercepto			56.37444444	5.05246202	11.15781658	0.00154282
VAR2 [Ca(OH) ₂]	-0.246184865	0.314436485	-2.166666667	2.76734742	-0.782939884	0.49078149
VAR3 (grano:agua)	-0.089573416	0.314436485	-0.788333333	2.76734742	-0.284869666	0.79427761
VAR4	0.141916229	0.314436485	2.163333333	4.79318633	0.451335121	0.68237787
VAR5	0.345606472	0.314436485	5.268333333	4.79318633	1.099129675	0.35200819
VAR6	-0.703686475	0.314436485	-7.585	3.38929456	-2.237928829	0.11117499

Tabla B.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS						
EN TOTOPOS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
	VARIABLE	X		VARIABLE	Y	
		% Ca(OH) ₂			Grano /Agua	
	C1	0.50	-1	A1	1 a 1	-1
DETERMINACIÓN	C2	1.00	0	A2	1 a 2	0
ANTOCIANINAS mg/kg	C3	1.50	1	A3	1 a 3	1
		X	Y	X ²	Y ²	XY
	VAR1	VAR2	VAR3	VAR 4	VAR 5	VAR 6
	DEP	IND.	IND.	IND.	IND.	IND.
H C1A1 I	49.32	-1	-1	1	1	1
H C1A2 I	43.56	-1	0	1	0	0
H C1A3 I	47.44	-1	1	1	1	-1
H C2A1 I	49.67	0	-1	0	1	0
H C2A2 I	42.62	0	0	0	0	0
H C2A3 I	45.18	0	1	0	1	0
H C3A1 I	40.42	1	-1	1	1	-1
H C3A2 I	43.83	1	0	1	0	0
H C3A3 I	44.26	1	1	1	1	1
Test crudo (maiz azul)	154.71					
ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN TOTOPOS DE MAÍZ NEGRO-AZUL						
		Ca(OH) ₂	% B.S.			
		C1	C2	C3		
	Relación grano / agua	0.1	0.5	0.9	TOTAL	MEDIAS
	A1 1 a 1	49.320000	49.670000	40.420000	139.410	46.470
	A2 1 a 2	43.560000	42.620000	43.830000	130.010	43.337
	A3 1 a 3	47.440000	45.180000	44.260000	136.880	45.627
	TOTAL	140.320	137.470	128.510	406.300	
	MEDIAS	46.773	45.823	42.837		
Factor de corrección	F=	18342.18778	ScC=	25.3200222	Suma de cuadrados de las concentraciones	
					Grados de libertad	GI C= 2
Suma de cuadrados de la Humedades	Sch=	15.77308889	ScT=		Suma de Cuadrados Total =	76.90042222
Grados de Libertad	GI H=	2	Grados de Libertad		GI T=	8
			CUADRADOS MEDIOS			
Suma de cuadrados del error	Sce=	35.80731111	CM Concentraci	12.6600111		
Grados de Libertad	GI e=	4	CM Humedades	7.88654444		
			CM Error =	8.95182778		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	1.414237564	<	6.94	No		
5.00%	1.414237564	<	18.00	No		
RELACIONES DE VARIACION						
Nivel de Significancia	F calculada	Comparativo	F de tabla	Diferencia significativa		
1.00%	0.880998232	<	6.94	No		
5.00%	0.880998232	<	18.00	No		
DIFERENCIA MINIMA SIGNIFICATIVA						
		t= 4.064 PARA 4 GI en el error				
DMS=	1.9107					
RESUMEN DE LA REGRESIÓN MULTIPLE						
R=	.80045859	R ² =	.64073395			
F(5,3)=	1.0701	p<	.51070	Std.Error of estimate:	3.0347	
	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(3)	p-level
Intercepto			44.01555556	2.26191132	19.45945239	0.00029646
VAR2 [Ca(OH) ₂]	-0.549806551	0.346056861	-1.968333333	1.23889985	-1.58877518	0.21032262
VAR3 (grano:agua)	-0.117782436	0.346056861	-0.421666667	1.23889985	-0.340355733	0.75602758
VAR4	-0.164225501	0.346056861	-1.018333333	2.14583749	-0.474562188	0.66750479
VAR5	0.437307513	0.346056861	2.711666667	2.14583749	1.263686875	0.29561198
VAR6	0.326138201	0.346056861	1.43	1.51733624	0.942441078	0.41549391

Tabla B.5. Resultados de pruebas sensoriales. Tortillas

n	Blanco	Negro	D	D2	n	Blanco	Negro	D	D2
	612	361				612	361		
1	2	2	0	0	39	4	4	0	0
2	3	4	-1	1	40	7	4	3	9
3	7	6	1	1	41	5	3	2	4
4	4	2	2	4	42	3	3	0	0
5	2	3	-1	1	43	3	2	1	1
6	4	2	2	4	44	3	2	1	1
7	4	3	1	1	45	5	5	0	0
8	6	4	2	4	46	6	3	3	9
9	7	5	2	4	47	2	3	-1	1
10	2	3	-1	1	48	2	3	-1	1
11	6	4	2	4	49	3	2	1	1
12	4	3	1	1	50	6	3	3	9
13	3	4	-1	1	51	4	3	1	1
14	2	2	0	0	52	3	4	-1	1
15	3	2	1	1	53	4	4	0	0
16	3	2	1	1	54	5	4	1	1
17	5	2	3	9	55	3	2	1	1
18	1	3	-2	4	56	3	5	-2	4
19	5	2	3	9	57	1	1	0	0
20	3	8	-5	25	58	4	6	-2	4
21	4	3	1	1	59	4	2	2	4
22	3	2	1	1	60	3	5	-2	4
23	3	6	-3	9	61	4	3	1	1
24	4	2	2	4	62	5	4	1	1
25	3	3	0	0	63	3	2	1	1
26	4	2	2	4	64	4	3	1	1
27	2	4	-2	4	65	5	3	2	4
28	5	6	-1	1	66	4	4	0	0
29	3	2	1	1	67	7	6	1	1
30	3	3	0	0	68	6	3	3	9
31	3	4	-1	1	69	4	3	1	1
32	4	5	-1	1	70	5	3	2	4
33	2	3	-1	1	71	4	2	2	4
34	2	3	-1	1	72	2	2	0	0
35	3	2	1	1	73	4	2	2	4
36	4	2	2	4	74	3	5	-2	4
37	3	8	-5	25	75	4	4	0	0
38	4	3	1	1	Total	135	129	31	227
					Media	1.80	1.72		

t de Student para el análisis de tortilla

$$t = \frac{31}{\sqrt{\frac{75(227) - 31^2}{75-1}}} = 2.104$$

$$\sqrt{\frac{75(227) - 31^2}{75-1}}$$

Tabla B.6 Resultados de pruebas sensoriales. Totopos

n	Blanco	Negro	D	D2	n	Blanco	Negro	D	D2
	169	73				169	73		
1	4	3	1	1	39	7	4	3	9
2	5	4	1	1	40	9	9	0	0
3	9	7	2	4	41	4	3	1	1
4	6	4	2	4	42	8	3	5	25
5	5	1	4	16	43	6	2	4	16
6	9	3	6	36	44	4	3	1	1
7	4	3	1	1	45	5	4	1	1
8	6	3	3	9	46	7	4	3	9
9	8	5	3	9	47	2	2	0	0
10	5	5	0	0	48	5	4	1	1
11	2	3	-1	1	49	3	1	2	4
12	6	3	3	9	50	7	3	4	16
13	3	4	-1	1	51	2	3	-1	1
14	3	4	-1	1	52	3	5	-2	4
15	5	2	3	9	53	3	2	1	1
16	6	3	3	9	54	6	2	4	16
17	4	2	2	4	55	4	6	-2	4
18	2	4	-2	4	56	8	3	5	25
19	8	3	5	25	57	2	1	1	1
20	9	3	6	36	58	8	8	0	0
21	4	4	0	0	59	4	4	0	0
22	2	3	-1	1	60	8	3	5	25
23	7	3	4	16	61	4	7	-3	9
24	4	2	2	4	62	5	4	1	1
25	4	3	1	1	63	2	3	-1	1
26	8	6	2	4	64	3	4	-1	1
27	7	6	1	1	65	6	4	2	4
28	4	4	0	0	66	3	4	-1	1
29	5	4	1	1	67	5	7	-2	4
30	6	4	2	4	68	7	3	4	16
31	4	7	-3	9	69	3	3	0	0
32	6	4	2	4	70	5	2	3	9
33	5	3	2	4	71	3	2	1	1
34	6	2	4	16	72	4	4	0	0
35	3	1	2	4	73	5	5	0	0
36	3	4	-1	1	74	6	2	4	16
37	9	5	4	16	75	3	4	-1	1
38	6	3	3	9	Total	202	137	107	499
					Media	2.69	1.83		

t de Student para el análisis de totopo

$$t = \frac{107}{\sqrt{\frac{75(499) - 107^2}{75-1}}} = 5.711$$

$$\sqrt{\frac{75(499) - 107^2}{75-1}}$$

APÉNDICE C

ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

Tabla C.1 Humedad de la harina de maíz negro-azul crudo

DATOS	Masa de pesafiltro (g)	Muestra (g)	Masa de pesafiltro con muestra húmeda (g)	Masa de pesafiltro con muestra seca (g)	Humedad (g)	% Humedad
1	0.8762	2.5024	3.3786	3.0123	0.3663	14.6379
2	0.8755	2.5006	3.3761	3.0097	0.3664	14.6524
3	0.8584	2.5072	3.3656	3.0067	0.3589	14.3147
Promedio						14.5350
S						0.1909
CV						1.3138

Tabla C.2. Humedad de la masa de maíz negro-azul nixtamalizado

DATOS	Masa de pesafiltro (g)	Muestra (g)	Masa de pesafiltro con muestra húmeda (g)	Masa de pesafiltro con muestra seca (g)	Humedad (g)	% Humedad
1	0.8748	2.5121	3.3869	1.9487	1.4382	57.2509
2	0.869	2.5153	3.3843	1.9576	1.4267	56.7208
3	0.869	2.503	3.372	1.9491	1.4229	56.8477
Promedio						56.9398
S						0.2767
CV						0.4859

Tabla C.3 Humedad de la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado

Datos	Masa de pesafiltro (g)	Muestra (g)	Masa de pesafiltro con muestra húmeda (g)	Masa de pesafiltro con muestra seca (g)	Humedad (g)	% Humedad	
1	0.8709	2.5133	3.3842	2.5764	0.8078	32.1410	
2	0.859	2.5095	3.3685	2.5503	0.8182	32.6041	
3	0.8514	2.5174	3.3688	2.5636	0.8052	31.9853	
Promedio							32.2434
S							0.32184
CV							0.9981

Tabla C. 4 Humedad del maíz negro-azul totopos

Datos	Masa de pesafiltro (g)	Muestra (g)	Masa de pesafiltro con muestra húmeda (g)	Masa de pesafiltro con muestra seca (g)	Humedad (g)	% Humedad	
1	0.7267	2.5151	3.2418	2.9722	0.2696	10.7195	
2	2.5547	2.5044	5.0591	4.7891	0.27	10.7810	
3	2.5647	2.5068	5.0715	4.8004	0.2711	10.8145	
Promedio							10.7716
S							0.04835
CV							0.4488

Tabla C.5. Determinación de cenizas en el maíz negro-azul crudo

DATOS	Masa de crisol vacío (g)	Masa (g)	Masa de crisol con muestra (min)	Tiempo de calcinación (min)	Cenizas (g)	%Cenizas	
1	16.2561	1.8041	16.2792	120	0.0231	1.2804	
2	13.649	1.8055	13.671	120	0.022	1.2184	
3	14.7277	1.8084	14.7443	120	0.0166	0.9179	
Promedio							1.1389
S							0.1938
CV							17.0164

Tabla C.6 Determinación de cenizas en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado

DATOS	Masa de crisol vacío (g)	Masa (g)	Masa de crisol con muestra (g)	Tiempo de calcinación (min)	Cenizas (g)	%Cenizas
1	10.4691	2.5013	10.4881	120	0.019	0.7596
2	13.899	2.5115	13.9169	120	0.0179	0.7127
3	14.5269	2.5104	14.5449	120	0.018	0.7170
Promedio						0.7297
S						0.0259
CV						3.5494

Tabla C.7 Determinación de cenizas en las tortillas de maíz negro-azul nixtamalizado

Datos	Masa de crisol vacío (g)	Masa (g)	Masa de crisol con muestra (g)	Tiempo de calcinación (g)	Cenizas (g)	%Cenizas
1	18.8914	3.0139	18.9307	120	0.0393	1.3039
2	18.8725	3.0151	18.9084	120	0.0359	1.1906
3	18.6221	3.0067	18.6584	120	0.0363	1.2073
Promedio						1.2339
S						0.0611
CV						4.951

Tabla C.8 Determinación de cenizas en el totopo de maíz negro-azul nixtamalizado

DATOS	Masa de crisol vacío (g)	Masa muestra (g)	Masa de crisol con muestra (g)	Tiempo de calcinación (min)	Cenizas (g)	%Cenizas
1	19.3316	3.0084	19.3689	120	0.0373	1.2398
2	19.7544	3.022	19.7951	120	0.0407	1.3467
Promedio						1.2933
S						0.0756
CV						5.8455

Tabla C.9 Determinación de grasa en el maíz negro-azul crudo

Determinación	Muestra (g)	Vaso (g)	Vaso con grasa (g)	Grasa (g)	% Grasa extraída
1	4.5017	64.2461	64.4922	0.2461	5.4668
2	4.5017	59.4558	59.6803	0.2245	4.9870
Promedio					5.2269
S					0.3392
CV					6.4895

Tabla C.10 Determinación de grasa en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado

Determinación	Muestra (g)	Vaso (g)	Vaso con grasa (g)	Grasa (g)	% Grasa extraída
1	3.0573	64.4504	64.6113	0.1609	5.2628
2	3.0493	63.1897	63.396	0.2063	6.7654
Promedio					6.0141
S					1.0625
CV					17.6668

Tabla C.11 Determinación de grasa en la tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado

Determinación	Muestra (g)	Vaso (g)	Vaso con grasa (g)	Grasa (g)	% Grasa extraída
1	4.5139	65.5024	65.5771	0.0747	1.6548
2	4.5133	65.1631	65.2922	0.1291	2.8604
Promedio					2.2576
S					0.85245
CV					37.7591

Tabla C.12 Determinación de grasa en el totopo maíz negro-azul nixtamalizado

Determinación	Muestra (g)	Vaso (g)	Vaso con grasa (g)	Grasa (g)	% Grasa extraída
1	4.5517	63.2128	63.7515	0.5387	11.8351
2	4.594	64.4399	64.9222	0.4823	10.4984
Promedio					11.1668
S					0.9451
CV					8.4634

Tabla C.13 Determinación de proteínas en el maíz negro-azul crudo

Datos	Masa de muestra (g)	Tiempo de digestión (min)	Vol. de HCl (mL)	% Nitrógeno	% Proteína
1	0.1264	120	1.4	1.2183	7.6147
2	0.124	120	1.2	1.0161	6.3508
3	0.1259	120	1.4	1.2231	7.6449
Promedio				1.1525	7.2034
S					0.7386
CV					10.2534

Tabla C.14 Determinación de proteínas en la masa de maíz negro-azul nixtamalizado

Datos	Masa de muestra (g)	Tiempo de digestión	Vol. de HCl (mL)	% Nitrógeno	% Proteína
1	0.122	120	1.1	0.9180	5.7377
2	0.1218	120	1.3	1.1494	7.1839
3	0.1208	120	1.2	1.0430	6.5190
Promedio				1.0368	6.4802
S					0.7238
CV					11.1694

Tabla C.15 Determinación de proteínas en tortilla de maíz negro-azul nixtamalizado

Datos	Masa de muestra (g)	Tiempo de digestión (min)	Vol. de HCl (mL)	% Nitrógeno	% Proteína
1	0.1241	120	1.4	1.2409	7.7558
2	0.1253	120	1.4	1.2290	7.6815
3	0.1282	120	1.5	1.3104	8.1903
Promedio				1.2601	7.8759
S					0.2748
CV					3.4891

Tabla C.16 Determinación de proteínas en el totopo de maíz negro-azul nixtamalizado

Datos	Masa de muestra (g)	Tiempo de digestión (min)	Vol. de HCl (mL)	% Nitrógeno	% Proteína
1	0.1228	120	1.9	1.8241	11.4006
2	0.126	120	1.6	1.4444	9.0277
Promedio				1.6342	10.2142
S					1.6778
CV					16.4261

Tabla C.17 Determinación de hidratos de carbono por diferencia en cada una de las muestras

MUESTRAS	% HUMEDAD	% CENIZAS	% GRASA	% PROTEINAS	% HIDRATOS DE CARBONO
Maíz azul crudo	14.535	1.1389	5.227	7.2034	71.8957
Masa de maíz azul nixtamalizado	56.9398	0.7297	6.0141	6.4802	29.8362
Maíz azul tortillas	32.2434	1.2339	2.2576	7.8759	56.3892
Maíz azul totopos	10.7716	1.2933	11.1669	10.2142	66.554

APÉNDICE D

ACERVO FOTOGRÁFICO

MUESTRA		
CLAVE	HC1 A1	HC1 A2
MUESTRA		
CLAVE	HC1 A3	HC2 A1
MUESTRA		
CLAVE	HC2 A2	HC2 A3
MUESTRA		
CLAVE	HC3 A1	HC3 A2
MUESTRA		
CLAVE	HC3 A3	

APÉNDICE D. Continuación

MUESTRA		
CLAVE	T C1 A1	T C1 A2
MUESTRA		
CLAVE	T C1 A3	T C2 A1
MUESTRA		
CLAVE	T C2 A2	T C2 A3
MUESTRA		
CLAVE	T C3 A1	T C3 A2
MUESTRA		
CLAVE	T C3 A3	

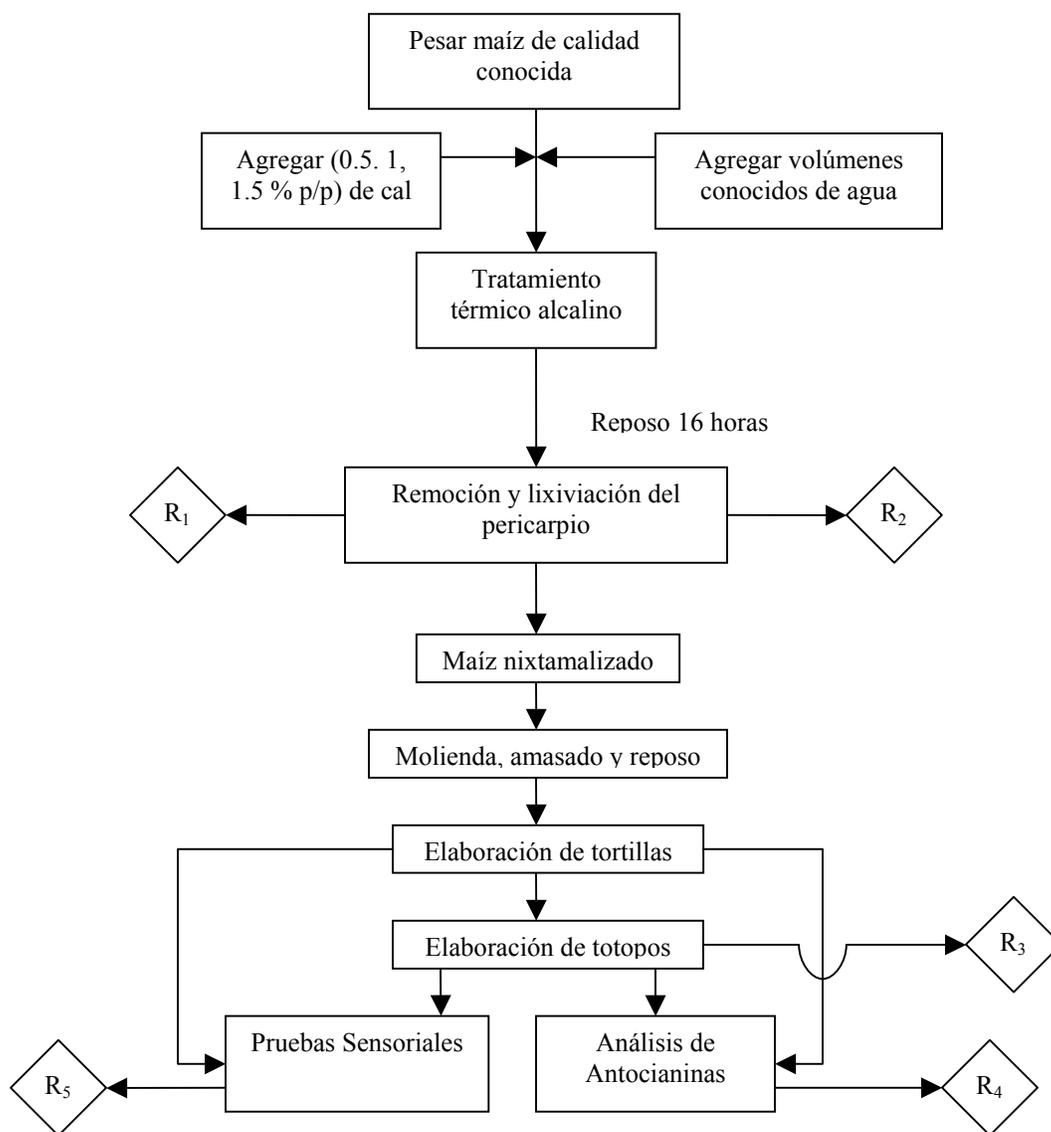
APÉNDICE D. Continuación

MUESTRA		
CLAVE	P C1 A1	P C1 A2
MUESTRA		
CLAVE	P C1 A3	P C2 A1
MUESTRA		
CLAVE	P C2 A2	P C2 A3
MUESTRA		
CLAVE	P C3 A1	P C3 A2
MUESTRA		
CLAVE	P C3 A3	

APÉNDICE E

DIAGRAMAS ECOLÓGICOS

Diagrama ecológico E.1 Elaboración de productos de maíz azul de Atlacomulco Estado de México. México.

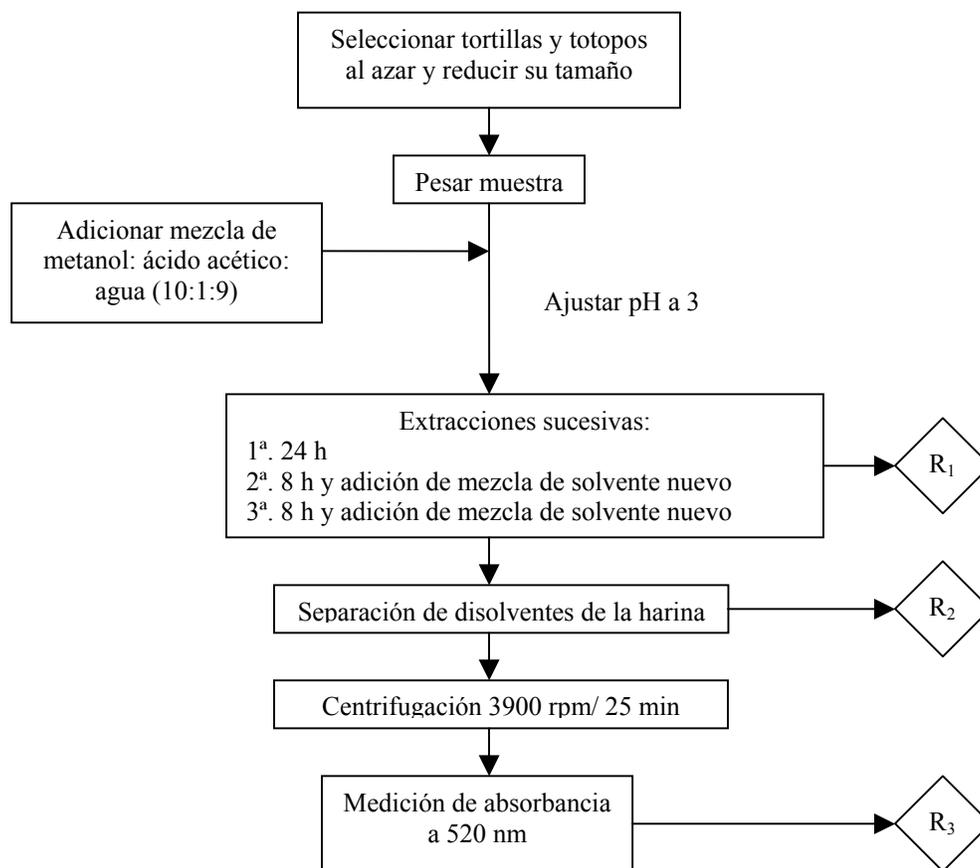


R₁: Nejayote. Se neutraliza con ácido sulfúrico o clorhídrico, en volúmenes < 500 mL. Se separan los sólidos suspendidos para enviar a incineración; el líquido neutro se elimina por el drenaje con abundante agua

R₂, R₄ y R₅: Residuo orgánico no peligroso y se envía a disposición para producir composta

R₃. Aceite quemado. Se coloca en un frasco, se etiqueta y se envían a la UGA de al FQ

Diagrama ecológico E.2 Extracción y cuantificación de antocianinas



R₁, R₂ y R₃: Mezcla de solventes. Se colocan en frascos, se etiquetan y se envían a la UGA de la FQ

BIBLIOGRAFÍA

- Almeida, H. D., Rooney, L. W. 1996. **Avances en la manufactura y calidad de productos de maíz nixtamalizado.** Presentado en el Seminario de la Asociación Americana de la Soya. México, D.F. México. Pp. 1-10.
- Bagchi, D., Bagchi, M., Stohs, S., Das, D., Sidhartha, R., Kuszynski, C., Joshi, S., Pruess, H. 2000. **Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention.** Toxicology, 148(2-3), 187-197.
- Bressani, R., Mertz, E. T. 1958. **Studies on corn proteins. IV. Protein and amino acid content of different corn varieties.** Cereal Chem., 35:, 227-235.
- Cabrita, L., Fossen, T., Andersen, O. 2000. **Colour and stability of six common anthocyanidin 3-glucosides in aqueous solutions.** Food Chemistry, 68, 101-107.
- Camacho-de-la-Rosa, A., Díaz-Gutiérrez, K. M., Santillana-Hinojosa, M., Velázquez-Madrado, M. C. 2007. **Manual de prácticas. Productos de cereales y leguminosas.** Comité Editorial de la Facultad de Química. UNAM. 4ª edición. México D.F., México. Pp. 97, 100-102.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J. A., Galán-Vidal, C. A. 2008. **Chemical studies of anthocyanins: A review.** Food Chemistry. doi:10.1016/j.foodchem.2008.09.001.
- Cortés, G. A. Salinas-Moreno, Y. San Martín-Martínez, E. Martínez-Bustos, F. 2006. **Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays L*) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions.** J. Cereal Sci., 43, 57-62.

- Del Pozo-Insfran, D. Brenes, C. Serna-Saldivar, S. O. Talcott, S. 2006. **Polyphenolic and antioxidant content of white and blue corn (*Zea mays L*) products.** Food Research Internacional 39, 696-703.
- Dendy, D., Dobraszczyk, A. V., Bordan, J. 2001. **Cereales y productos derivados. Química y tecnología.** Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 389, 392-393.
- DOF. 2002. **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.** Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México. D.F. México.
- Durán-de-Bazúa, C. 1988. Una nueva tecnología para la extrusión alcalina de maíz y sorgo. C. Durán-de-Bazúa. **MONOGRAFÍA TECNOLÓGICA NO. 2.** Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. OEA. Pub. UNAM-Proy. Multinacional. Alimentos. ISBN 968-36-0576-1. México D.F., México. 71 pags.
- Durán-Domínguez-de-Bazúa, C. 1996. La contaminación en la industria de la masa y la tortilla. En **La industria de la masa y la tortilla: Desarrollo y tecnología.** F. Torres, E. Moreno, I. Chong, J. Quintanilla, Eds. Imprenta de Juan Pablos, S.A. ISBN 968-36-4793-6. México D.F. México. Pp. 173-193.
- Escribano-Bailón, T., Santos-Buelga, C., Rivas-Gonzalo, J. C. 2004. **Anthocyanins in cereals.** Journal of Chromatography A. 1054, 129-141.
- FAOSTAT. 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. [Fecha de consulta: 19 de Febrero de 2009]. Página electrónica: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>

- Fournier-García, P. 1996. El maíz y la tortilla en la historia prehispánica. En *La industria de la masa y la tortilla: Desarrollo y tecnología*. F. Torres, E. Moreno, I. Chong, J. Quintanilla, Eds. Imprenta de Juan Pablos, S.A. ISBN 968-36-4793-6. México D.F. México. Pp. 98, 101.
- Frías-Hermosillo, M.N., García-García, O. 2009. **Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas de maíz azul. Parte 3**. Laboratorio de Desarrollo Experimental de Alimentos. Facultad de Química, UNAM. México D.F. México.
- Gutiérrez-Vite, L., Pérez-Morán, A.L. 2008. **Identificación y cuantificación de los colorantes presentes en tortillas azules**. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. Pp. 10, 15, 24, 45-46.
- Hernández-Uribe, J. P., Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J.J., Tovar, J., Bello-Pérez, L.A. 2007a. **Chemical composition and in starch digestibility of pigmented corn tortilla**. J. Sci. Food. Agric. 87:2482–2487.
- Hernández-Uribe, J. P., Agama-Acevedo, A., Islas-Hernández, J.J., Tovar, J., Bello-Pérez, L. A. 2007b. Erratum. **Chemical composition and in starch digestibility of pigmented corn tortilla**. J. Sci. Food. Agric. 87:2733.
- Holton, T. A., Cornish, E. C. 1995. **Genetics and biochemistry of anthocyanin biosynthesis**. The Plant Cell, 7, 1071-1083.
- Hosney, R. C. 1991. **Principios de ciencia y tecnología de los cereales**. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 11, 16-18.
- Jin-Ming, K., Chia, Lian-Sai, Goh, Ngoh-Khang, Chia, Tet-Fatt, Brouillard, R. 2003. **Analysis and biological activities of anthocyanins**. Phytochemistry 64, 923-933.

- Kahkonen, M. P. Heinonen, M. 2003. **Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51, 628-633.
- Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., Kobori, M. 2003. **Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins.** J. Agric. Food Chem. 51, 68-75.
- Kirk, R. S., Sawyer, R. Egan, H. 1996. **Composición y análisis de alimentos de Pearson.** Segunda Edición. Compañía Editorial Continental SA de CV. México.
- Lee, J., Durst, R.W., Wrolstad, R. E. 2002. **Impact of juice processing on blueberry anthocyanins and polyphenolics: Comparison of two pretreatments.** J. Food Sci. 67(5), 1660-1667.
- Lomelí, A. E. 1996. **El consumidor ante la controversia sobre la tortilla.** En *La industria de la masa y la tortilla: Desarrollo y tecnología.* F. Torres, E. Moreno, I. Chong, J. Quintanilla, Eds. Imprenta de Juan Pablos, S.A. ISBN 968-36-4793-6. México D.F. México. Pp. 81-82, 84-86.
- Markakis, P 1982. **Stability of anthocyanins in foods.** En: *Anthocyanins as Food Colors.* Markakis, P., Ed. Academic Press Inc. Nueva York, NY, EEUU. Pp.163-178.
- Meng, L., Lozano, Y., Bombarda, I., Gaydou, E., Li, B. 2006. **Anthocyanin and flavonoid Product from *Perilla frutescens*: Pilot plant scale processing including cross-flow microfiltration and reverse osmosis.** J. Agric. Food Chem., 54(12), 4297-4303.
- NMX-F-428-1982. **Alimentos. Determinación de humedad (método rápido de la termobalanza).** Norma Mexicana. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. México. D.F. México.

- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. **Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales. Parte 1. Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizados. Especificaciones y métodos de pruebas.** [Fecha de consulta: Mayo de 2009] Dirección electrónica: http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/nmx/NMX_MAIZ_BLANCO.pdf
- Paliwal, R. L., Granados, G., Renée, L. H., Violic, A. 2001. **El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción.** Deposito de documentos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. [Fecha de consulta: Febrero de 2009]. Dirección electrónica: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s00.HTM>
- Patras, A., Brunton, P. N., O'Donnell, C., Tiwari, B. K. 2009. **Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation.** Trends in Food Science and Technology. doi:10.1016/j.tifs.2009.07.004
- Pedrero F. D., Pangborn, R. M. 1989. **Evaluación sensorial de los alimentos-Métodos analíticos.** Ed. Alhambra, México. Pp.104-107
- Pomeranz, Y., Meloan, C. E. 2000. **Food Analysis Theory and Practice.** Tercera Edición. Chapman and Hall, EEUU.
- Rangel-Meza, E., Muñoz-Orozco, A., Vázquez-Carrillo, G., Cuevas-Sánchez, J., Merino-Castillo, J., Miranda-Colín, S. 2003. **Nixtamalización, elaboración y calidad de tortilla de maíces de Ecatlán, Puebla, México.** Agrociencia. 38, 53-61.
- Rein, M. 2005. **Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins.** (dissertation). Universidad de Helsinki. Departamento de Química Aplicada y Microbiología. Helsinki, Finlandia. P. 21.

- Salinas-Moreno, Y., Martínez-Bustos, F., Soto-Hernández, M., Ortega-Paczka, R., Arellano-Vazquez, J. L. 2003. **Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíces pigmentados.** *Agrociencia*. 37, 617-628.
- Sánchez-Tovar, S.A. 1993. **Estudio del uso de modelos de superficie de respuesta para correlacionar características sensoriales y de textura de masas y tortillas elaboradas con harinas de maíz extrudidas alcalinamente.** Tesis de Maestría en Ciencias de los Alimentos (Ingeniería). Facultad de Química, UNAM. Noviembre 5. México D.F. México.
- Sánchez-Tovar, S.A. 2007. **Variación de las propiedades fisicoquímicas de polímeros naturales extrudidos en condiciones alcalinas.** Tesis de Doctorado en Ciencias. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas (Ingeniería Química). UNAM. Junio 15. México D.F. México.
- Serna-Saldívar, O 1996. **Química, almacenamiento e industrialización de los cereales.** AGT Editor, S. A. México, D. F. Pp. 220, 414-416, 469.
- SIAP. 2007. Anuario Agrícola del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). [Fecha de consulta: 19 de Febrero de 2009]. Página electrónica: <http://www.siap.gob.mx>
- Steyn, W. J., Wand, J. E., Holcroft, D. M., Jacobs, G. 2002. **Anthocyanins in vegetative tissues: a proposed unified function in photoprotection.** *New Phytologist*. 155, 3, 349-361.
- Tavera-Hernández, R. J. 2007. **Estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas, color y textura de tortillas de tres variedades de maíz nixtamalizado.** Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Química. Pp 60, 65, 71, 78-82.

- Vázquez-Reyes, V. M., Martínez, Laura E., Durán-de-Bazúa, C., 1996. **Determinación del efecto de la nixtamalización y la extrusión alcalina sobre el valor nutricional de tortillas de maíz y sorgo. Parte I: Contenido de tiamina, niacina y riboflavina.** *Industria Alimentaria*. 18(2), 24-25,28-29,31-34.