



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS, COLOR Y TEXTURA DE TORTILLAS DE
TRES VARIEDADES DE MAÍZ NIXTAMALIZADO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

P R E S E N T A

ROCÍO JANET TAVERA HERNÁNDEZ



MÉXICO, D. F.

2007



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	Ruth Villaseñor Gutiérrez
Vocal	Patricia Severiano Pérez
Secretario	Rafael Carlos Marfil Rivera
1er. Suplente	Karla Mercedes Díaz Gutiérrez
2do. Suplente	Armando Conca Torres

Sitio en donde se desarrollo el tema:

Departamento de Alimentos y Biotecnología
Laboratorio 4A y 4C, 4º piso, Edificio A
Facultad de Química

Este proyecto de investigación recibió apoyo de la Dirección general de Apoyo al Personal Académico, Proyecto PAPIME EN 212304, “Desarrollo de guiones experimentales para el plan de estudios de la carrera de Química de Alimentos de las asignaturas de Análisis Sensorial, Tecnología de alimentos y Desarrollo de Nuevos Productos”

Asesora del Tema

Dra. Patricia Severiano Pérez

Sustentante

Rocío Janet Tavera Hernández

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

A mis padres por el apoyo que me brindaron, por la formación, por fomentar en mí el deseo de saber, de conocer lo novedoso y abrirme las puertas al mundo, por haberme mostrado que con esfuerzo todo se puede, por su afecto y amor incondicional. A ti Mamá por saberme guiar con tus sabios consejos, por ser mi amiga incondicional, por ser la mejor mamá del mundo; y a ti Papá por tu valioso tiempo que me invertiste durante muchos años al estar conmigo cuando más lo necesitaba, cuando me llevabas a los museos, bibliotecas, cursos...

A mis hermanos:

Por estar conmigo en momentos difíciles brindándome su apoyo incondicional, por saber comprenderme y por todas las desveladas que les hice pasar.

Roberto:

Por tu comprensión, por tus consejos y por el apoyo que me has brindado en todo este tiempo.

A mis abuelitos, Félix y Ebodio:

Gracias por sus consejos, por hacerme sentir una persona valiosa y por preocuparse siempre por mi.

Mariana:

Por los buenos momentos que pasamos día tras día encerradas en el laboratorio, por los consejos que me diste y por tu apoyo incondicional.

Dra. Patricia Severiano:

Gracias por tu apoyo, por saberme guiar en todo este tiempo, por tu paciencia, por los consejos que me brindaste y por la confianza que depositaste en mi.

Un sincero agradecimiento a todas las personas que me apoyaron para que esta meta se cumpliera: **Profesora Lucy, Profesor Agustín, Profesora Julieta.**

Muchas gracias **Letty** por el gran apoyo incondicional que me brindaste y por todo el tiempo que me soportaste. Gracias **Marce** por tus consejos.

ÍNDICE

	Página
1. Introducción.....	1
2. Objetivos	
- Objetivo General.....	3
- Objetivos Particulares.....	3
3. Antecedentes	
3.1 Historia del maíz.....	4
3.2 Nixtamalización.....	5
3.3 Efectos causados por la nixtamalización.....	5
3.4 Masa.....	6
3.5 Tortilla.....	8
3.6 Propiedades fisicoquímicas de harina de maíz nixtamalizada.....	10
3.7 Color.....	11
3.8 Color en alimentos.....	11
3.9 Color en maíz azul y rojo.....	14
3.10 Estudios realizados en la estabilidad de los pigmentos presentes en tortillas de maíz azul y rojo.....	15
3.11 Textura.....	17
3.12 Textura en alimentos.....	17
3.13 Medida Instrumental de la textura en alimentos.....	18
3.14 Evaluación de textura en masa: resistencia la corte.....	20
3.15 Textura en tortillas.....	20
3.16 Calidad en tortillas de maíz.....	23
4. Hipótesis.....	25
5. Metodología (Muestras)	
5.1 Diagrama de la evaluación en muestras de maíz y masa.....	26
5.2 Diagrama de la evaluación en muestras de tortillas.....	27
5.3 Muestras experimentales.....	28
5.4 Elaboración de muestras de tortillas experimentales.....	30
5.5 Muestras comerciales.....	33
5.6 Selección de muestras comerciales.....	33
5.7 Muestras artesanales.....	33
6. Metodología (Análisis Fisicoquímico)	
6.1 Humedad (método de secado).....	34
6.2 Determinación de cenizas (método de la AOAC 5,7).....	34
6.3 Determinación de proteína (método de Kjeldahl).....	35
6.4 Determinación de grasa.....	35
6.5 Determinación de carbohidratos reductores (método DNS).....	36
6.6 Determinación de almidón (método de Yodo).....	38
6.7 Determinación de almidón (método AOAC 996.11, AACC 76.13).....	40
7. Extracción de pigmentos (Antocianinas).....	41
8. Análisis Instrumental de Color	
8.1 Determinación de color.....	42
8.2 Condiciones de evaluación.....	43

8.3	Calibración del Espectrofotómetro Minolta CM-3600d.....	44
8.4	Preparación de las muestras de maíz crudo y nixtamalizado para la medición de color.....	44
8.5	Preparación de las muestras de masa para la medición de color.....	45
8.6	Preparación de las muestras de tortillas para la medición de color.....	45
9. Análisis Instrumental de Textura		
9.1	Determinación de textura.....	46
9.2	Selección de las condiciones de evaluación.....	46
9.3	Preparación de muestras de tortillas para la evaluación de textura.....	46
9.4	Preparación de muestras de masa para la evaluación de textura.....	47
10. Análisis estadístico		
10.1	Detección de valores anómalos.....	48
10.2	Análisis de varianza (ANOVA).....	49
10.3	Correlación de variables.....	49
11. Resultados y análisis de resultados (Condiciones de nixtamalización).....		
12. Resultados y análisis de resultados (Análisis fisicoquímico).....		
12.1 Maíz		
12.1.1	Humedad.....	54
12.1.2	Cenizas.....	56
12.1.3	Grasa.....	57
12.1.4	Proteína.....	58
12.1.5	Carbohidratos.....	58
12.2 Masa		
12.2.1	Humedad.....	59
12.2.2	Cenizas.....	61
12.2.3	Grasa.....	62
12.2.4	Proteína.....	62
12.2.5	Almidón.....	63
12.2.6	Carbohidratos reductores.....	64
12.3 Comparación entre masa de maíz azul y rojo.....		
12.4 Tortillas experimentales		
12.4.1	Humedad.....	67
12.4.2	Cenizas.....	67
12.4.3	Grasa.....	68
12.4.4	Proteína.....	68
12.4.5	Almidón.....	68
12.5 Tortillas artesanales.....		
12.5.1	Humedad.....	69
12.5.2	Cenizas.....	69
12.5.3	Grasa.....	70
12.5.4	Proteína.....	70
12.5.5	Almidón.....	70
12.6 Tortillas Comerciales.....		
12.6.1	Humedad.....	71
12.6.2	Cenizas.....	72
12.6.3	Grasa.....	72
12.6.4	Almidón.....	72
12.7 Análisis fisicoquímico en tortillas de maíz azul, rojo y blanco.....		
		73

12.8	Análisis fisicoquímico en tortillas de maíz azul	74
12.9	Análisis fisicoquímico en tortillas de maíz rojo	75
12.10	Análisis fisicoquímico en tortillas de maíz blanco	76
12.11	Extracción de pigmentos (antocianinas) en maíz, masa y tortillas rojas y azules	78
13.	Resultados y análisis de resultados (Medición de Color)	85
13.1	Color en muestras de maíz blanco	
13.1.1	Diferencia de color entre maíz crudo y maíz nixtamalizado.....	87
13.1.2	Atributos de color en la cara externa e interna de tortillas de maíz blanco.....	88
13.1.3	Atributos de color en tortillas de maíz blanco (experimentales y comerciales).....	88
13.1.4	Atributos de color en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas.....	90
13.2	Color en muestras de maíz azul	
13.2.1	Atributos de color en maíz azul crudo y maíz azul nixtamalizado.....	91
13.2.2	Atributos de color en maíz azul nixtamalizado experimental, artesanal 1 y artesanal 2.....	92
13.2.3	Atributos de color en masa azul experimental, artesanal 1 y artesanal 2.....	93
13.2.4	Atributos de color en cara externa e interna en tortillas de maíz azul nixtamalizado.....	94
13.2.5	Atributos de color en tortillas de maíz azul nixtamalizado.....	95
13.2.6	Atributos de color en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas azules.....	96
13.3	Color en muestras de maíz rojo	
13.3.1	Atributos de color en maíz rojo crudo y maíz rojo nixtamalizado.....	97
13.3.2	Atributos de color en maíces rojos nixtamalizados.....	98
13.3.3	Atributos de color en masas de maíz rojo.....	99
13.3.4	Atributos de color en tortillas de maíz rojo.....	99
13.3.5	Atributos de color en la cara externa e interna en tortillas de maíz rojo.....	100
13.3.6	Atributos de color en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas rojas.....	101
14.	Resultados y análisis de resultados (Textura)	103
14.1	Análisis de Perfil de Textura (TPA)	105
14.1.1	Atributos de textura en masa azul.....	105
14.1.2	Atributos de textura en masa roja.....	107
14.2	Análisis de Tetura “Firmeza”	108
14.3	Resistencia al Corte y Extensibilidad en tortillas	
14.3.1	Textura en tortillas de maíz blanco.....	109
14.3.2	Textura en tortillas de maíz azul.....	111
14.3.3	Textura en tortillas de maíz rojo.....	112
14.3.4	Análisis comparativo de la resistencia al corte y extensibilidad de las tortillas rojas, azules y blancas.....	113
15.	Correlación de parámetros fisicoquímicos e instrumentales de color y textura	115
16.	Conclusiones	119

17. Bibliografía	123
18. Anexo I (Tablas de Análisis Físicoquímico)	130
18.1 Anexo II (Análisis estadístico)	137
18.2 Anexo III (Tablas anexas)	144

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de producción y consumo, el maíz es la gramínea más importante en México.

La industria del maíz y la tortilla representa para México la quinta industria en el país y la primera rama alimentaria, aportando el 75.2 % del volumen total de la producción agrícola (Almanza, 2001).

Las tortillas son la base de la alimentación mexicana, ya que son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio. Actualmente, el consumo de tortillas y sus productos derivados son muy populares en países desarrollados, los cuales son consumidos con diferentes platillos, sin embargo, debido al cambio de hábitos alimenticios y a la apertura de mercados se ha observado la entrada de alimentos de otras naciones, por lo que la industria productora de tortillas se ha visto en la necesidad de diversificar sus productos pudiéndose encontrar en el mercado mexicano tortillas elaboradas con la incorporación de diversos chiles en la masa, etc., así como tortillas azules, estas últimas con mayor presencia en el mercado en comparación con otros nuevos productos. La demanda por parte de los consumidores de productos novedosos hacen pensar que en un futuro el uso de diversas variedades de maíz va a ser necesario para cumplir con esta demanda. De allí que el conocimiento de las características de las tortillas elaboradas con diferentes variedades de maíz distinto al blanco, se hace necesaria para poder determinar las características fisicoquímicas, así como también color y textura mediante métodos instrumentales en las muestras, que permitan por una parte conocer su calidad nutricional y por otro el control de calidad de sus características fisicoquímicas.

Desde milenios, el aprovechamiento del maíz en la dieta humana depende de una fórmula sencilla: la cocción del maíz en una solución de cal, o alcalina, conocida como la nixtamalización cuyo objetivo general, es gelatinizar el almidón, hidrolizar parcialmente a la hemicelulosa del pericarpio y liberar niacina.

La nixtamalización juega un papel determinante en el mejoramiento del valor nutritivo del maíz y en la diversificación de productos derivados. El efecto de la nixtamalización en el valor nutritivo del maíz incluye: incremento de la digestibilidad; mejoramiento del balance isoleucina/leucina, lo que a su vez favorece el aprovechamiento de la proteína; y la liberación de parte de la niacina, que no está biodisponible inicialmente en el grano y que evita la pelagra,

enfermedad de deficiencia vitamínica que casi no se presentaba en Mesoamérica, gracias al consumo de productos nixtamalizados.

El maíz se consume principalmente en forma de tortillas y esto ha generado una industria que aún cuando se encuentra en miles de pequeños establecimientos es de enorme importancia, sin embargo en la actualidad se observa que las condiciones del procesamiento para la obtención del nixtamal varía, dependiendo de: tipo de escala de producción (doméstica, comercial o industrial); del molino o tortilladora; hábitos regionales, formas de consumo y de la variedad del grano; por ello el objetivo de este proyecto es realizar un estudio comparativo de las propiedades fisicoquímicas, color y textura entre tortillas elaboradas con tres variedades de maíz (rojo, blanco y azul), tortillas comerciales y tortillas artesanales para conocer si existe una posible correlación entre la medida fisicoquímica e instrumental de color y textura, con respecto a las características finales de la tortilla, ya que durante el procesamiento el grano, éste sufre cambios estructurales y químicos que afectan las propiedades como textura, color y sabor, así como también la vida de anaquel del producto nixtamalizado final.

Es importante mencionar, que este proyecto forma parte de un proyecto más amplio que abarca el estudio de las características sensoriales importantes en las tortillas (Escamilla 2006), el desarrollo del perfil sensorial de las mismas (Barrios, 2007) considerando las tres variedades evaluadas en este estudio y por tanto el estudio que se presenta en el actual trabajo complementará los estudios realizados y los que están en proceso de desarrollo, que pretenden caracterizar a las tortillas de estas tres variedades de maíz.

1. OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas e instrumentales de color y textura, en tortillas de maíz nixtamalizado elaboradas con tres variedades de maíz (rojo, blanco y azul), para caracterizar el maíz crudo, masa y tortillas elaboradas a partir de ellos.

Para el desarrollo del objetivo general, se plantearon los siguientes **objetivos particulares**:

- Determinar las condiciones de elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado.
- Seleccionar las condiciones para evaluar color y textura mediante métodos instrumentales, en tortillas de maíz nixtamalizado
- Realizar la evaluación fisicoquímica en tortillas de maíz nixtamalizado
- Determinar mediante resultados fisicoquímicos e instrumentales de color y textura, si la calidad de tortillas de maíz nixtamalizado es similar a valores reportados por la literatura.
- Determinar si el color de las tortillas comerciales y artesanales de maíz azul y rojo es proveniente del pigmento natural del maíz, mediante la selección de una metodología para la extracción y cuantificación de los pigmentos.

1. ANTECEDENTES

3.1 Historia del maíz

El maíz originario de México fue conocido por el mundo después de la conquista española. Grano sagrado que fue dádiva de los dioses mexicanos y sustancia activa de hombres y pueblos. El nombre de maíz o mahys que Linneo adoptó para designar científicamente a la planta *Zea mays* o causa de la vida, fue nombrado por los nahuas maíz al grano y la planta tzintli o Atzintzintli. Tzintli significó grano de hormiga, se trataba entonces de granos pequeños y se daba en espigas en forma silvestre.

El maíz es el fruto de una gramínea, que se caracteriza por producir un fruto cubierto o protegido, es una planta que pertenece a la clase de las Angiospermas. El grano llamado botánicamente cariósipide es monocotiledóneo. La cariósipide está compuesta por el pericarpio y la semilla. Se le llama grano desnudo porque se pierden las glumas durante su separación del olote. (Saldivar, 1996)

Desde el punto de vista de producción y consumo, el maíz es la gramínea más importante en México ya que el maíz es el cultivo más generalizado del país, por la extensión que ocupa y la importancia que tiene tanto en la alimentación como en el aspecto económico.

La industria del maíz y la tortilla representan para México la quinta industria en el país y la primera en la rama alimentaria, aportando el 75.2 % del volumen total de la producción agrícola. (Almanza, 2000).

Los granos de maíz son fuente alimenticia para humanos y animales domésticos, y contienen en su mayor parte hidratos de carbono (74%), y en menor proporción, proteínas (9%), aceite comestible (3.4%) y (1%) de fibra (Paliwal, 2001). Análisis bromatológicos de los maíces comunes que llenan actualmente el mercado mundial de granos, indican que los niveles de proteína cruda están en la banda de 7.5 a 8.4 por ciento, con bajo contenido de aminoácidos esenciales, especialmente de lisina y triptofano; el porcentaje de grasa está en el intervalo de 3.0 a 3.5; excepción hecha en los maíces altamente especializados, sea para calidad proteica o para alto contenido de aceite, cuyos valores son significativamente más altos que los anteriores (Dale, 1997).

El grano de maíz es una fuente importante de energía pero menor como fuente de proteína, tanto en proporción como en calidad, dada las carencias en aminoácidos esenciales; el porcentaje de lisina en grano es menor a 0.29, y el triptofano no rebasa el 0.07 (Dale, 1997).

3.2 Nixtamalización

La nixtamalización es el proceso de cocer el cereal en presencia de cal, antiguamente cenizas de hogueras, para posteriormente molturarlo y formar la masa. La masa es la materia prima para la elaboración de muchos productos, entre ellos, las tortillas. El maíz fue un factor clave en el desarrollo de las culturas prehispánicas en Mesoamérica. Los productos derivados del nixtamal jugaron un papel crítico de mejora del valor nutritivo del maíz. El maíz fue importante en el desarrollo de los pueblos azteca, maya, tolteca y otros, que muchas escrituras, obras de alfarería y esculturas estaban fuertemente asociadas con el cultivo y procesamiento del maíz. Los aztecas adoraban al dios y diosa del maíz, Centéotl y Chicomecóatl respectivamente, los cuales representaban el bienestar y salud del pueblo. Por otra parte, la civilización maya adoraba al dios del maíz Yum Kaax.

En la actualidad y principalmente en segmentos poblacionales de menos recursos económicos, los productos nixtamalizados son todavía el principal sustento para las poblaciones mesoamericanas. Indudablemente, el principal producto nixtamalizado es la tortilla. La tecnología para la elaboración de tortillas ha sido transmitida a través de las generaciones, siguiendo prácticamente los mismos pasos y procedimientos utilizados por los aztecas. En este proceso, el maíz es cocinado en exceso de agua con cal para formar nixtamal. El nixtamal es lavado con los objetivos de remover el exceso de cal y el pericarpio que se desprende debido al efecto hidrolizante del álcali sobre la fibra. El nixtamal limpio es posteriormente triturado a mano en un metate o en molinos de piedras volcánicas accionadas con motores. Al producto resultante de esta molienda se le denomina masa y es ingrediente básico para la formulación de tortillas, denominada tlaxcalli por los aztecas, la cual se puede definir como un pan no leudado elaborado a partir de maíz nixtamalizado (Serna-Saldivar, 1996).

3.3 Efectos causados por la nixtamalización

Algunos de los efectos importantes de la nixtamalización incluyen, biodisponibilidad creciente de niacina, mejora en la calidad de proteína, contenido creciente de calcio y la reducción de la concentración de aflatoxinas de los productos elaborados a base de maíz (Bressani, et al., 1990; Serna-Saldivar, et al., 1987; Wall & Carpenter, 1988). Los efectos químicos y funcionales que tiene el maíz durante el proceso de la nixtamalización son:

A) El contenido de humedad del maíz nixtamalizado aumentan con el aumento de la concentración de la cal, cabe mencionar que la cal facilita la absorción del agua por los granos del maíz. Esto podía

ser debido a la gelatinización del almidón del maíz durante cocción, haciendo la hidratación del endospermo más fácil y más rápidamente (Sefa-Dedeh, 2004).

B) El pH del maíz y las tortillas nixtamalizadas son un parámetro importante de calidad que afecta el sabor y la vida útil de los productos hechos del maíz nixtamalizado (Serna-Saldivar, et al., 1990)

C) El color de productos de maíz nixtamalizados, es un parámetro importante de la calidad, el cual tiene una influencia directa en la aceptabilidad del producto. El color desarrollado en productos nixtamalizados resulta del uso de cal; por lo tanto la intensidad del color se relaciona con la concentración de la cal. Incluso cuando las tortillas se producen con los núcleos blancos del maíz, una alta concentración de la cal conduce a un producto amarillento (Serna-Saldivar, et al., 1990)

D) La nixtamalización mejora el contenido proteínico de éstos productos (Sefa-Dedeh, 2004)

3.4 Masa

Después de cocer el maíz con la cal, el producto obtenido, llamado nixtamal, se lava con agua para eliminar el exceso de cal, éste se muele en molinos de piedra para obtener una pasta suave y cohesiva conocida como masa. La masa es utilizada para producir tortillas, las cuales son la principal fuente de calorías, proteínas y calcio (Campus-Baypoli., 1999). Actualmente, el consumo de tortillas y sus productos derivados son muy populares en países desarrollados, los cuales son consumidos con diferentes platillos (Yau, 1994). Sin embargo, la producción industrial de masa no sigue las condiciones tradicionales de nixtamalización, por lo que se obtienen tortillas cuya textura y estabilidad durante el almacenamiento son de menor calidad comparadas con las obtenidas en forma casera o con procesos a menor escala, como es el caso de las tortillerías de México (Bello-Pérez, 2002).

La masa obtenida es una mezcla constituida por los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina) mezclados con gránulos de almidón parcialmente gelatinizados, gránulos intactos, partes de endospermo y lípidos. Todos estos componentes forman una malla compleja heterogénea dentro de una fase acuosa continua (Gómez, 1987). Además, la reasociación de la amilosa y amilopectina, que depende del tiempo y la temperatura, modifica constantemente el contenido total de agua (Pflugfelder, 1988) y su distribución dentro de esta matriz. Este proceso tiene la mayor repercusión en las propiedades reológicas y de **textura** de los productos elaborados a partir de la masa. A pesar de esta complejidad, se ha avanzado en el entendimiento del proceso de nixtamalización y sus efectos en el grano de maíz (Rooney y Suhendro, 1999).

La cal actúa en los componentes de la pared celular del grano de maíz y convierte la hemicelulosa en gomas solubles. De esta forma, el tratamiento térmico-alcalino gelatiniza el almidón, saponifica parte de los lípidos, libera la niacina y solubiliza parte de las proteínas que rodean los gránulos de almidón. Adicionalmente, debido al pH las cadenas de glucosa a partir de la amilosa y la amilopectina se cargan, lo cual ayuda a disminuir la retrogradación. De cualquier manera, para unir todos estos eventos y producir una masa de alta calidad, tanto la nixtamalización como la molienda del nixtamal deben ser óptimos (Rooney y Suhendro, 1999).

Durante la nixtamalización, pequeñas cantidades de gránulos de almidón son gelatinizados y la mayor gelatinización se debe a la fricción durante la molienda, durante la cual también se dispersan parcialmente los gránulos hinchados dentro de la matriz, los que actúan como un pegamento que mantiene unidas las partículas de masa. Mucho almidón gelatinizado (debido a un cocimiento excesivo) produce una masa pegajosa que es difícil de manejar. Por otro lado, poco cocimiento produce una masa sin cohesividad que da origen a tortillas de textura inadecuada (Bello-Pérez, 2002). Sin embargo, se ha estudiado que la molienda por sí misma no puede ser utilizada para gelatinizar el almidón en un nixtamal que no fue bien cocido (Rooney y Suhendro, 1999). Ésta es la principal diferencia entre la masa obtenida con el proceso tradicional y la usada para elaborar harinas de maíz nixtamalizado (HMN). La naturaleza altamente hidratada del nixtamal en la producción de masa facilita la liberación de los gránulos de almidón durante la molienda a partir de la matriz proteínica.

En el caso de las HMN, éstas son obtenidas por molienda utilizando nixtamal con bajo contenido de humedad, lo que no permite la liberación de los gránulos de almidón a partir de los otros componentes presentes en el grano de maíz. En consecuencia, las partículas de las HMN son diferentes a las de las masas. Las partículas de las masas tienen cantidades significativas de gránulos libres de almidón con bajo contenido de proteína, mientras en las HMN las partículas tienen una cantidad de almidón y proteínas similar a la presente en el endospermo del grano de maíz (Gómez, 1991). La ventaja práctica de utilizar HMN es que únicamente se debe rehidratar con agua para obtener la masa, la cual es moldeada y cocida para obtener las tortillas (Almeida-Domínguez, 1996). Esto reduce considerablemente el costo de mano de obra, la inversión para equipo, los problemas asociados con la adquisición del grano de maíz y la generación de desechos durante la elaboración del nixtamal. Por esto, la producción de HMN se ha incrementado significativamente en los últimos 10 años. Las dos compañías más grandes de México han expandido sus operaciones a Estados Unidos, Centroamérica y Europa (Bello-Pérez, 2002).

Además, se ha estudiado la calidad de las Harinas de maíz Nixtamalizado utilizando diferentes métodos, los cuales usan cocimiento por lotes, reposo y molienda (Almeida-Domínguez, 1996). Las desventajas del uso de harinas de maíz nixtamalizado son su mayor precio, el sabor y la textura de las tortillas, comparadas con la masa, por ello los productores de Harinas de maíz nixtamalizado intentan optimizar los procesos con mejoras en la calidad. Aunque las características fisicoquímicas de las HMN producidas industrialmente son más consistentes, pequeñas variaciones en el proceso afectan significativamente la calidad de los productos elaborados con éstas. Entre las principales propiedades fisicoquímicas asociadas con la funcionalidad de las HMN están la distribución del tamaño de partícula, pH, la capacidad de absorción de agua y la reología de las masas (Figueroa, 1997; Campus-Baypoli, 1999).

Por otro lado, se ha reportado que las harinas de maíz nixtamalizado (HMN) están relacionadas con la capacidad de retención de agua (CRA), la cual es una forma de medir su funcionalidad. En el caso de las HMN las tortillas se elaboran simplemente rehidratándolas para obtener la masa, dándoles forma y cociéndolas. Durante la producción de las HMN el secado es un factor crítico para producirlas con una CRA apropiada, porque un tiempo de secado largo rompe las cadenas del almidón y genera cadenas cortas que retienen mayor número de moléculas de agua (Almeida-Domínguez, 1996). Sin embargo, Campus-Baypoli (1999) reportaron que con un excesivo calentamiento, los gránulos de almidón pierden su estructura e integridad formando una pasta gelatinizada con mayor índice de absorción de agua. Con esto se pueden obtener masas con mayor adhesividad lo cual dificulta su manejo durante la elaboración de las tortillas.

3.5 Tortilla

La tortilla, diminutivo de torta (pan de maíz) llamado en náhuatl *tlaxcalli*, significa cosa cocida, es el alimento étnico de mayor consumo en el país. Es un producto derivado del cocimiento de la masa obtenida de la nixtamalización del maíz, que se hace pasar por máquinas (en tortillerías y a gran escala) dándole forma circular con un diámetro de 13-14cm, espesor de 1-2 mm y de 20 a 30 g de peso en cada una (Serna-Saldivar 1996).

La tortilla de maíz está constituida básicamente por el grano de maíz, mezclado con pequeñas cantidades de cal que absorbió durante la cocción y remojo, y sin gran parte del pericarpio perdido durante la nixtamalización. El cocimiento en presencia de cal, baja un poco la digestibilidad de la proteína, pero aumenta significativamente la cantidad de calcio, de tal manera que en aquellos lugares

donde se consumen muchas tortillas más del 50% de este mineral es aportado por dicho producto. La tortilla, a diferencia del grano original, contiene un poco menos de fibra y grasa. La gran mayoría de sus calorías es aportada por el almidón parcialmente gelatinizado durante la cocción y horneado (Serna-Saldivar, 1996). En la Tabla 1, se muestra la composición química nutricional de la tortilla.

Tabla1. Composición química nutricional de la tortilla de maíz (100 g)

Nutriente	Cantidad ¹	g componente/100 g ²
Energía	238.3 Kcal.	-----
Humedad	41.90%	42.4
Proteína	6.50%	5.9
Grasa	2.53%	1.5
Fibra cruda	7.40%	4.47
Cenizas	2.20%	
Carbohidratos	39.47	47.2
Fibra dietética insoluble	6.30%	-----
Calcio	92.8 mg	-----
Hierro	2.5 mg	-----
Magnesio	69.7 mg	-----
Fósforo	162.6 mg	-----
Potasio	205.3 mg	-----
Sodio	13.3 mg	-----
Zinc	2.5 mg	-----
Cobre	0.07 mg	-----

¹ Tabla del libro Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. (Serna-Saldivar 1996)

² Tablas instituto Nacional de Nutrición (Zubirán, 1996).

Durante el proceso de elaboración de tortilla el contenido de fósforo, hierro y calcio se incrementa 15, 37 y 20%, respectivamente; aumenta la disponibilidad de niacina (vitamina importante para evitar la pelagra), que de manera natural no se encuentra disponible y, por lo tanto, no puede aprovecharse (Khan, 1980).

Considerando la importancia de la tortilla en la dieta del pueblo mexicano, debe aumentarse el valor nutricional de las harinas nixtamalizadas, lo cual podría realizarse mediante diferentes procedimientos: 1) Utilización de harinas elaboradas con maíz integral; 2) enriqueciendo o fortificando estas harinas con minerales, vitaminas y proteínas, principalmente y 3) utilización de mezclas de maíz con leguminosas, oleaginosas, y otros cereales (amaranto) que complementen las deficiencias presentes en el maíz. (Flores, 2002)

Además cabe mencionar que la tortilla debe reunir características de aroma, sabor y tener flexibilidad y textura adecuada para poderla doblar y enrollar para comerla como taco. (Cortéz y Wild-Altamirano, 1972).

3.6 Propiedades fisicoquímicas de harina de maíz nixtamalizada

El ritmo acelerado de vida hace necesario consumir harinas de maíz nixtamalizado (HMN), ya que se presentan en una forma más accesible al consumidor, pero las características de las tortillas elaboradas con las HMN son diferentes a las tradicionales. Se han estudiado masas elaboradas en tortillerías y HMN en su composición química, capacidad de retención de agua (CRA), gelatinización, retrogradación, difracción de rayos X y comportamiento reológico. En este estudio se demostró que las masas y HMN presentan una composición química similar. Para los carbohidratos solubles, la CRA, la temperatura y entalpía de gelatinización se encontraron diferencias entre masas y HMN. Las masas estudiadas tuvieron mayor contenido de carbohidratos solubles y menor CRA que las HMN. De igual manera, las HMN mostraron menor temperatura y entalpía de gelatinización que las masas.

Estos resultados se corroboraron por el análisis de difracción de rayos X; por ejemplo las HMN tuvieron un menor grado de cristalinidad que las masas. La entalpía de fusión en las masas y HMN retrogradadas tendieron a incrementarse con el tiempo de almacenamiento. Estos resultados se asociaron con el perfeccionamiento de los cristales durante la retrogradación del almidón; por ejemplo, la recristalización del almidón gelatinizado se lleva a cabo como un proceso que depende del tiempo (Bello-Pérez, 2002).

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8% con un 0.25% de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores, en tanto que otros han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo mejora levemente la calidad de las proteínas.

Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las diferentes variedades de maíz.

Según algunos investigadores es el triptofano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz, lo cual puede ser cierto en el caso de algunas variedades con una concentración elevada de lisina o para productos de maíz que hayan sido sometidos a algún tipo de elaboración. Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptofano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales (Hogan, 1955).

3.7 Color

El color, tiene diferentes significados. Los físicos lo aplican a las variaciones en las distribuciones espectrales de las luces, tanto si son emitidas directamente por fuentes como si lo son indirectamente reflejadas o transmitidas por objetos. Los químicos utilizan la palabra color para referirse a diferencias espectrales debidas a variaciones en la constitución molecular o en las configuraciones de los compuestos químicos. En psicología, el color significa un aspecto de la respuesta de un observador humano, una percepción que tiene lugar en el cerebro del observador como resultado de la estimulación visual. En el lenguaje normal el color se asocia con objetos, de modo que el mismo objeto debe tener el mismo color siempre y donde lo encontremos.

El color percibido, es el aspecto de la percepción visual que permite al observador distinguir las diferencias entre dos objetos de las mismas dimensiones, forma y estructura, siendo estas diferencias de la misma naturaleza que las producidas por una diferencia de composición espectral de la radiación que interviene en la observación.

El **color sicofísico**, es la característica de la radiación visible que permite al observador distinguir las diferencias entre dos objetos de las mismas dimensiones, forma y estructura, siendo estas diferencias de la misma naturaleza que las producidas por una diferencia de composición espectral de la radiación que interviene en la observación.

La medida del color implica la asignación de números que representen atributos del fenómeno psicológico de lo que llamamos color, generalmente, la medida del color no intenta describir directamente percepciones de color, en vez de ello, la medida de color intenta relacionar el fenómeno psicológico (color) con el fenómeno físico (flujo luminoso, longitud de onda, etc) que provoca la percepción (Gilabert, 1998).

3.8 Color en alimentos

El color es un componente importante de calidad en las industrias alimenticias y agrícolas, porque el color se asocia con factores tales como frescura, madurez, agrado, y seguridad del alimento, esta es a menudo una consideración primaria de los consumidores al decidir sus compras. Por tales razones, el color es un factor importante que califica la mayoría de los productos alimenticios incluyendo las carnes y las cosechas tales como: maíz, arroz, y trigo para el consumo humano. La percepción del color difiere de persona a persona, ya que depende de la iluminación y

de otros numerosos factores, muchas industrias confían en la visión humana junto con un sistema instrumental de la medida de color (McCaig, 2002).

En las industrias alimenticias y agrícolas el sistema numérico más popular para determinar color-espacio es el $L^*a^*b^*$, el cuál también se refiere como el sistema de CIELAB, definido originalmente por el CIE en 1976 (CIE, 1986).

Dentro de este sistema, L^* es una medida de la ligereza del color de la muestra, a^* medidas las características rojas y verdes, y b^* medidas las características amarillas y azules (McCaig, 2002).

Diversos estudios han demostrado que la aceptación de un producto de parte del consumidor, depende en buena medida de su apariencia y, por lo tanto, también de su color.

El color es la primera sensación que se percibe y determina el juicio inicial de calidad. Es también, un elemento relevante dentro de conjunto de sensaciones que aporta el alimento, y tiende a veces a modificar al olor y al sabor.

Los factores de calidad en los alimentos pueden dividirse en tres grandes áreas: color, sabor-aroma y textura. Cada uno puede tratarse de modo objetivo, pero si el color es inaceptable, hay pocas posibilidades de examinar el sabor-aroma y la textura.

Color y apariencia son normalmente las bases de aceptación o rechazo de un alimento, aunque, por importante que esto pueda ser, existe una sorprendente amplitud en la variación de los colores que se aceptan dentro de las nociones preconcebidas sobre qué color de un alimento es aceptable.

Los alimentos tienen sus colores propios y, a lo largo de los tiempos, hemos creado códigos de color que indican si un alimento puede ser comido con seguridad. El hombre, como las demás especies animales, ha tenido una evolución de los pigmentos de los conos de la retina que le ha permitido una búsqueda eficiente de los alimentos. Sin embargo, el establecimiento de nuestra sociedad agraria, ha permitido que producción, almacenamiento, conservación y distribución de los alimentos estén más controlados y organizados

La importancia del control colorimétrico en alimentos tiene su origen en tres razones principales. La primera es la caracterización del producto desde el punto de vista del control de calidad. Un consumidor espera que todas las unidades de una cierta marca de un alimento tengan el mismo color. Si una es diferente, inmediatamente es sospechosa y probablemente será retirada de las estanterías. La segunda es el uso del color como índice de valor económico. Por ejemplo, la madurez óptima de los tomates está asociada con el desarrollo óptimo del color y del sabor. Puesto que es más fácil medir el color que el sabor, se utiliza el color como medida del valor del lote. La tercera razón es

mejorar un producto dado. Esto se aplica principalmente a alimentos preparados o a ingredientes de alimentos en los que el tecnólogo tiene libertad para manipular el color como un aspecto de calidad (Hutchings, 1994).

La muestra es un material con propiedades físicas y ópticas definidas. Cada muestra debe ser preparada y tratada adecuadamente si se quiere una medida con éxito e inequívoca. El proceso sintético es el juicio de una propiedad del color proveniente de una percepción visual de la muestra. El proceso puede implicar ordenar las muestras en función de un atributo percibido visualmente. Este proceso no incluye juicios de preferencia, gusto o aceptabilidad. El proceso analítico implica medidas físicas del espectro de reflectancia y/o transmitancia característicos de la muestra.

El proceso analítico como preeditor del proceso sintético es el proceso donde se unen la evaluación sensorial y la medida física para producir alguna comprensión del sistema bajo examen. Información química, como contenido en pigmentos, e información física, como tamaño de partículas, pueden ser incluidos para producir un cuadro completo. Cuando se intenta usar medidas físicas como predictores de la apariencia, siempre es necesario comprobar que las unas están relacionadas con la otra. Las medidas no son un sustitutivo de mirar, y comparar juntas (lado a lado) las muestras representativas del experimento. El sistema visual no se debe utilizar sólo para observar que hay diferencias, sino, además, para establecer críticamente esas diferencias. Solamente de esta forma: primero, puede definirse de modo real la tarea a cumplir por el instrumento y, segundo, puede hacerse una estimación de la eficiencia del método instrumental par satisfacer esta tarea (Little, 1973).

Ocurre comúnmente con los materiales traslúcidos que el sistema visual y el instrumento no "ven" la misma cosa cuando cada uno "mira" una muestra. Ni siquiera "miran" la misma muestra. El color de muchos alimentos, incluyendo la carne, cambia con la profundidad. Las intensidades de luz disponibles durante la evaluación subjetiva y la medida objetiva son probablemente diferentes. Esto se debe a que se reflejan diferentes proporciones de luz desde distintas profundidades de la muestra. Por lo tanto, la luz reflejada contendrá una componente mayor o menor que llegue desde los pigmentos interiores. Además, los resultados instrumentales contienen información de elementos estructurales dentro del alimento. Los jueces pueden ignorar este factor cuando hacen valoraciones visuales. Otra vez, el instrumento y el ojo están respondiendo diferentemente a la misma muestra. Los elementos estructurales pueden, o no, mantenerse iguales, por ejemplo: el moteado o la estructura cambia. Obviamente, todos estos factores pueden afectar mucho a las relaciones entre valoraciones visuales y medidas objetivas. Normalmente, son suficientes para evitar que se obtengan relaciones fiables.

El tecnólogo de alimentos que aborda la medida del color en alimentos se enfrenta a una desconcertante elección de métodos y caminos que pueden clasificarse en tres grupos: 1) Métodos Visuales; 2) Espectrofotometría y 3) Colorimetría Triestimular. La aplicación e interpretación de cada uno requiere una formación en física, fisiología, psicología, instrumentación y estadística. Sin embargo, se puede no necesitar esta formación para utilizar el color como herramienta de control de calidad. Una comprensión de la teoría, medida e interpretación del color, junto con un conocimiento del método de presentación de muestras para la medida suelen ser suficientes, aunque en ocasiones se note la ausencia de esta comprensión a través de los trabajos publicados.

3.9 Color en maíz azul y rojo

México se ha reconocido como el centro del origen del maíz, y se han divulgado cerca de 45 diversas variedades del maíz. Entre estas variedades están algunos granos de maíz coloreados con los colores que se extienden de blanco al color rosa, siendo los más comunes el azul y el rojo. Estos granos de color se atribuyen a la presencia de antocianinas encontrados principalmente en el pericarpio y/o en la capa de la aleurona (Cortés-Gómez, 2005).

El maíz azul y rojo son utilizados por las comunidades pequeñas donde se cultivan para preparar alimentos tradicionales tal como tortillas, tlacoyos, gorditas, atoles y otros. Estos productos están en demanda por muchos consumidores debido a su textura suave y buen sabor. También, estos productos nixtamalizados dan una contribución positiva a la dieta humana debido a su contenido de calcio (Cortés-Gómez, 2005).

Debido a las actuales tendencias legales y de la salud hacia la reducción del uso de colorantes sintéticos, los granos naturalmente pigmentados son de gran interés a los agricultores tradicionales, productores y consumidores industriales. En estudios anteriores, varios autores han reportado el uso del maíz pigmentado en diversos alimentos (Cortés-Gómez, 2005).

Maga y Liu (1993) reportan algunas características de los productos extruidos hechos del maíz azul y demostraron que el maíz azul se puede extruir con éxito para producir una amplia gama de bocados.

3.10 Estudios realizados en la estabilidad de los pigmentos presentes en tortillas de maíz azul y rojo

En México, a aumentado la preferencia de consumir tortillas de maíz azul, debido a su sabor dulce y suavidad en comparación con las tortillas del maíz blanco o amarillo.

Las antocianinas son los compuestos naturales, que imparten color a las frutas, vegetales, y plantas. Pueden ser encontrados diversas variedades de maíz pigmentado en México (Ortega et al., 1991). Son probablemente el grupo más importante de pigmentos de la planta, además de la clorofila. En su estado natural, las antocianinas simples se esterifican a uno o varios azúcares, y reciben el nombre de antocianinas aciladas (Strack and Wray, 1989).

Estudios conducidos por Salinas et al. (2003) indican que las antocianinas encontradas en maíz azul vienen de la cianidina y de malvidina, mientras que en el maíz de grano rojo vienen de pelargonidina, cianidina, malvidina, y otro estilo no descrito de antocianinas.

Jackman y Smith (1996) encontraron cianidinas aciladas cíclicas y acíclicas y el 3-glucósido del pelargonidina y del peonidina, en maíz azul. Además de que imparten color, el interés en las antocianinas se ha intensificado debido a sus efectos benéficos a la salud cuando están incluidos en la dieta. Éstos actúan como antioxidantes naturales y pueden tener efectos terapéuticos positivos en el tratamiento de las enfermedades causadas por la oxidación de radicales libres con oxígeno activo (Einbond et al., 2004), en el tratamiento de enfermedades microcirculatorias (Wang et al., 1997), como agente protector para los vasos sanguíneos y en el tratamiento de enfermedades inflamatorias crónicas (Rossi et al., 2003), como agente protector contra la radiación (Akhmadieva et al., 1993), en el control de la diabetes, y como agentes antineoplásicos y quimoprotector (Kamei et al., 1995).

Las antocianinas se consideran seguras para el consumo humano, y son aditivos alimenticios eficaces (Einbond et al., 2004; Kong et al., 2003; Salinas et al., 1999).

Estos pigmentos naturales han sido usados como colorantes, sin embargo, debido a cambios en el pH, presión y temperatura cambian el color de antocianinas durante el proceso de los alimentos (Fossen et al., 1998) y esto ha limitado su uso.

Cabe mencionar que Brouillard (1982) encontró que las antocianinas son estables en un pH ácido, pero la estabilidad disminuye en pH neutral y se destruye totalmente en pH alcalino. Sin embargo, algunas antocianinas del tipo acilo (tales como *las pentanina*) son estables en un pH mayor a 7, mientras que el 3-glucósido cianidina pierde estabilidad cuando el pH es más alto de 5 (Fossen et al., 1998).

Salinas et al. (2003) reportan que el color de la harina de maíz nixtamalizada y la pérdida total de antocianinas es influenciada por su localización en el maíz. En este estudio se reporta que las pérdidas más altas de antocianinas ocurren en muestras donde éstas son localizadas en el pericarpio y en la harina nixtamalizada de estas mismas.

Sin embargo, en maíz azul, el proceso de nixtamalización aumenta la concentración del 3-glucósido cianidina, comparada con harina cruda (sin nixtamalizar).

Cortes-Gómez et al. (2005) reportan que las tortillas elaboradas de maíz azul nixtamalizado usando después un proceso de fraccionamiento, demuestran que las características funcionales de estas tortillas son similares a las de tortillas azules tradicionales.

Según Francis (1992), cuando los pigmentos se someten a altas temperaturas, la destrucción de estos pigmentos ocurre en forma logarítmica.

Brouillard (1982) y Delgado-Vargas et al. (2000) demostraron que cuando se usa hidróxido de calcio e incremento de temperatura se favorece la formación del *chalcon*¹, dando por resultado pérdida del color. Sin embargo, cuando no se utiliza el hidróxido de calcio, la transformación estructural de antocianinas en los ¹*chalcones* es menor que con el efecto de temperatura o el efecto del pH. El hidróxido de calcio aumenta el efecto del pH, el cual es el factor más importante que interviene en la transformación estructural de antocianinas durante el proceso de nixtamalización.

Según Brouillard (1982) y Fossen et al. (1998), a un pH alcalino el catión flavil comienza a hidratarse, dando lugar a un carbinol o a una pseudobase decolorida, en equilibrio con la forma abierta del *chalcon*¹, el cual también es decolorido.

Fossen et al. (2001) identificó la antocianina tipo acilo en inflorescencias en hojas del maíz y demostró que los derivados de acilo constituyen más del 40% de las antocianinas presentes.

Estudios conducidos por Pascual-Teresa et al. (2002) indicaron que la 3-glucósido cianidina, es la antocianina principal encontrada en maíz azul, junto con el 3-glucósido pelargonidina y el 3-glucósido peonidina y sus derivados respectivos del malonil.

Cuando el maíz esta procesado en condiciones alcalinas las estructuras se transforman en un carbinol descolorido, o pseudobase, con una proporción más elevada de la forma abierta del ¹*chalcon* descolorido (Cevallos-Casals y Cisneros-Zeballos, 2004).

En el maíz azul, se encontraron pigmentos en el pericarpio, prácticamente todos las antocianinas se degradan durante el proceso de nixtamalización (Salinas et al., 2003).

¹ La palabra *chalcon* se refiere a un tipo de antocianina, es decir es un derivado hidroxilado de las estructuras flavon y flacona.

Por otra parte, el maíz contiene los pigmentos en el pericarpio y aleurona, los pigmentos que se presentan originalmente en la aleurona son el 3-glucósido cianidina y un derivado de la cianidina que puede ser una antocianina tipo acilo.

3.11 Textura

La palabra textura deriva del latín *textura*, que significa tejido, y que originalmente se tomó referencia a la estructura, sensación y apariencia de los tejidos. No fue hasta la década de 1960 que se empezó a utilizar para describir “la constitución, estructura o esencia de cualquier cosa en relación con sus constituyentes, elementos formativos”.

La textura se define como “todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos”. (Andrew, 2001)

La textura incorpora todos los atributos, mecánicos, geométricos y superficiales de los alimentos, sugiriendo que la experiencia de la textura es uno de los muchos estímulos trabajando en combinación.

3.12 Textura en alimentos

Cuando un individuo come un producto alimenticio, la muestra es masticada más allá de la rotura inicial, y los estímulos que resultan forman parte de la sensación global de textura. Mientras que el mordisco inicial es un aspecto importante de la textura, también lo son los mordiscos subsiguientes, la viscosidad, la adhesividad y la consistencia del alimentos mezclado con la saliva. Igualmente son importantes los aspectos de la apariencia del alimento, las propiedades mecánicas y los ruidos que se producen cuando el alimento es manipulado, cortado y comido. La textura se puede expresar por los sonidos que los alimentos hacen al manipularlos, hasta tal punto que escuchamos los alimentos para estimar su calidad.

La técnica instrumental estudia el **Conjunto de propiedades reológicas y de estructura** de un producto, perceptibles por los mecano-receptores, los receptores táctiles y en ciertos casos por los visuales y auditivos.

3.13 Medida instrumental de la textura en alimentos

Scout-Blair (1958), clasificó las técnicas instrumentales utilizadas para medir la textura de los alimentos en tres grupos:

1. Ensayos empíricos: que miden alguna propiedad física bajo condiciones bien definidas.
2. Ensayos imitativos, que intentan simular las condiciones a las que el material está sometido en la boca.
3. Ensayos fundamentales, que miden propiedades físicas bien definidas tales como la viscosidad o el módulo elástico.

Los ensayos Empíricos se desarrollan por experimentación y observación. Los ensayos empíricos sirven como patrones que se utilizan para clasificar la calidad del alimento.

Los ensayos imitativos intentan imitar la masticación con cierto tipo de máquina que mastica el alimento. La máquina está equipada para proporcionar medidas de esfuerzo y/o deformación durante la secuencia del ensayo.

Un ensayo imitativo que ha captado la imaginación de muchos tecnólogos en alimentos debido a que pretende proporcionar valores estándar de la textura de los alimentos es el *Análisis de Perfil de Textura* (TPA – Textura Profile Analysis), creado por General Foods a mediados de los años 60. En una serie de artículos, Szczensniak y sus colaboradores definieron una variedad de términos expuestos a continuación (Andrew,2001):

El TPA pretende medir la relación de características sensoriales no lineales, otra característica del TPA como medida con el texturómetro es que el instrumento tiene una acción de oscilación que resulta de la construcción de giro (análoga a la articulación temporal-mandíbula).

La textura surge de los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de los alimentos, y puesto que ellos mismos dependen de la estructura y composición química, debería parecer razonable intentar registrar los cambios de la composición química como una medida de la textura del alimento y posiblemente de la calidad (Andrew,2001).

La textura del alimento es esencialmente una experiencia humana surgida de nuestra interacción con el alimento, su estructura y comportamiento cuando se manipula. Para comprender nuestra respuesta a la estructura del alimento y su rotura nos implica en una matriz de disciplinas, desde aspectos de fisiología y psicología de la percepción a estudios físicos y químicos de la composición y estructura de los productos alimenticios y su comportamiento cuando son deformados o cizallados (Andrew, 2001).

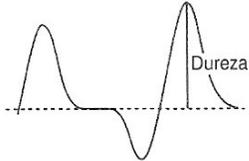
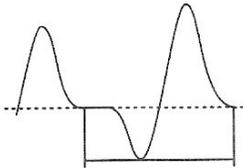
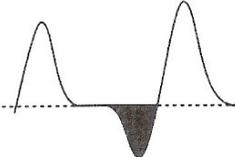
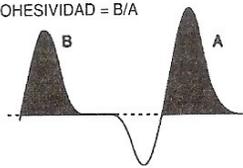
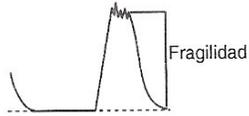
Parámetro	Definición sensorial	Definición instrumental
Dureza	Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares	
Elasticidad	La extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza	 Ciclo = Segundo contacto – Primer contacto Elasticidad = Ciclo para un material inelástico – Ciclo para el alimento
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie	
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento	$COHESIVIDAD = B/A$ 
Fragilidad	La fuerza a la que material se fractura. Los alimentos frágiles nunca son adhesivos	
Masticabilidad	La energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado	= Dureza × Cohesividad × Elasticidad
Gomosidad	La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado	= Dureza × Cohesividad

Figura 1. Parámetros medidos por TPA. Fuente: Rosenthal A. J. B.Tech, MSc, PhD, MIFST. (2001). Textura de los Alimentos. Medida y percepción. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.

Los primeros estudios más extensos e importantes sobre textura fueron realizados por Szczesniak y colaboradores en la General Foods en Estados Unidos (Brandt, et al., 1963; Szczesniak, 1963, Szczesniak, et al., 1963). Estos artículos iniciales constituyeron las bases para el método de Perfiles de Textura.

El primer artículo de esta secuencia (Szczesniak, 1963), define tres categorías de textura:

1. *Características mecánicas:* Correlacionando la reacción del alimento al esfuerzo
 - ✓ **Parámetros primarios:** dureza, cohesividad
 - ✓ **Parámetros secundarios:** fragilidad, masticabilidad, gomosidad.
2. *Características geométricas:* Correlacionando el tamaño, forma y orientación de las partículas en el alimento; por ejemplo, polvoso, arenoso, grumoso, hojaldrado, fibroso, celular, gasificado, cristalino.
3. *Otras características.* Correlacionando la percepción de los contenidos de humedad y grasa del alimento, por ejemplo, seco, húmedo, aceitoso.

3.14 Evaluación de textura en masa: resistencia al corte

En un estudio realizado por (Martínez, 1997), se reporta que la resistencia al corte se evalúa con el equipo Textura Analyzer TA.XT2 (Textura Technologies Corp) usando el aditamento TA-18 ½ (esfera de acero) que es conectado directamente a una computadora que grafica el resultado en unidades de Kg.

Para este estudio se prepara una muestra de masa de 5cm de diámetro y 1cm de altura, colocándola sobre la base plana del equipo a una velocidad de 2mm/seg a una distancia de penetración de 4 mm. Se encontró que cuando existe una sobre gelatinización del almidón, la viscosidad de la masa resultante es mayor, chiclosa y pegajosa (poco manejable), como consecuencia de una mayor absorción de agua, por lo que la resistencia al corte de la masa es menor.

3.15 Textura en tortillas

La textura es una característica de calidad más significativa de la tortilla, puesto que la textura hace una contribución dominante a la calidad y a la aceptabilidad total. La textura de la tortilla depende de varios factores incluyendo condiciones de la materia prima y de la hornada. El empaquetado, las condiciones y el tiempo de almacenaje son también factores importantes que

afectan la textura. La frescura y la vida útil de tortillas se relaciona con la textura, y estas características se pueden determinar usando medidas texturales (Kayacier, 2003).

La textura de los productos alimenticios se puede determinar por dos diversas maneras. El análisis instrumental y la evaluación sensorial se utilizan para determinar las características texturales de los productos alimenticios. El uso del análisis instrumental es más conveniente que el de la evaluación sensorial (Kayacier, 2003).

En un estudio realizado acerca de las características estructurales y texturales de tortillas de harina extruida de maíz suplementada con los varios tipos de lípidos del maíz, se encuentra, que la composición química y los componentes del grano afectan la calidad de las tortillas producidas de la harina extruida obtenida del maíz. Se han estudiado los efectos de varios tipos de lípidos del maíz agregados en varias concentraciones a la harina cruda sin refinar, antes de ser procesada.

Las características estructurales de la harina, el coeficiente de difusión eficaz de la humedad y la pérdida del peso durante la cocción de masa, así como también las características texturales de tortillas fueron analizados en función de la concentración y del tipo de lípido del maíz que se agregó.

De este análisis, resultó que la cantidad más baja de deshidratación (el coeficiente de difusión eficaz más bajo de la humedad) y las mejores características fisicoquímicas y texturales de masas y de tortillas frescas fueron obtenidas de la harina suplementada con el 0.5% (w/w) de la fracción no polar del lípido (Arámbula-Villa, 2001).

Las características de textura en las tortillas fueron evaluadas con el Analizador de Textura TA-XT2 (Texture Technologies Corp., Scarsdale, NY/Tem micro estable del sistema, Godalming, Surrey, U.K.), cuyo objetivo fue determinar la fuerza extensible (o extensibilidad) y la fuerza de corte.

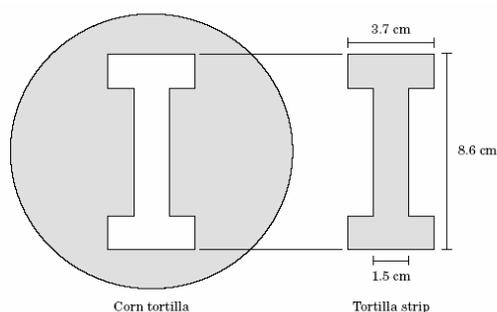


Figure 2. Representación esquemática que muestra las dimensiones de la forma utilizada para las pruebas de textura en tortilla con el analizador de textura “TA-XT2” Fuente. Arámbula-Villa G.; J. González-Hernández and Ordorica-Falomir† C.A. (2001) “Physicochemical, Structural and Textural Properties of Tortillas from Extruded Instant Corn Flour Supplemented with Various Types of Corn Lipids” *Journal of Cereal Science* 33, 245–252

Encontrándose que los diversos componentes del grano del maíz, así como los lípidos, afectan la calidad de las tortillas (Arámbula-Villa, 2001).

Por otra parte, se estudio la textura (firmeza) de tortillas elaboradas con maíz azul nixtamalizado, utilizando el analizador de textura TA.XT2i (Texture Technologies Corp, Arsdale del Sc, NY). La fuerza de compresión de las tortillas fue analizada usando una sonda HDP/TPB (pastry burst ring).

Encontrándose que a concentraciones altas de hidróxido de calcio (1.7% w/w) y 30 minutos de nixtamalización, se observó una mejor cohesividad en la tortilla (Cortes-Gómez, 2005)

Por otro lado, Almeida-Domínguez (1996) encontraron que se requiere que haya una alta capacidad de absorción de agua para producir tortillas con una flexibilidad aceptable y una capacidad de recalentarse creando vapor dentro de la tortilla durante su calentamiento.

Las tortillas adquieren una textura firme y relativamente rígida cuando se enfrían y permanecen almacenadas debido a una combinación de factores que incluyen la deshidratación, retrogradación del almidón y formación de una estructura poco flexible. Normalmente las tortillas adquieren cierta flexibilidad al recalentarse previo al consumo pero nunca recuperan la textura original de una tortilla recién hecha

La pérdida de suavidad y flexibilidad de la tortilla al enfriarse durante el almacenamiento se debe en gran medida a la formación de una estructura rígida causada por la retrogradación del almidón y asociados con proteínas, fibra y otros componentes químicos. Los cambios estructurales empiezan tan pronto como la tortilla sale del horno y empieza a enfriarse. La necesidad de conservar la textura durante el almacenamiento es crucial para la calidad de la tortilla en el mercado. El debilitamiento de la estructura rígida combinado con el establecimiento de una nueva estructura más flexible, menos susceptible a cambios durante el almacenamiento es una alternativa para mejorar la textura de la tortilla.

Analizadores de textura que miden las características de deformación y flujo de los materiales pueden emplearse para medir con precisión las características de textura del nixtamal, masa, tortillas y totopos. La consistencia del nixtamal puede medirse como la fuerza y trabajo necesarios para extruirlo en condiciones controladas. Las cohesividad, firmeza, gomosidad y otras propiedades de la masa pueden medirse en una muestra preparada apropiadamente durante su deformación en condiciones controladas. La flexibilidad, la rollabilidad y la capacidad de doblarse sin romperse de las tortillas puede medirse con un analizador de textura. La muestra de tortilla debe prepararse adecuadamente y deformarse en condiciones óptimas.

La capacidad de medir la textura del nixtamal, masa y tortillas capacita a los operadores para responder apropiadamente a los cambios encontrados durante la operación normal de la maquinaria. Algunos de los cambios encontrados que requieren respuesta inmediata son: a) cambio del tipo de maíz, edad o cosecha, b) cambios en la eficiencia del cocimiento debido a fallas de flama, vapor, etc., c) cambios en la eficiencia de la molienda debido a desgaste de la piedra o separación inadecuada, d) nivel de humedad inapropiado de la masa y tortillas, y e) perfil inadecuado de tiempo-temperatura durante el horneado (Almeida-Domínguez, 1996).

Estos métodos de análisis deberán seleccionarse y adaptarse convenientemente y entonces podrán emplearse para caracterizar materias primas y productos intermedios y finales. La información obtenida tiene muchas posibilidades de uso para establecer especificaciones de calidad de productos y especificaciones de control en puntos críticos del proceso, evaluar cambios en el proceso, eficiencia y/o desgaste de máquinas, funcionalidad de aditivos, estudios de estabilidad del producto en el anaquel, caracterización de harinas de maíz, evaluación de métodos alternativos para la nixtamalización (Almeida-Domínguez, 1996).

3.16 Calidad en la tortilla de maíz

Calidad es la combinación de atributos medibles en un alimento que en su conjunto determinan el grado de aceptabilidad del producto por el consumidor y por lo tanto condiciona su valor comercial. En forma global se agrupan en cuatro principales puntos la calidad de un alimento:

1. Cuantitativos: Son el peso o el volumen, es decir, la cantidad de producto que adquiere el consumidor a un determinado precio.
2. Nutritivo: Contenido de proteínas, carbohidratos, vitaminas que a su vez están relacionados con la respuesta que se obtiene de las características sensoriales, porque si se lleva a cabo una suplementación y con esto se obtiene una mayor cantidad de proteína y grasas, el elemento agregado no debe influir en el sabor y la textura de la tortilla.
3. Sanitarios: Los que afectan la pureza, integridad o contaminación del alimento, como residuos de plaguicidas, unidades dañadas o podridas, fragmentos de insectos, microorganismos viables, que son los que el consumidor aprecia con sus sentidos.
4. Sensoriales: Son de naturaleza compleja y están constituidos por una serie de atributos específicos, resultado de las sensaciones experimentadas por el individuo al entrar en contacto por medio de los sentidos:
 - Factores de aspectos: captados por el sentido de la vista como color, forma, tamaño

- Factores de Textura: capacidad por el sentido del tacto, con los dedos y especialmente por la boca.

Los atributos en la tortilla son:

- a) Su consistencia flexible y a la vez de una firmeza tal que permita que ésta pueda emplearse como sustituto de una cuchara para transportar alimentos, del recipiente donde se encuentran a la boca.
- b) Que el material posea en su estructura uniformidad (no porosa) y que en la superficie cuya forma es un disco plano, puedan incluirse líquidos sin que atraviesen el producto
- c) Su flexibilidad que facilita la envoltura de productos de variadas formas para cubrirlos y transportarlos comúnmente llamado taco.
- d) Su color blanco de preferencia
- e) Su estabilidad y aspecto higiénico exento de contaminación microbiana.
- f) La capacidad temporal del producto para sustituir parcialmente sus cualidades de textura originales cuando se desea consumir empleando únicamente calor, es decir recalentables.

4. HIPÓTESIS

Si se elaboran tortillas de maíz nixtamalizado bajo condiciones controladas, entonces las propiedades fisicoquímicas e instrumentales de color y textura de las muestras darán resultados reproducibles.

5. METODOLOGÍA

5.1 Evaluación en muestras de maíz y masa

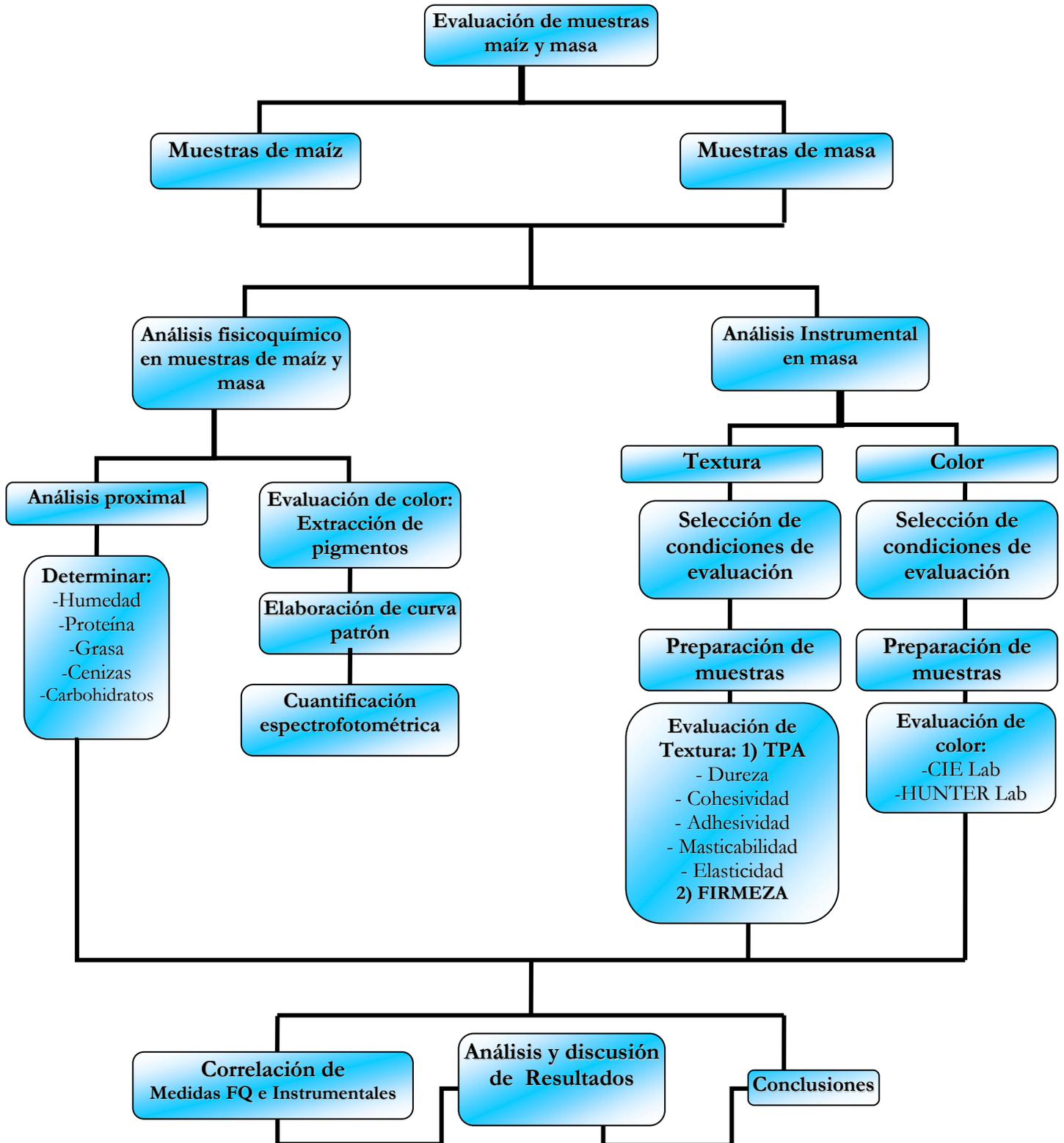


Figura 3. Diagrama de Trabajo (Evaluación de muestras de maíz y masa)

5.2 Evaluación en muestras de tortillas

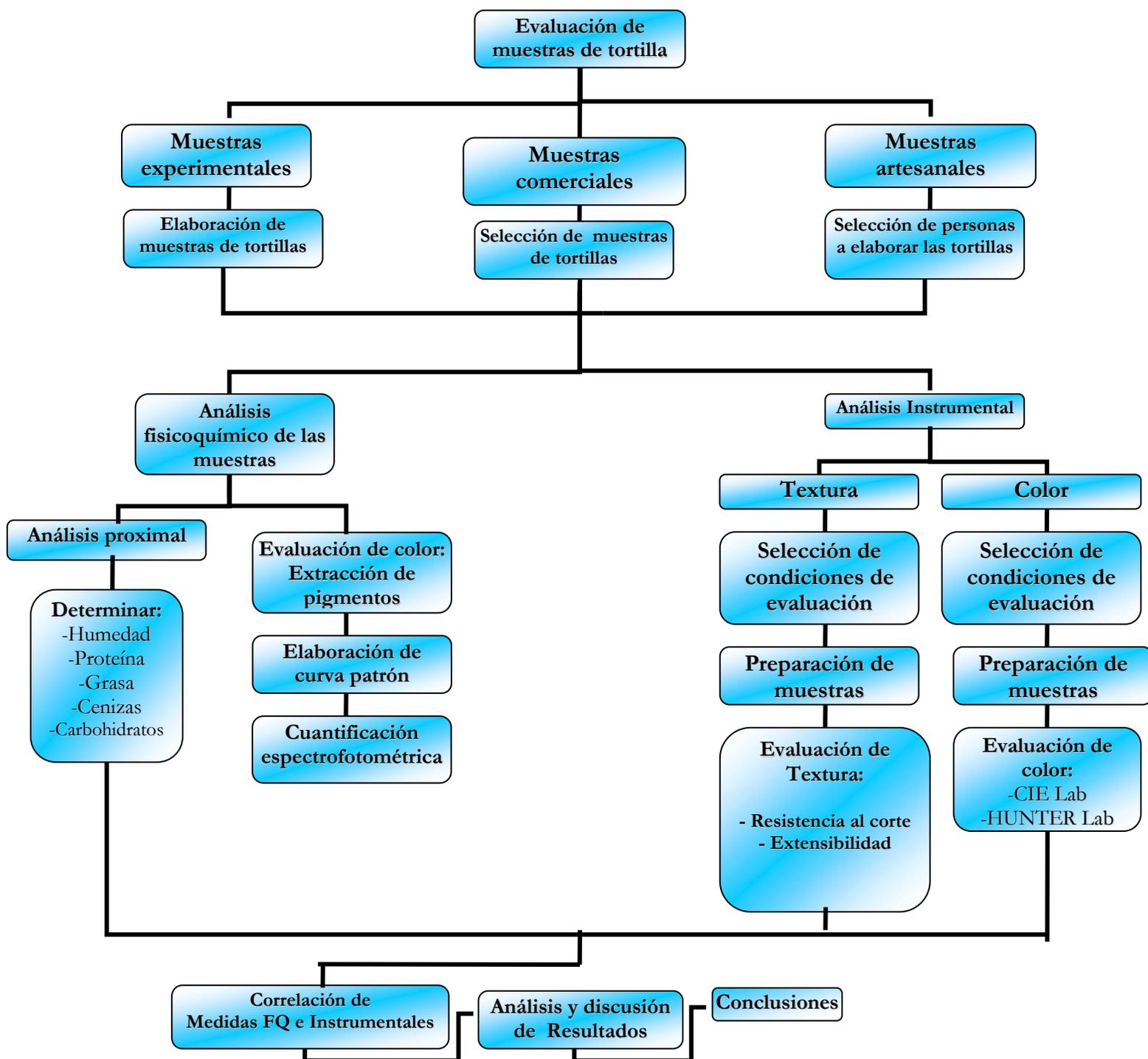


Figura 3a. Diagrama de Trabajo Evaluación de muestras de tortillas

5.3 MUESTRAS

5.3 Muestras experimentales

Para la elaboración de éstas se emplearon 3 variedades de maíz, azul, blanco y rojo. El maíz azul y rojo se adquirieron en el mercado ubicado en el centro de Xochimilco, y el maíz blanco se adquirió en un molino de la colonia Torres de Potrero. A partir de estas variedades de maíz se realizaron muestras de tortillas azules, blancas y rojas.

Con el objetivo principal de establecer las características de calidad comercial que debe reunir el maíz así como también para poder mediante estos parámetros poder determinar las condiciones ideales para la nixtamalización del maíz, se realizaron en primer lugar pruebas de calidad a cada variedad de maíz aplicando los métodos de prueba de acuerdo a la especificación 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).

Métodos de prueba:

1. Olor
2. Impurezas y granos quebrados
3. Peso hectolítrico
4. Determinación de daños

1. 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 ésta prueba se avalúan en el maíz olor a moho, humedad, fermentación, putrefacción, rancidez, o cualquier otro olor extraño.

2. Impurezas y granos quebrados

Fundamento: Consiste en la separación y cuantificación de los granos quebrados (granos que carecen de alguna de sus partes) y de las impurezas (cualquier cuerpo o material extraño distinto al grano de maíz, incluyendo olores u otras partes de la planta, que pasaran a través de una criba de orificios circulares de 4.76 mm de diámetro), así como todo material que aunque no atravesara la criba y sea diferente al grano.

Procedimiento

Impurezas: Debido a que no se cuenta con las cribas señaladas por la norma, se procedió a la separación de impurezas, y granos dañados de manera manual, una vez realizado esto, se pesaron cada una de las fracciones obteniendo el porcentaje de daños en la muestra.

3. Peso hectolítrico

Fundamento.

Consiste en determinar la masa del grano por unidad de volumen.

Procedimiento.

Se vertieron 1000 g de maíz en un recipiente de volumen conocido, aproximadamente desde una altura de 7 cm a 10 cm, dejando caer libremente el grano, se rasó con una regla sin apretar el grano con tres movimientos en zig-zag, posteriormente se pesó para determinar la masa específica del grano. Se reportó en Kg/hl.

4. Determinación de daños

Fundamento.

Consiste en determinar la clasificación del maíz por su color así como separar, determinar y cuantificar los daños, defectos y cualquier otro elemento que afecte su calidad.

Procedimiento

Se toman 100 g de grano limpio (libre de impurezas), se procedió en separar manualmente los granos dañados por insectos, calor, hongos u otros. Se calculó la masa de cada uno de los daños por separado.

Cabe mencionar, que para la evaluación del maíz azul y rojo se tomaron en cuenta las especificaciones de la norma para maíz blanco, dado que no se encontró reportada ninguna norma específica para estas variedades de maíz.

Al haber aplicado estas pruebas de calidad a las tres variedades de maíz se determinó que de acuerdo a las especificaciones de la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y correlacionando los valores obtenidos en la Tabla 2 con ésta, se obtuvo que las tres variedades de maíz (blanco, rojo y azul) entran en la clasificación de calidad de grado 1.

Tabla 2. Pruebas de calidad en maíz

Variedad de maíz	Materia extraña (%)	Granos quebrados (%)	Granos dañados por calor (%)	Granos dañados por insectos (%)	Granos dañados por hongos (%)	Peso hectolítrico (kg/hl)
Blanco	0.15	0	1.52	0.07	0	79.5
Azul	0.1	0.88	0.16	0.1	0	76.3
Rojo	0.05	0.09	1.2	0.09	0.012	75.5

Tomando en cuenta, que el peso hectolítrico guarda una relación directa con la dureza del grano (Salinas, 1997) se determinaron y se diseñaron las condiciones de nixtamalización y obtención de tortillas, variando la concentración de cal, tiempo y temperatura de cocción para cada variedad de maíz, tomando como referencia la **Tabla 4**.

5.4 Elaboración de muestras de tortillas experimentales

Se seleccionaron las condiciones de análisis para cada variedad de maíz, según la **Tabla 4**, los resultados se muestran en la **Tabla 3**, ya que fueron las que permitieron obtener las mejores características.

Determinadas las condiciones ideales de nixtamalización (**Tabla 3**), la elaboración de tortillas experimentales se llevó a cabo como se muestra en la **Figura 4**.

Tabla 3. Condiciones ideales para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado de tres variedades de maíz (blanco, azul y rojo)

Variedad de maíz	Concentración de cal (%)	Volumen de agua para la cocción (L) por Kg de maíz	Temperatura (°C)	Tiempo de cocción	Tiempo de reposo	Volumen de agua al nixtamal	No. de lavados al nixtamal	Molienda	Adición de agua a la masa (mL) por Kg de maíz nixtamalizado	Tiempo de reposo de la masa (min)
Maíz blanco	0.8	3	87-90	70 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	215	30
Maíz azul	0.8	3	87-90	60 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	225	30
Maíz rojo	0.8	3	87-90	50 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	235	30

Tabla 4. Condiciones para la elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado

	Concentración de cal (%)	Volumen de agua para la cocción (L) por Kg de maíz	Temperatura (°C)	Tiempo de cocción	Tiempo de reposo	Volumen de agua al nixtamal	No. De lavados al nixtamal	Molienda	Adición de agua a la masa (mL) por Kg de maíz nixtamalizado	Tiempo de reposo de la masa (min)	Observaciones cualitativas
Maíz blanco	0.44	1.5	87	45 min	3.5 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	No se agregó agua	30	1. No se presentó desprendimiento de pericarpio. 2. Masa muy gruesa, 3. Tortillas de textura muy seca, rompimiento con facilidad, presencia de pericarpio con un color parecido al color del maíz
	0.6	3	90	120 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	200	30	1. Poco desprendimiento de pericarpio, 2. Masa con textura pegajosa, 3. Tortillas con presencia de pericarpio y de textura dura con un color parecido al color del maíz
	0.8	3	87-90	70 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	215	30	1. Buen desprendimiento de pericarpio, 2. Masa no pegajosa, 3. Tortillas con buena textura, con un color parecido al color del maíz
	1.5	3	87	30 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	4	2 repasos	270	30	1. Total desprendimiento de pericarpio, 2. Masa de textura dura, 3. Tortillas duras y quebradizas con un color amarillento
Maíz azul	0.44	1.5	87-90	40 min	3.5 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	No se agregó agua	30	1. No se presentó desprendimiento de pericarpio. 2. Masa muy gruesa, 3. Tortillas de textura muy seca, rompimiento con facilidad, presencia de pericarpio con un color parecido al color del maíz
	0.6	3	90	120 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	215	30	1. Poco desprendimiento de pericarpio, 2. Masa con textura pegajosa, 3. Tortillas con presencia de pericarpio y de textura dura con un color parecido al color del maíz
	0.8	3	87-90	60 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	225	30	1. Buen desprendimiento de pericarpio, 2. Masa no pegajosa, 3. Tortillas con buena textura, con un color parecido al color del maíz
	1.5	3	87	30 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	4	2 repasos	300	30	1. Total desprendimiento de pericarpio, 2. Masa de textura dura, 3. Tortillas duras y quebradizas con un color azul intenso
Maíz rojo	0.44	1.5	87-90	45 min	3.5 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	No se agregó agua	30	1. No se presentó desprendimiento de pericarpio. 2. Masa muy gruesa, 3. Tortillas de textura muy seca, rompimiento con facilidad, presencia de pericarpio además de la disminución de color rojo
	0.6	3	90	120 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	220	30	1. Poco desprendimiento de pericarpio, 2. Masa con textura pegajosa, 3. Tortillas con presencia de pericarpio y de textura dura con una disminución de color
	0.8	3	87-90	50 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	2	2 repasos	235	30	1. Buen desprendimiento de pericarpio, 2. Masa no pegajosa, 3. Tortillas con buena textura, pero con una disminución de color rojo
	1.5	3	87	30 min	10 h	2 veces el volumen del maíz	4	2 repasos	325	30	1. Total desprendimiento de pericarpio, 2. Masa de textura dura, 3. Tortillas duras y quebradizas con un color café pardo

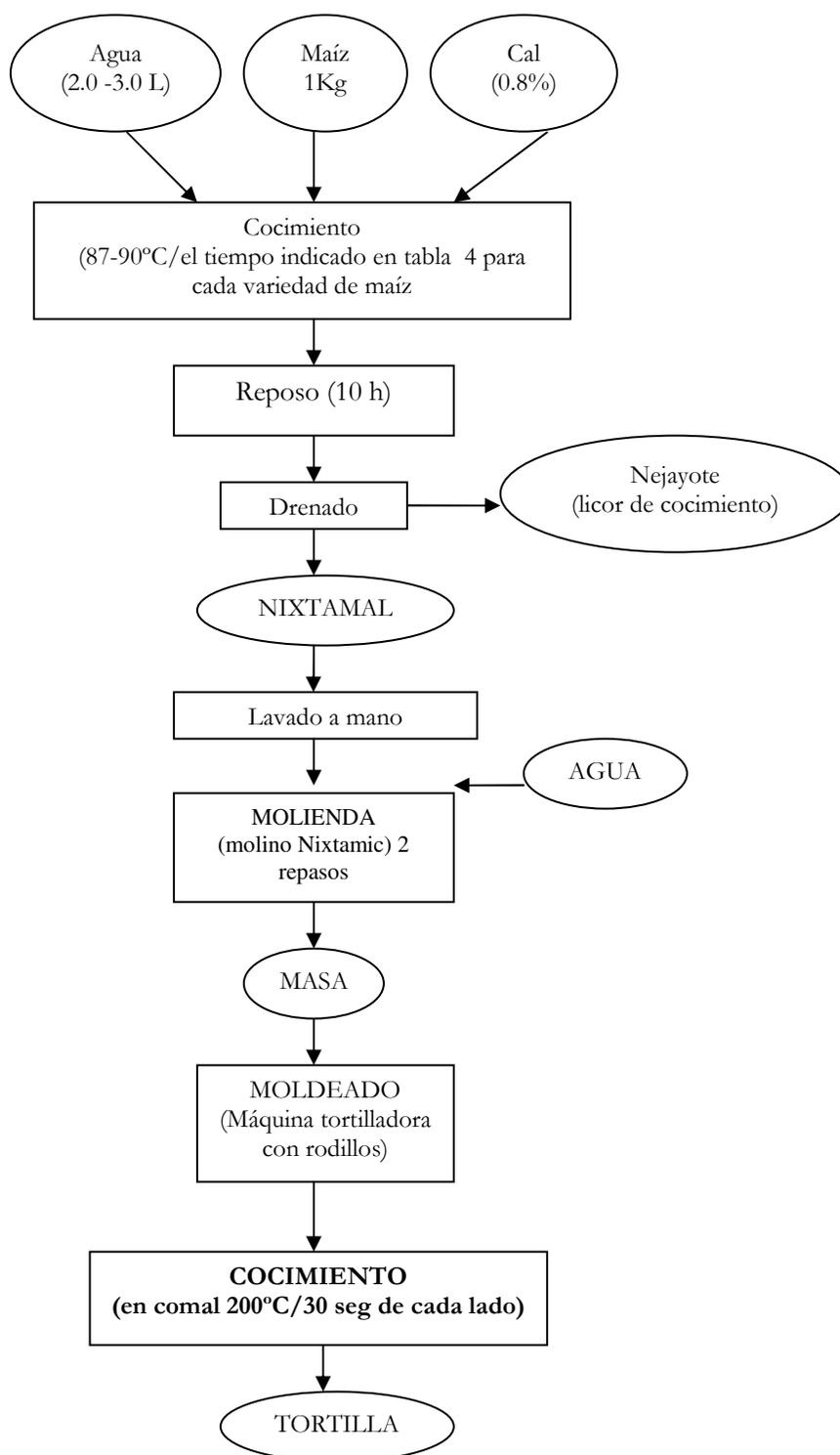


Figura 4. Diagrama de proceso para elaboración de tortillas de maíz nixtamalizado

Las tortillas que se obtuvieron bajo las condiciones presentadas en la **Figura 4** se muestran en la **Figura 5**.



Figura 5. Tortillas de maíz nixtamalizado azul, rojo y blanco

5.5 Muestras comerciales

Las muestras comerciales que se analizaron fueron obtenidas en tortillerías de la colonia de Santo Domingo, en las tortillerías de Wal Mart y Superama de Copilco y en supermercados, estas últimas de las marcas Milpa Real y Milpa Real Nixtamalizada.

5.6 Selección de muestras comerciales

La selección de estas muestras se realizó con el objetivo de tener tanto tortillas realizadas de manera industrial así como de pequeños establecimientos. Las muestras de tortillas seleccionadas se enlistan a continuación:

1. Tortillas Milpa Real (TMR)
2. Tortillas Milpa Real Nixtamalizadas (TMRN)
3. Tortillas blancas de Wal Mart (TWMB)
4. Tortillas de Santo domingo (TSD)
5. Tortillas de Superama (TS)
6. Tortillas azules de Wal Mart (TWMA)

5.7 Muestras artesanales

Dado que dentro del mercado comprendido en el Distrito Federal no hay producción de tortillas de maíz rojo nixtamalizado, se les proporcionó a dos personas que elaboran y venden tortillas azules en puestos de mercados, maíz rojo y azul para que elaboraran tortillas con estas variedades.



Figura 6. Tortillas artesanales de maíz azul



Figura 7. Tortillas artesanales de maíz rojo

6. ANALISIS FISICOQUIMICO

6.1 Humedad (método de secado)

Fundamento

Este método se basa en las mediciones de la pérdida de peso debida a la evaporación de agua a la temperatura de ebullición o cerca de esta. La proporción de agua libre perdida aumenta al elevar la temperatura, por lo que es importante comparar únicamente los resultados obtenidos cuando se usan las mismas condiciones de secado. Además si el alimento se descompone a altas temperaturas, es mejor usar una temperatura de secado más baja, por ejemplo 70° C y aplicar el vacío.

6.2 Determinación de Ceniza Método de la AOAC (5,7)

Fundamento

Las cenizas son el producto de la calcinación del material orgánico o inorgánico a altas temperaturas (500-600°C). Este residuo contiene óxidos y sales. Dentro de los aniones que pueden estar presentes están los siguientes: fosfatos, cloruros, sulfatos, etc. Los cationes que pueden estar presentes son: sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, etc.

El contenido de cenizas puede considerarse una medida de la calidad del proceso y puede ser usado para determinar identidad.

Se denomina así a la materia inorgánica que forma parte constituyente de los alimentos (sales minerales). Las cenizas permanecen como residuo luego de la calcinación de la materia orgánica del alimento. La calcinación debe efectuarse a una temperatura adecuada, que sea lo suficientemente alta como para que la materia orgánica se destruya totalmente, pero no tan excesiva para evitar que los compuestos inorgánicos sufran alteración (fusión, descomposición, volatilización o cambio de estructura).

La incineración pasa a destruir toda la materia orgánica, cambia su naturaleza, las sales metálicas de los ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos, o reaccionan durante la incineración para formar fosfatos, sulfatos o haluros. Algunos elementos como el azufre y los halógenos pueden no ser completamente retenidos en las cenizas, pudiéndose volatilizar.

6.3 Determinación de Proteína (método de Kjeldahl)

La muestra se disuelve en ácido sulfúrico concentrado y se calienta con la finalidad de que la materia carbonosa se libere en forma de CO_2 , los minerales se sulfaten y el nitrógeno se transforme en sulfato de amonio.

Como catalizador se utiliza CuSO_4 , el K_2SO_4 sirve como elevador de la temperatura de ebullición (no es catalizador), por cada $10\text{ }^\circ\text{C}$ de elevación de la temperatura, la velocidad de la reacción se duplica. La reacción finaliza cuando la solución se torna de un color verde-esmeralda translucido. En este proceso de la digestión se libera de la muestra la grasa, fibra, carbohidratos, la parte oxigenada, quedando solo la parte nitrogenada de la proteína. Al final se tiene H_2SO_4 sobrante, sales sulfatadas de los minerales y sulfato de amonio.

En el proceso de destilación se añaden 10 ml de agua para diluir el ácido remanente a la vez que el sulfato de potasio precipiten dejando libre en la parte superior el H_2SO_4 sobrante formándose dos fases, adicionándose después la sosa cáustica por los bordes del balón evitando la reacción violenta. La adición de la sosa neutraliza la acción del ácido sulfúrico sobrante, favorece la liberación del amoniaco en forma de NH_4OH que será recibido en el matraz Erlenmeyer que contiene la solución de ácido bórico.

Inicialmente por el calentamiento desaparecen las dos fases, se forma una solución de color celeste-oscuro, al ebullición se torna color marrón por la presencia de un complejo cúprico, que desaparece a medida que se libera el amoniaco. El amoniaco es captado por la presencia de H_3BO_3 que forma un complejo estable, esto se refleja en el cambio de color de la solución de ácido bórico de rojo a amarillo, esto es visible gracias al indicador rojo de metilo.

Posteriormente se determina por titulación con ácido clorhídrico 1 N hasta el cambio de color de amarillo a rojo grosella, se calcula el volumen de ácido gastado.

6.4 Determinación de grasa

Fundamento

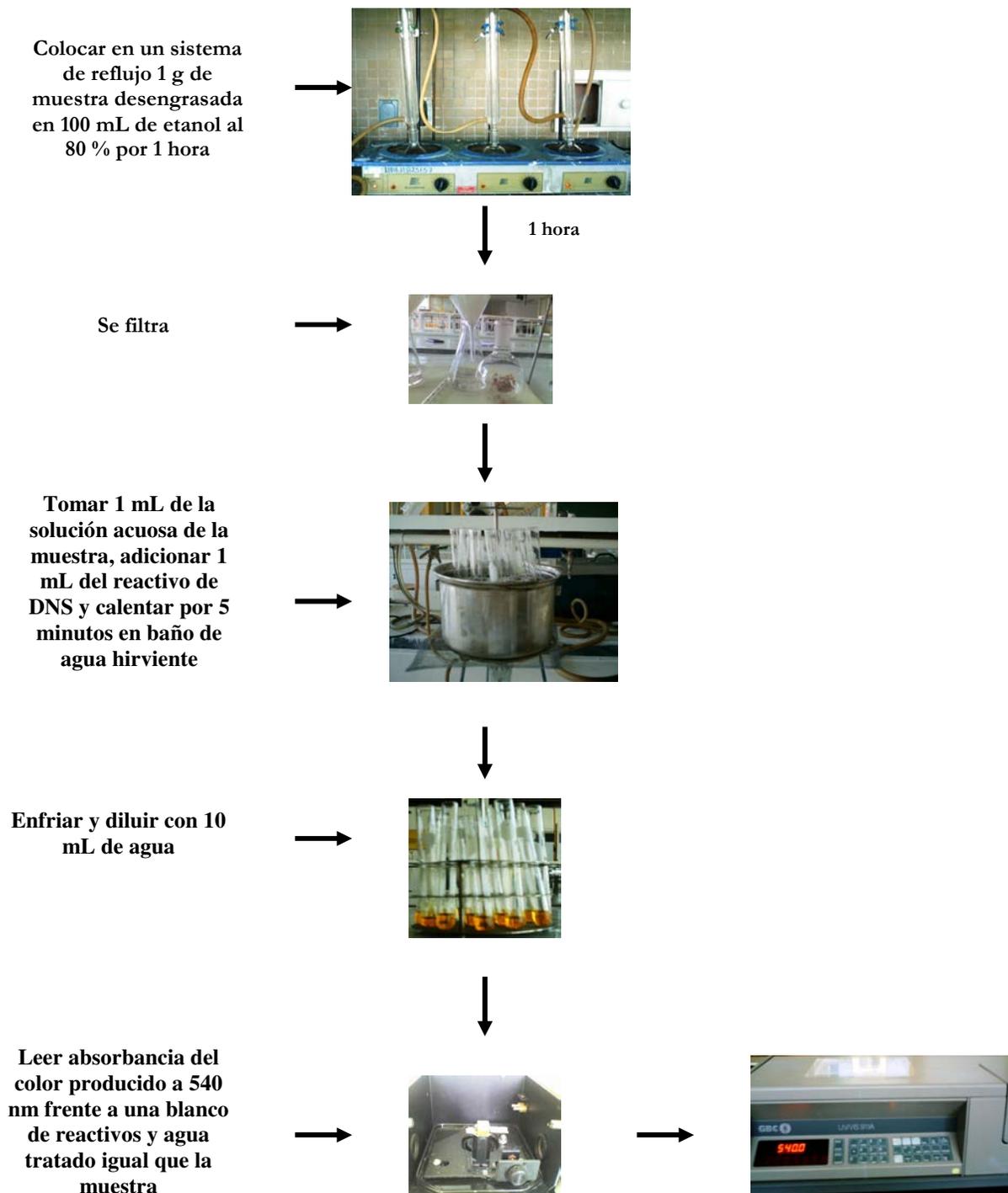
Se considera grasa al extracto etéreo que se obtiene cuando la muestra es sometida a extracción con un solvente orgánico. El término extracto etéreo se refiere a los ésteres de los ácidos grasos, a los fosfolípidos, esteroides, ceras, ácidos grasos libres y pigmentos.

El contenido de lípidos libres se puede determinar en los alimentos por la extracción del material seco y reducido a polvo con una fracción de éter de petróleo o dietílico en un aparato de extracción continua.

El mecanismo es el siguiente: al calentarse el solvente que se encuentra en el recipiente colector, se evapora ascendiendo los vapores por el tubo lateral, se condensa en el refrigerante y caen sobre la muestra que se encuentra en la cámara de extracción en un dedal. El disolvente se va acumulando hasta que el nivel sobrepase el tubo sifón, el cual se acciona y transfiere el solvente cargando de materia grasa al colector, nuevamente el solvente vuelve a calentarse y evaporarse, así el proceso se repite durante el tiempo que dure la extracción en forma automática e intermitente y así la muestra es sometida a la acción del disolvente.

6.5 Determinación de carbohidratos reductores

Para esta determinación se utilizó el método de DNS, cuyo objetivo es la reducción de los grupos NO_2 del reactivo DNS (ácido dinitrosalisílico) a grupos $-\text{NH}_2$ por el grupo aldehído de los carbohidratos presentes en la muestra. Este método consiste en:



Curva patrón de DNS: La curva patrón se construyó a partir de concentraciones de 0.1 a 1 mg/mL de glucosa (carbohidrato reductor).

Tabla 5. Curva patrón de Glucosa

Mg/mL	µg/mL	Abs 540 nm
1	1000	0.853
0.75	750	0.6185
0.5	500	0.455
0.25	250	0.1635
0.1	100	0.0185



Figura 8. Curva patrón de Glucosa

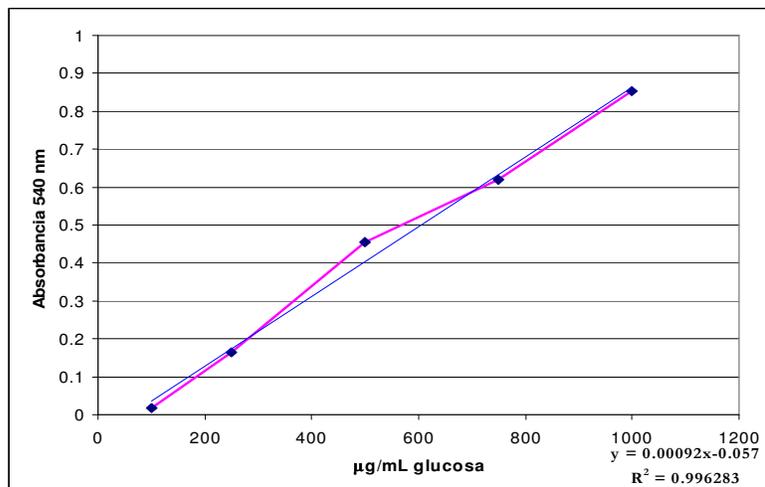


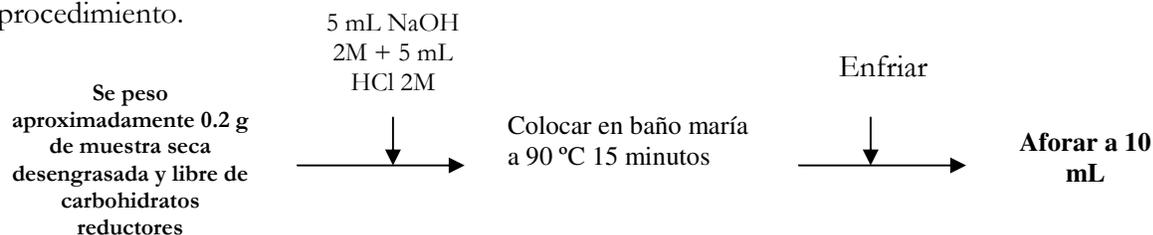
Gráfico 1. Curva patrón de Glucosa

6.6 Determinación de Almidón (Método de Yodo del manual de análisis de alimentos)

La determinación de almidón se llevó a cabo mediante el método Yodo, en el cual ocurre la reacción de la amilosa obtenida de la hidrólisis del almidón durante la nixtamalización del maíz, con el yodo para formar un compuesto de color azul que se midió espectrofotométricamente a 600 nm, esto se puede representar de la siguiente forma:



Con el fin de cuantificar el almidón en las muestras, se tuvo que gelatinizar éste, mediante el siguiente procedimiento.



Obtenido el almidón gelatinizado de cada muestra se llevó a cabo la reacción con yodo de la siguiente manera:

Se colocó en cada tubo de ensayo 2 mL de la solución de almidón de cada una de las muestras y se adicionó 3 mL de una solución de I₂/KI (1.269 g I₂ con 1.8 g de KI en 100 mL), posteriormente se midió la intensidad del color azul producido a 600 nm, frente a un blanco de reactivos.

Para la cuantificación de almidón en las muestras, se realizó una curva patrón tratada de la misma manera que las muestras.

La curva patrón que se construyó se muestra a continuación:

Tabla 6. Curva patrón de Almidón

µg/mL	Abs 600 nm
200	1.597
170	1.359
140	1.239
110	1.095
80	0.8145
50	0.5775
20	0.3835



Figura 9. Curva patrón de Almidón

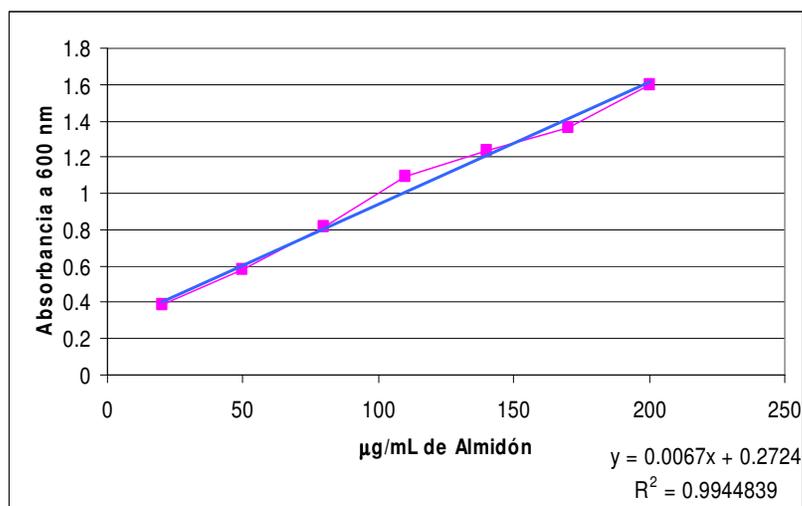


Gráfico 2. Curva patrón de Almidón

Dado que este no es un método oficial y sabiendo que las muestras en estudio tienen una cantidad significativa de almidón, se verificó el contenido de almidón mediante un método oficial (Total Starch, Assay procedure (amyloglucosidase/ α-amilase method) AOAC Method 996.11, AACC Method 76.13) únicamente en las muestras de maíz (blanco, rojo y azul).

6.7 Determinación de Almidón (Método AOAC 996.11, AACC 76.13)

Este método especifica la gelatinización del almidón en condiciones acuosas y en autoclave, después de una conversión del almidón en glucosa con amiloglucosidasa y glucosa. Este método incluye el tratamiento con α -amilasa termoestable durante o inmediatamente después de la gelatinización del almidón. Este método es reproducible y fiable y ofrece una medición cuantitativa del almidón.

Fundamento

El procedimiento de análisis del almidón total de Megazyme (AA/AMG) permite medir el almidón total en la mayoría de los productos cereales (naturales o procesados). En el formato del ensayo descrito, la hidrólisis del almidón sigue dos fases:

1. Fase 1: El almidón se hidroliza parcialmente y se solubiliza totalmente
2. Fase 2: Las dextrinas del almidón se hidrolizan cuantitativamente en glucosa por amiloglucosidasa.

Procedimiento de ensayo estándar (AA/AMG)

1. Se trituraron las muestras de tal forma que pasaran por una criba de 0,5 mm.
2. Se añadió cada muestra de harina (~ 100 mg; pesada con precisión) en un tubo de vidrio (16 x 120 mm).
3. La muestra se humedeció con 0,2 mL de etanol acuoso 80 % (v/v) para ayudar a la dispersión se removió el tubo en un agitador vortex.
4. Inmediatamente se adicionó 3 mL de α -amilasa termoestable (300 Units) en tampón MOPS (50 mM, pH 7,0) y se agitó vigorosamente el tubo en el agitador vortex. Cada tubo se incubó en un baño de agua hirviendo durante 6 min. (Se agitó cada tubo vigorosamente pasados 2 min y 4 min.)
5. Cada tubo se colocó en un baño a 50°C; se añadió tampón de acetato sódico (4 mL, 200 mM, pH 4,5), y después amiloglucosidasa (0,1 mL, 20 U). Se agitó cada tubo en un agitador vortex e incubaron a 50°C durante 30 min.
6. Se trasladó todo el contenido de cada tubo de prueba a un matraz de 100 mL, ajustando el volumen con agua destilada, se mezcló bien, se centrifugó una alícuota de 1 mL de esta solución a 3.000 rpm durante 10 min.
7. Se transfirió en dos partes (0.1 mL) de la solución diluida al fondo de tubos de ensayo (16 x 100 mm).
8. Se añadieron 3 mL de reactivo GOPOD en cada tubo (incluidos los controles de glucosa y reactivos no tratados), e incubaron los tubos a 50°C durante 20 min.

9. Los controles de glucosa consistieron en 0,1 mL de solución estándar de glucosa (1 mg/mL) y 3 mL de reactivo GOPOD. Las soluciones de reactivos no tratados consistieron en 0,1 mL de agua y 3 mL de reactivo GOPOD.

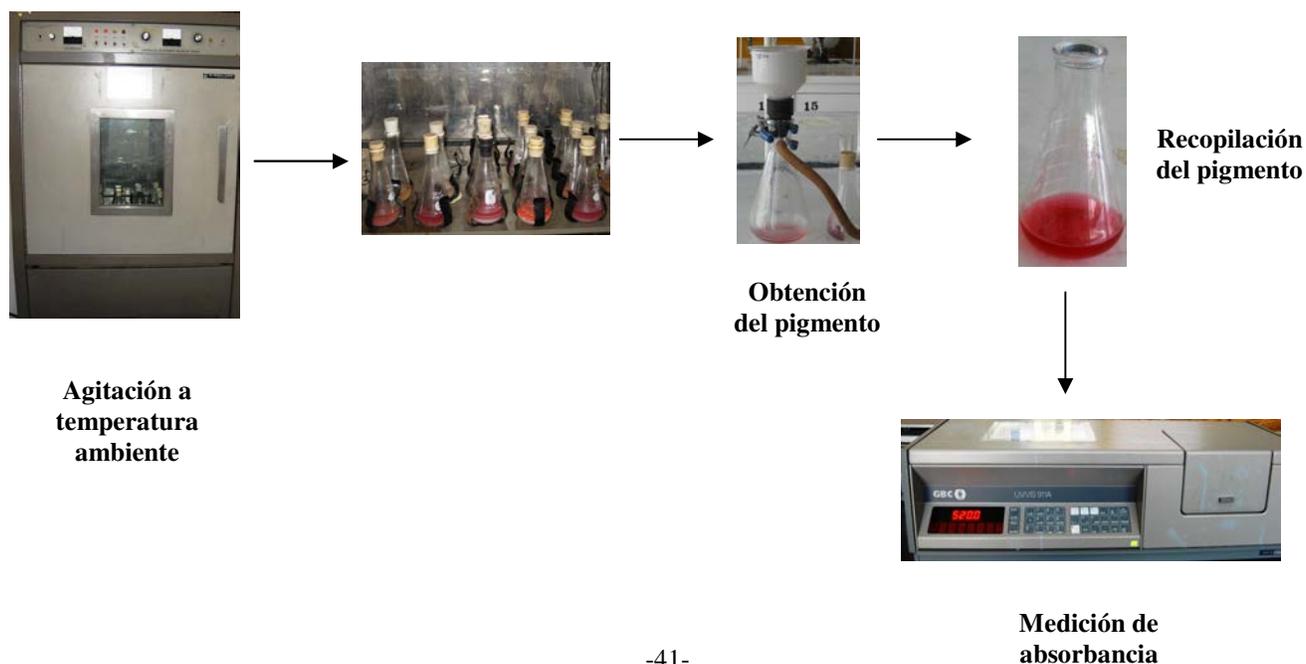
10. Se midió la absorbancia a 510 nm de cada muestra, y el control de glucosa se le dio lectura contra el reactivo sin tratar.

7. EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS (ANTOCIANINAS) (Método “Antocianina Total” (Salinas, et al, 2003)

Dado que las tortillas azules y rojas se prepararon a partir de maíces azules y rojos respectivamente, y sabiendo que el color de estos pigmentos los producen las antocianinas (compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides), se procedió a realizar la extracción de estos pigmentos en muestras de maíz, masa y tortillas rojas y azules.

8.1 Procedimiento:

Se pesaron aproximadamente 5 g de la muestra a las 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 h la primera y 8 h las dos restantes. Al inicio de cada extracción la mezcla se ajustó a pH=3 con HCl concentrado. Al término de las tres extracciones se midió el volumen final, se tomó una alícuota de 3 mL y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro a 520 nm. Para los cálculos se usó una curva de calibración preparada a partir de pelargonidina clorada. Lo anterior se ilustra a continuación:



8.2 Elaboración de Curva patrón

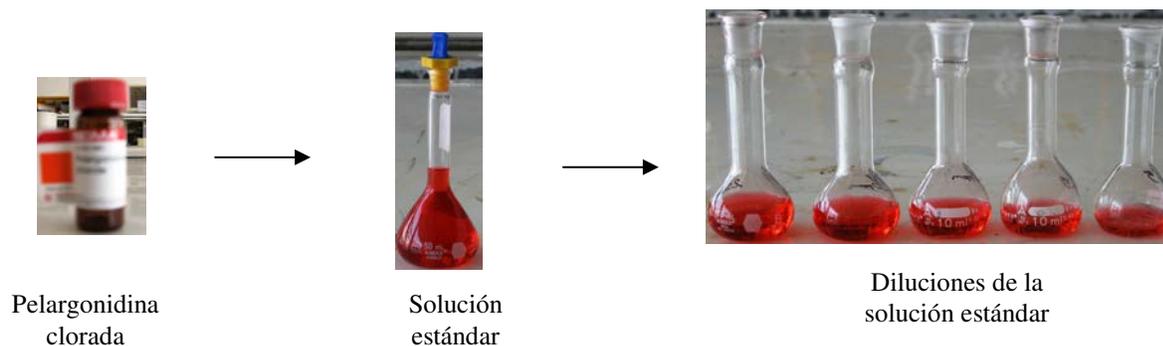


Tabla 7. Curva Patrón de pelargonidina clorada

ppm (mg/L)	Absorbancia promedio
50	2.841
25	2.005
20	1.6405
15	1.248
10	0.804
5	0.417

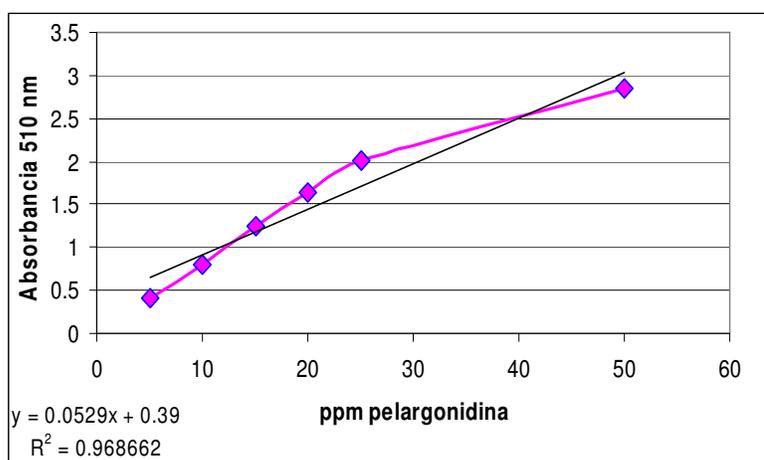


Gráfico 3. Curva patrón de pelargonidina clorada

8. ANALISIS INSTRUMENTAL DE COLOR

8.1 Determinación de color

Con el objetivo de realizar una comparación cuantitativa se realizó la medición de color en el maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas (experimentales, comerciales y artesanales) de las tres variedades de maíz nixtamalizado en el Espectrofotómetro Minolta CM-3600d (**Figura 10**).



Figura 10. Espectrofotómetro minolta CM-3600d

8.2 Condiciones de evaluación

Las condiciones que se determinaron para la evaluación de todas las muestras se exponen en la **Tabla 8**:

Tabla 8. Condiciones para la medición de color

Parámetro	Condición y/o Valor
No. de disparos o flashes	1
Estándar	Nulo
Energía UV	Incluida
Componente especular (SC)	Excluido
Lente o área de visión	Grande (Large)
Iluminante	D65 (Luz de día, natural 6,504 K)
Detector	12°
Sistema de reporte de color	CIE L*a*b*, Hunter Lab

La evaluación de color se llevó a cabo midiendo reflectancia, utilizando el sistema CIE L*a*b* C* h° y Hunter L a b, con el iluminante D₆₅ (corresponde a la mezcla de luz solar y cielo nublado), y el componente especular excluido (SCE) que mide tanto el color como la apariencia, y además se utiliza cuando hay una diferencia de brillos.

Se estableció que la medida del color en tortillas sería tanto de su cara interna (capa delgada de la tortilla), como de la cara externa (capa gruesa de la tortilla), para determinar si se presenta diferencia significativa entre las caras de la tortilla.

Se realizó el análisis gráfico de color CIE L*a*b* para evaluar el comportamiento de los ejes de color reflejados por las muestras en función de las diferencias en el proceso de nixtamalización.

Los ejes CIE L*a*b* pueden ser observados en la **Figura 11** en la que se puede observar que +a* esta en dirección hacia los tonos rojo, -a* esta en dirección hacia tonos verde, +b esta en dirección hacia tonos amarillos y -b* esta en dirección hacia tonos azules.

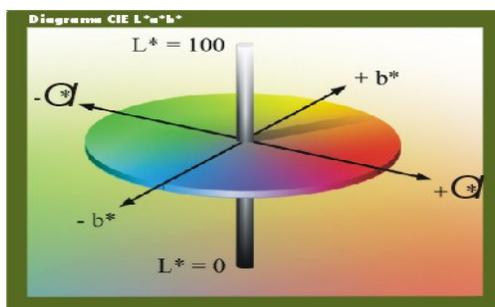


Figura 11. Eje tridimensional de colores CIE L*a*b*.

Las comparaciones entre los tratamientos de las muestras y los índices fueron realizadas usando análisis de varianza (ANOVA), mediante un paquete estadístico (STATGRAPHICS PLUS, versión 5.1 para Windows).

8.3 Calibración del Espectrofotómetro Minolta CM-3600d

Antes de realizar las mediciones de las muestras, el equipo se calibró:



8.4 Preparación de las muestras de maíz crudo y nixtamalizado para la medición de color.

Para la medición de estas muestras se tomaron 6 replicas de maíz



8.5 Preparación de las muestras de masa para la medición de color

Las mediciones de las muestras de masa se realizaron de la misma manera en que se realizó la medición de muestras de maíz, **Figura 12**.



Figura 12. Preparación de muestras de masa para su evaluación de color

8.6 Preparación de las muestras de tortilla para la medición de color

1. Se prepararon seis replicas de tortillas de cada variedad de maíz en base a las condiciones establecidas en la **Tabla 3** de la página 35 (**Figura 13**)
2. Cada replica de tortilla se cortó en 4 partes, **Figura 14**
3. Se realizó la medición de color en el Espectrofotómetro minolta CM-3600d bajo las condiciones establecidas en la **Tabla 8** (página 48) de cada una de las cuatro partes de cada replica de tortilla, midiéndose la cara externa e interna de éstas. **Figura 15**



Figura 13. Tortillas experimentales



Figura 14. Corte de la tortilla



Figura 15. Posición de medición

Para la medición de las tortillas experimentales y artesanales se siguió la misma metodología y se utilizó el mismo número de réplicas para su medición.

9. ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE TEXTURA

9.1 Determinación de Textura

La medición de textura se llevó a cabo en el Texturómetro TA.XT2 plus (Stable Micro System). La evaluación de textura comprendió la medición de masa experimental, tortillas experimentales, artesanales y comerciales.

En la masa se realizaron dos estudios de textura:

1. **TPA** (Análisis de perfil de Textura), en el cual se midió la dureza, elasticidad, masticabilidad, cohesividad y adhesividad.
2. La **firmeza** de la masa

En las muestras de tortillas experimentales, artesanales y comerciales se midió la Resistencia y la Extensibilidad.

9.2 Selección de las condiciones de evaluación

Las condiciones de evaluación de masa y tortillas se eligieron con base en las condiciones de evaluación del texturómetro. Las condiciones seleccionadas se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Condiciones para la evaluación de masa y tortillas

Muestra Analizada	Tipo de ensayo	Sonda	Porcentaje de compresión/ Distancia	Velocidad de preensayo (mm/s)	Velocidad de ensayo (mm/s)	Velocidad de post ensayo (mm/s)
Masa	TPA	P/50	10.5mm (Distancia)	5	5	5
Masa	Firmeza	HDP/EF	60 (Compresión)	10	1.5	10
Tortillas	Resistencia/ extensibilidad	P/1S	40mm (distancia)	1	1	10

9.3 Preparación de muestras de tortillas para la evaluación de textura

La resistencia de corte y la extensibilidad de las tortillas se midió en un Texturometro TA.XT2 plus de la marca Stable Micro System con una sonda esférica de 1 pulgada de acrílico (P/1S, BALL

STAINLESS) bajo las condiciones establecidas en la Tabla 9. La forma como se realizó la medición de las muestras se observa en la **Figura 16 y 17**



Figura 16. La muestra de Tortilla se coloca en la base del Texturometro previamente calentada 30 seg de cada lado, a una temperatura de aproximadamente 70°C

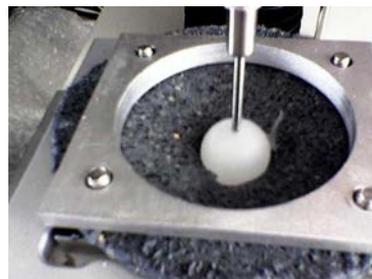


Figura 17. Medición de la muestra de tortilla utilizando la sonda P/1S.

9.4 Preparación de muestras de masa para la evaluación de textura

La medición de TPA en el Texturometro TA.XT2 plus se realizó con una sonda cilíndrica de aluminio (P/50) de 50 mm de diámetro, y bajo las condiciones establecidas en **Tabla 9**. Para esta determinación se realizaron 6 replicas por cada muestra de masa donde se pesó 60 g de masa, dándole forma de cilindro para su medición.



Figura 18. Sonda P/50, utilizada para la medición de TPA

Para la evaluación de firmeza en las muestras de masa en el Texturometro TA.XT2 plus se utilizó la sonda HDP/FE10 (FORWARD EXTRUSION CELL) de 10 mm de diámetro, bajo las condiciones establecidas en **Tabla 9**.

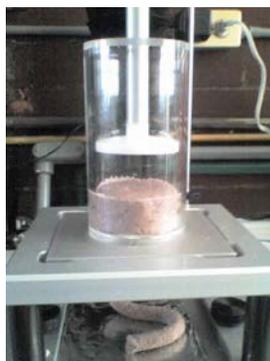


Figura 19. Sonda HDP/FE10. Evaluación de la firmeza en masa

10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En todo trabajo de investigación el análisis estadístico es una parte fundamental, ya que permite simplificar los resultados manteniendo la información de interés, así como conocer el peso de las variables y la influencia de éstas, lo que facilita la comprensión e interpretación de los resultados obtenidos, y el establecimiento de conclusiones. Todo ello debido a que los métodos estadísticos, aplicados adecuadamente, hacen posible detectar valores erróneos y asignan un nivel de confianza a los resultados. (Severiano, 2002).

En el presente trabajo se realizó un muestreo por conveniencia, evaluando tres variedades de maíz de 3 productores de las delegaciones Xochimilco, Milpa Alta y Álvaro Obregón, así como muestras comerciales de maíz azul y blanco seleccionados en estudios anteriores (Escamilla, 2006; Barrios, 2007).

Es importante mencionar que para el tratamiento de resultados de la parte fisicoquímica se realizaron dos replicas por cada muestra (maíz, masa y tortillas). En la cuantificación de pigmentos (antocianinas), se realizaron dos réplicas por cada muestra evaluada; en estos análisis el número de réplicas se vio limitado a la disponibilidad de reactivos.

En el análisis instrumental de color en tortillas se realizaron 6 réplicas por muestra de tortilla evaluando 8 puntos en cada una de ellas (**ver página 50**); en el caso de la masa y el maíz, se realizaron 6 replicas por muestra. Para el análisis instrumental de textura en masa y tortillas, se realizaron 6 replicas por muestra (**ver página 46 y 47**).

10.1 Detección de valores anómalos

Se realizó el análisis de gráfico de cajas (Box-and-Whisker Plot) para detectar los datos “outliers” alejados del valor medio que pudieran interferir en los análisis posteriores.

El diagrama de caja es un medio muy útil para representar datos. En dicho diagrama, los valores mínimo y máximo, los cartiles inferior y superior (percentiles 25 y 75 respectivamente) y la mediana (percentil 50) se representan en una caja rectangular alineada ya sea horizontal o verticalmente. La caja es atravesada de un lado al otro por la mediana. Las líneas verticales llamadas bigotes, se prolongan fuera del rango del valor del dato inferior y superior y el sistema diferencia entre “outside points” (posibles puntos anómalos) que son los puntos alejados de 1.5 veces la distancia intercuartil y los “far outside points” (puntos realmente anómalos) que están situados a más de 3 veces la distancia intercuartil.

Una vez verificado que no existían valores anómalos y que los datos seguían una distribución normal, se llevó a cabo los análisis estadísticos que se describen a continuación.

10.2 Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó un análisis de varianza a los resultados fisicoquímicos e instrumentales de color y textura, mediante la aplicación de la F de Snédecor para un factor, y para t niveles, éste se llevó a cabo empleando el Software “STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1 para Windows”, utilizando un nivel de confianza de 99% y $\alpha=0.01$, a una vía, para identificar si existía diferencia entre las muestras en función de las variables en estudio.

En los casos en que el ANOVA mostró diferencia significativa; se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference) para determinar entre que muestras se presentaban diferencias estadísticamente significativas.

10.3 Correlación entre variables

A pesar de que las muestras evaluadas no llegan a una n de 30, se realizó el análisis de correlación de Pearson, para conocer las posibles relaciones existentes entre las variables en estudio; sin embargo es importante mencionar que las correlaciones observadas en los resultados del presente trabajo no son concluyentes y se deben realizar un mayor número de réplicas en cada ensayo para poder conocer dichas correlaciones.

El estudio de la correlación entre los métodos fisicoquímicos e instrumentales de color y textura en tortillas de maíz podría permitir conocer las **posibles** relaciones de los parámetros instrumentales (color y textura) y las características fisicoquímicas de la masa y las tortillas. Esta información serviría como herramienta en desarrollo y/o mejora de estos productos, así como también en el control de calidad.

Se realizó el estudio de correlación entre:

- Las propiedades fisicoquímicas de la masa, con los atributos de Textura (Firmeza y Análisis de Perfil de Textura).
- La composición (contenido de humedad, grasa, proteína, cenizas, carbohidratos reductores y almidón) de Tortillas (azules, blancas y rojas) con los parámetros instrumentales de color y textura (resistencia al corte y extensibilidad).
- El contenido de pigmentos (antocianinas) en maíz, masa y tortillas de color azul y rojo, con los atributos de color (CIE Lab y HUNTER Lab).

11. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONDICIONES DE NIXTAMALIZACIÓN

11.1 CONDICIONES DE NIXTAMALIZACIÓN

De acuerdo a la norma 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) se realizaron las pruebas de calidad a las tres variedades de maíz, cabe mencionar, que para el maíz azul y rojo se tomaron en cuenta las especificaciones de la norma para maíz blanco, dado que no se encontró reportada ninguna norma específica para maíz azul y rojo.

Dentro de las variables de calidad, se evaluó el **olor** obteniendo para las tres variedades que fue un olor característico al grano de maíz sano, seco y limpio.

El peso hectolítrico varió de acuerdo a la variedad de maíz, obteniéndose para el maíz rojo 75.5 kg/hl, para el maíz azul 76.3 kg/hl y para el maíz blanco 84 Kg/hl (**Tabla 2, página 34 del apartado de materiales y métodos**); con base en la norma, para el caso de maíz blanco utilizado en la elaboración de tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizados de calidad comercial, se consideró que el grano deberá tener una densidad mínima de 74 kg/hl, lo cual indica que éste maíz esta dentro de esta especificación. También, el maíz azul y rojo entraron dentro de la especificación para maíz blanco.

De acuerdo a las especificaciones de la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 y correlacionando los resultados obtenidos en la **Tabla 2** con esta norma (**Tabla 1, en Anexo III**), se obtiene que las tres variedades de maíz (blanco, rojo y azul) entran dentro de la clasificación de calidad de grado 1.

Dado que el maíz obtenido en los diferentes puntos del Distrito Federal (Delegación Xochimilco y Delegación Álvaro Obregón) cumplieron con las especificaciones de la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, se determinaron en segundo lugar las condiciones de nixtamalización para la obtención de las muestras de tortillas azules, rojas y blancas, tomando en cuenta que el peso hectolítrico guarda una relación directa con la dureza del grano (Salinas, 1997), de tal manera, que el maíz blanco es el que presentó mayor dureza, por lo que para el proceso de elaboración de tortillas se ha encontrado que a mayor dureza del grano, mayor es el tiempo de nixtamalización y por lo contrario a menor dureza del grano menor será el tiempo de nixtamalización (Salinas, 1997).

Tomando en cuenta lo anterior, de las 4 concentraciones de cal (CaOH_2), tiempo y temperatura de cocción mostradas en la **Tabla 4 (página 36)**, se observó que las condiciones más apropiadas para llevar a cabo la nixtamalización fue una concentración de cal de 0.8 % para las tres variedades de maíz, temperatura entre 87-90°C, tiempos de cocción de 70, 60 y 50 minutos para el

maíz blanco, azul y rojo respectivamente y un tiempo de reposo de 10 horas, con estas condiciones se observó un buen desprendimiento del pericarpio, masas no pegajosas y tortillas con buena textura y color. A una concentración de 0.44% y una temperatura de 87-90 °C la hidrólisis alcalina no fue suficientemente fuerte para que el pericarpio del maíz se desprendiera de él mismo, dando como resultados tortillas con una textura dura y además quebradizas, debido a que el pericarpio no se ablando lo necesario, sin embargo a una concentración del 1.5% de cal dio como resultado tortillas duras, quebradizas y secas, cabe mencionar que a esta concentración la hidrólisis alcalina fue sumamente fuerte ya que se desprendió una cantidad significativa de pericarpio, a lo que se atribuyen tortillas quebradizas y además con un sabor muy penetrante a cal.

Otra razón para seleccionar la concentración de 0.8% de álcali, fue que es una concentración aproximada a la que emplean los molineros, que va de un rango de 0.7% a 1.0 % (Salinas-Moreno, 2003), además esta concentración de cal permitió obtener para las tres variedades de maíz las características cualitativas de color que se esperaban en las tortillas. Para el caso del maíz blanco las tortillas obtenidas presentaron un color parecido al color del maíz (**Figura 20**).



Figura 20. Tortilla de maíz blanco nixtamalizado a una concentración de 0.8% de cal

Para las tortillas obtenidas del maíz azul se observó que a una concentración del 1.5% la tonalidad azul era más intensa comparada en las tortillas obtenidas a una concentración del 0.8% (**Figura 21**), mientras que las tortillas obtenidas del maíz rojo nixtamalizado a una concentración del 1.5% presentaron un color café pardo, mientras que a la concentración de 0.8% resultaron unas tortillas de color rojo pálido (**Figura 22**).



Figura 21. Tortillas de maíz azul nixtamalizado a una Concentración de 0.8% de cal



Figura 22. Tortillas de maíz rojo nixtamalizado a una concentración de 0.8% de cal

12. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

12. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO

Se realizó un análisis fisicoquímico en las tortillas elaboradas experimentalmente, para su caracterización en el contenido de humedad, grasa, minerales, proteína y carbohidratos desde la materia prima (maíz) hasta llegar al producto final (tortilla). Además se realizó el análisis fisicoquímico de 6 muestras de tortillas comerciales y 4 muestras artesanales. El tratamiento de los resultados para determinar diferencia estadísticamente significativa, se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con un nivel de confianza del 99% y $\alpha=0.01$. En los casos en que el ANOVA mostró diferencia significativa, se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference) para determinar entre que muestras se presentaban diferencias estadísticamente significativas.

En el **Anexo I** se muestran las Tablas con los datos y resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en este estudio.

12.1 Maíz

12.1.1 Humedad

Los resultados del análisis fisicoquímico de las tres variedades de maíz se muestran en la **Tabla 10**, en ella se puede observar que el contenido de humedad de las tres variedades de maíz varió en un rango de 10.58% a 9.57%, siendo el maíz blanco el que presentó el mayor contenido de humedad. Los valores obtenidos cumplieron con la especificación de calidad de la NORMA DEL CODEX PARA EL MAIZ CODEX STAN 153-1985 (Rev. 1 - 1995), el cual indica que el maíz debe de contener como máximo 15.5 % de humedad. Por otra parte cabe mencionar que estos resultados fueron tratados con un análisis de varianza utilizando LSD=99% (**Ejemplo de análisis estadístico, ver anexo II**), resultando que entre las tres variedades de maíz no existió diferencia estadísticamente significativa en el contenido de Humedad, esto se puede apreciar claramente en el **Gráfico 4**.

Tabla 10. Análisis fisicoquímico de maíz crudo (azul, rojo y blanco)

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores	% Almidón det. enzimática
Maíz azul	9.57±1.15	1.00±0.12	4.00±0.33	9.86±0.07	55.01±0.004	6.74±0.001	66.18±5.27
Maíz rojo	10.12±0.32	0.89±0.01	3.31±0.15	8.48±1.26	60.85±0.004	6.50±0.003	66.61±2.61
Maíz blanco	10.58±0.36	0.97±0.02	3.97±0.3	11.34±1.68	53.88±0.01	8.42±0.001	63.89±6.46

*Los resultados mostrados en esta tabla corresponden a valores obtenidos a partir de dos replicas para cada tipo de maíz con su desviación estándar. La Tablas de los datos se muestran en el **Anexo I**

**Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

En el estudio realizado “Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivados en México” (Méndez, 2005), se reporta que el contenido de humedad varía de 8.5 a 11.4%, lo cual está influenciado por el tipo de grano (Méndez, 2005). Sin embargo, también se encontró reportado que el contenido de humedad para el maíz blanco es de 15.9% (Brezan, Paz y Paz Scrimshaw, 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984.). Sin embargo, en Tablas de Composición de Alimentos para Uso en América Latina. INCAP, (1961) se reportó que el maíz blanco tiene 10.6% de humedad, por lo que entre este valor, y el obtenido experimentalmente para maíz blanco (10.58%) no se observó diferencia significativa.

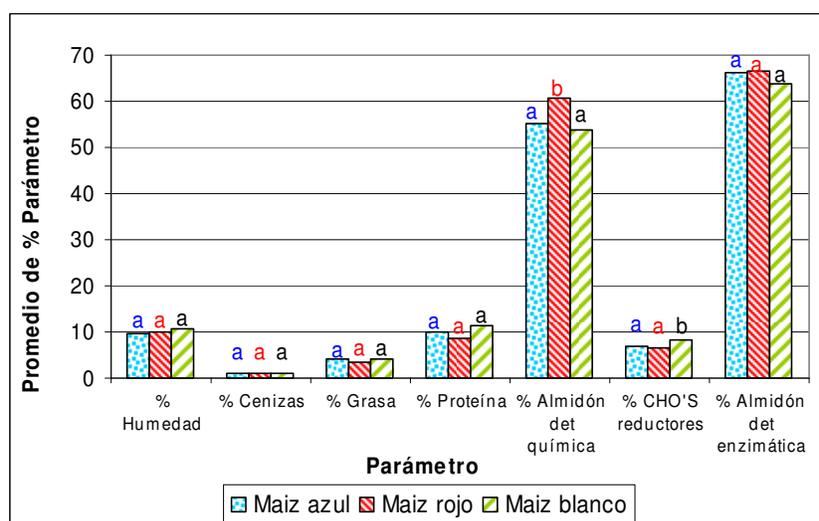


Gráfico 4. Análisis Fisicoquímico en maíz azul, rojo y blanco.

* a, b: Características con distintos supraíndices indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

La variabilidad del contenido de humedad presente en el maíz está relacionado con las condiciones climáticas con las cuales fueron cosechados, así como la temperatura, la precipitación pluvial, el tiempo y condiciones de almacenamiento.

El contenido de humedad del grano es importante, ya que si es mayor a 15.5%, durante su almacenamiento pueden crecer hongos y producirse pérdidas importantes, por lo que en general se puede decir que las muestras analizadas entran en los rangos reportados por otros autores.

12.1.2 Cenizas

Las cenizas están conformadas por los minerales, la mayoría de los minerales están asociados con el pericarpio y la capa aleurona, estas capas se muestran en la **Figura 23**. La concentración de cenizas en el maíz varió de 0.89% a 1.00%, lo cual depende, como ya se mencionó anteriormente de

la variedad de maíz. En este caso, el maíz azul presentó una mayor concentración de cenizas (1.00%), seguido del maíz blanco (0.97%) y el maíz rojo (0.89%).

El porcentaje de cenizas obtenidas para el maíz azul (1.00%) fue mayor al reportado por Guemes-Vera, 1996 en “Caracterización Física, Química y Estructural de 3 Variedades de Elotes de Color de la Región del Valle de Tulancingo, Hidalgo”, por el contrario, para el maíz blanco (0.97%) el valor fue menor al reportado por Guemes-Vera (1.019%), finalmente para el maíz rojo no se observó una gran diferencia entre el valor obtenido (0.89%) a lo reportado por la misma persona, que fue de 0.8553%.

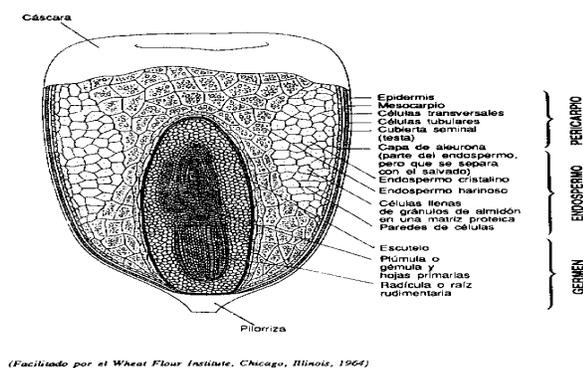


Figura 23. Estructura de las capas del grano de maíz

En general, en otros estudios realizados donde se reporta el contenido de cenizas, solo se enfocan al maíz blanco, encontrándose valores superiores, tal es el caso del 1.3 % reportado por varios autores (Brezan, Paz y Paz Scrimshaw,1958; Cravioto et al.,1945; Ramhotra.1958; Saldana y Brown,1984).

En el **Gráfico 4**, se observa que el contenido de cenizas de las tres variedades de maíz no presentan diferencia estadísticamente significativa con un LSD=99%.

12.1.3 Grasa

El contenido de grasa en el maíz varía de acuerdo a la variedad del grano. El 85% de estos ácidos grasos se encuentran en el germen (que es la fuente de aceite comercial del maíz).

En la **Tabla 10** se muestra que el contenido de grasa en las tres variedades de maíz varió de 3.31% a 4.00%, siendo el maíz el azul el que presentó la mayor concentración. Estos resultados son menores a los reportados en las Tablas de Composición de Alimentos para Uso en América Latina. INCAP, (1961), las cuales reportan un valor de 4.3% de grasa, sin embargo otros autores (Brezan, et al.,1958; Cravioto, et al.,1945; Ramhotra,1958; Saldana y Brown,1984) reportaron un valor superior de 4.8%.

En el **Gráfico 4** se observa que no existió diferencia estadísticamente significativa en el contenido de grasa de estas tres variedades de maíz.

12.1.4 Proteína

El contenido de proteína en las muestras de maíz varió entre 8.48% a 11.34 %, siendo el maíz blanco el de mayor contenido proteínico y el maíz rojo el de menor concentración (8.5%). Valores reportados por Guemes-Vera indican que el maíz blanco tiene 9.340% de proteína, el maíz azul 7.774%, estos valores son inferiores a los obtenidos en las muestras evaluadas. Esta variabilidad de datos puede deberse a que las variedades de maíz en estudio solo comprenden una parte del Distrito Federal (Delegación Xochimilco y Álvaro Obregón). El tratamiento estadístico de los resultados de este parámetro, mostraron que no existió diferencia estadísticamente significativa en el contenido de proteína (**Gráfico 4**) entre las tres variedades de maíz.

12.1.5 Carbohidratos

El maíz como todos los cereales constituye una fuente importante de carbohidratos, sin embargo pueden ser carbohidratos simples (D-glucosa) que se encuentra en un intervalo de 1 a 3% del peso del grano seco, además el grano de maíz contiene maltosa y trisacáridos como la rafinosa, éstos se encuentran principalmente en el germen. En las variedades de maíz en estudio, el maíz blanco presentó un porcentaje de 8.42% de carbohidratos reductores, siendo el porcentaje más alto a diferencia del maíz azul (6.74%) y el maíz rojo (6.50%), resultados mostrados en la **Tabla 10**, en el **Gráfico 4**, se puede observar que entre el maíz rojo y el maíz azul no existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de carbohidratos reductores con un nivel de significancia del 99%. Por otra parte se observa en el mismo gráfico que sí existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de carbohidratos reductores del maíz blanco con respecto al rojo y azul. Otros estudios realizados en maíz o tortillas (Brezan, et al.,1958; Cravioto, et al.,1945; Ramhotra,1958; Saldana y Brown,1984 y Guemes-Vera, 1996), no reportan como tal el contenido de carbohidratos reductores, por lo que no se puede realizar una comparación con los valores obtenidos en este estudio.

El almidón es el polisacárido de almacenamiento energético más importante del maíz y básicamente se concentra en el endospermo y en menor cantidad en el germen y pericarpio (Watson, 1987). La determinación especialmente en el maíz, se realizó químicamente por el método de I_2/ KI , (método

no oficial) y por vía enzimática (Método AOAC 996.11, AACC 76.13) siendo este último el método oficial.

Los resultados obtenidos para las tres variedades de maíz utilizando estos dos métodos mostraron que la concentración de almidón varió del 53% al 60% por el método químico y del 63% al 66% de almidón para el método enzimático (**Tabla 10, resultados obtenidos de las tablas presentadas en el Anexo I**). De tal manera que al realizar el análisis estadístico con un LSD=99% se observó que por el método químico existe diferencia estadísticamente significativa entre el contenido de almidón, siendo el maíz rojo el de mayor concentración de almidón (**Gráfico 4**), sin embargo el método enzimático, muestra resultados que indican que no existió diferencia estadísticamente significativa a un LSD=99% entre las tres variedades de maíz. Por otra parte, en un estudio llevado a cabo por Salinas (1997), en el que se realizó la caracterización física y química de cuatro grupos de maíces blancos de los estados de Sinaloa, Veracruz, Jalisco y Chiapas, que el contenido de almidón en el maíz varió de 71.3% a 77.1 % dependiendo del estado; al comparar estos porcentajes con el obtenido por vía enzimática para el maíz blanco analizado en este estudio (63.89%) se observa que si hay una diferencia en el contenido de este carbohidrato, lo que podría suponer que las variedades cultivadas en el D.F. tienen menor contenido de almidón.

12.2 Masa

12.2.1 Humedad

Durante el cocimiento del grano se originan reacciones bioquímicas, entrecruzadas e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida (Rodríguez, 1995). Un alto porcentaje de estos cambios se debe a la modificación en la estructura del almidón, principal componente químico del maíz. La masa desarrolla propiedades de cohesión y adhesión características.

La **Tabla 11** muestra los resultados del análisis fisicoquímico obtenidos para la masa de las tres diferentes variedades de maíz, cabe mencionar que las muestras de masa artesanal 1 y 2 tanto roja como azul provienen de la misma variedad de maíz, dado que a las personas que se seleccionaron para la realización de éstas, se les proporcionó el maíz azul y rojo.

Sin embargo resultó que para las tres muestras de masa de maíz rojo, el contenido de Humedad y Cenizas, son los parámetros en los que los resultados de las tres muestras de masa roja se encuentran

más dispersos, lo cual podría indicar que las condiciones para la nixtamalización varío de persona a persona.

En la **Tabla 11** se puede observar que el contenido de humedad en la masa dependió de la variedad de maíz (rojo, azul y blanco), es decir, en el caso de la masa de color rojo se obtuvo una concentración de humedad que varió de 46.57% a 60.53%; en el caso de la masa de color azul se obtuvo concentraciones de humedad que variaron de 41.84% a 57.40% y finalmente en la masa de color blanco se obtuvo una concentración de humedad de 55.10%, estos resultados se relacionan con el contenido de almidón de cada variedad de maíz, así la muestra de maíz rojo que presentó el más alto porcentaje de almidón, también presentó la mayor retención de agua, reflejada en una alta concentración de humedad, de esta manera le siguió el maíz azul y blanco.

Tabla 11. Análisis fisicoquímico de masa proveniente de maíz azul, rojo y blanco

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
MR exp	53.25±0.35	0.63±0.02	1.91±0.06	3.83±0.45	38.36±0.004	7.73±0.001
MA exp	57.40±0.22	0.87±0.02	2.22±0.64	3.19±0.15	38.73±0.002	6.47±0.0005
MB exp	55.10±0.94	0.60±0.02	1.74±0.22	3.95±0.31	38.46±0.002	7.42±0.001
MR art 1	46.57±0.03	0.89±0.09	1.95±0.1	4.06±0.06	30.85±0.02	13.46±0.01
MA art1	55.72±0.19	1.01±0.07	1.84±0.00	4.10±0.04	26.3±0.04	9.47±0.0032
MR art2	60.53±0.26	1.41±0.01	1.27±0.004	4.44±0.07	30.66±0.002	7.36±0.0025
MA art2	41.84±0.07	0.95±0.01	1.53±0.19	4.29±0.13	38.16±0.02	10.89±0.001

*Los resultados mostrados en esta tabla corresponden a valores obtenidos a partir de dos replicas de cada muestra de masa con su desviación estándar.

Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I

*** MR exp= masa roja experimental; MAexp= masa azul experimental; MBexp= masa blanca experimental; MR art1= masa roja artesanal 1; MA art 1= masa azul artesanal 1; MR art 2= masa roja artesanal 2; MA art 2= masa roja artesanal 2.

Sin embargo cabe mencionar que la variabilidad de estos resultados también dependen de la cantidad de agua adicionada durante la molienda, ya que para el maíz rojo se adicionó 235 mL de agua, para la azul 225 mL y para la blanca 215 mL. Pérez, 1996 reportó que la masa puede tener hasta 60% de humedad, mientras que en las Tablas de Composición de Alimentos para Uso en América Latina. INCAP, (1961) indican que el contenido de humedad en masa de maíz nixtamalizada es de 62.2%.

Al comparar los resultados obtenidos con los reportados por Pérez y el reportado en tablas se observa la humedad de las muestras analizadas se encuentra por debajo del valor reportado (60%), esta variación de resultados se debe a las condiciones de proceso durante la molienda, o bien durante la preparación de la masa. Por lo contrario, Arámbula-Villa (2001) menciona que en una masa de maíz de buena calidad para producir tortillas, la humedad debe oscilar entre 50 y 58 %, resultados

que coinciden con los obtenidos en las masas analizadas, lo que podría suponer que la masa obtenida fue de buena calidad para la elaboración de tortillas con buenas características sensoriales.

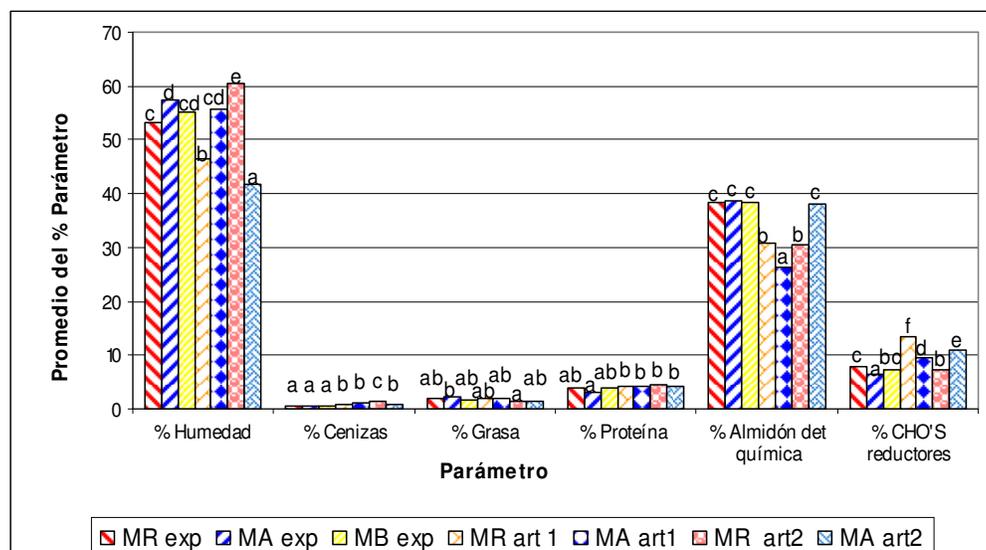


Gráfico 5. Análisis Fisicoquímico en masa de maíz azul, rojo y blanco.

* a,b: Características con distintos supraíndices indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

*** MR exp= masa roja experimental; MAexp= masa azul experimental; MB exp= masa blanca experimental; MR art1= masa roja artesanal 1; MA art 1= masa azul artesanal 1; MR art 2= masa roja artesanal 2; MA art 2= masa roja artesanal 2.

12.2.2 Cenizas

En la **Tabla 11** también se muestra el contenido de cenizas en la masa, para la cual no se encontró ningún dato reportado por otros autores, los resultados encontrados para las muestras analizadas variaron de 0.59 a 0.63% siendo la masa azul en la que se encontró menor contenido de cenizas, y la masa roja en la que se encontró un mayor contenido. Se ha reportado que durante el proceso de la nixtamalización debe haber un incremento en el contenido de minerales debido a la introducción de iones calcio, pero si comparamos el contenido de cenizas en el maíz con respecto al contenido de cenizas en la masa, se observó:

- En el caso del maíz azul, el contenido de cenizas que se obtuvo fue del $1.00\% \pm 0.12$, esperando que en la masa esta concentración fuera superior, sin embargo en la masa obtenida de este maíz (experimental, artesanal 1 y artesanal 2) se obtuvieron concentraciones que van de $0.87\% \pm 0.02$ para la masa experimental, $1.01\% \pm 0.01$ para la masa artesanal 1 y finalmente $0.95\% \pm 0.01$ para la masa artesanal 2.

- En el caso de maíz rojo, el contenido de cenizas que se obtuvo fue de 0.895 ± 0.01 , sin embargo se pudo observar que en el caso de la masa roja artesanal 2 si hubo un incremento en la masa teniendo una concentración de cenizas de 1.41 ± 0.01 , cabe mencionar que en la masa roja artesanal 1 el contenido de cenizas fue de 0.89 ± 0.09 , valor igual al obtenido en el maíz; y finalmente en la masa experimental se obtuvo una concentración de 0.63 ± 0.02 , observando en ésta un decremento
- En el caso del maíz blanco se obtuvo una concentración de cenizas de $0.97\% \pm 0.02$ obteniendo un decremento en la concentración de cenizas en la masa siendo un valor de $0.60\% \pm 0.02$.

De acuerdo a lo anterior y generalizando, se obtuvo lo contrario a lo que se esperaba, es decir, hay una disminución en el contenido de cenizas cuando se procesa el maíz para obtener masa nixtamalizada, esto se puede deber a que las condiciones de lavado de maíz nixtamalizado fue excesivo, lo que pudo haber provocado la pérdida de sales y minerales.

En el **Gráfico 5** se observa que no existió diferencia estadísticamente significativa en el contenido de cenizas entre la masa azul, blanca y roja experimental, así como también entre la masa azul y roja artesanal 1 y masa azul artesanal 2. Estos resultados ponen de manifiesto que el contenido de cenizas depende de las condiciones de nixtamalización.

12.2.3 Grasa

El contenido de grasa en la masa varió de 1.27% a 2.2%; siendo la masa roja artesanal 2 la de menor contenido y la masa azul experimental la de mayor contenido. El valor obtenido para la masa roja experimental (1.91%), coincide con el valor reportado en las Tablas de Composición de Alimentos (1.9137%). Al comparar el contenido de grasa que se obtuvo para el maíz con respecto al contenido de grasa en masa, se nota claramente que hay una disminución de grasa aproximadamente del 40 y el 57%, esto se debe a que durante el proceso de nixtamalización se lleva a cabo la hidrólisis alcalina de los ácidos grasos. El ácido linoléico es el que se ve principalmente afectado (Pérez, 1996).

12.2.4 Proteína

En las Tablas de Composición de Alimentos se reporta un contenido de proteína en la masa de 3.5% que es un valor intermedio a los obtenidos en las muestras analizadas que varió entre 3.19% a 4.44% (**Tabla 11**), sin embargo el **Gráfico 5** muestra que entre masa roja experimental, masa blanca experimental, masa roja artesanal masa azul artesanal 1 y masa azul artesanal 2 no existe diferencia

estadísticamente significativa a un $\alpha=99\%$. Por lo contrario, al comparar el contenido de proteína en masa con el contenido de proteína en el maíz se observó que hubo una reducción significativa en cuanto al contenido proteínico, siendo aproximadamente del 32 al 37%, esto posiblemente se atribuya a la solubilidad e hidrólisis de algunas fracciones proteínicas, principalmente gluteninas, que se pierden en el nejayote. Sin embargo, la calidad de la proteína que permanece en el nixtamal mejora notablemente, debido a la mayor disponibilidad de aminoácidos en las fracciones peptídicas después de la hidrólisis (Pérez, 1996).

12.2.5 Almidón

Con el proceso de nixtamalización ocurren una serie de cambios en los componentes del grano de maíz que contribuyen a darle las características propias de textura a la masa y tortilla. Siendo el almidón el componente mayoritario en este cereal, las modificaciones que sufra repercutirán de manera importante en las propiedades de la tortilla, la cual presenta una red estructural formada por los gránulos de almidón fundidos durante el cocimiento (Robles, 1986). Anteriormente se creía que durante la nixtamalización, una gran parte de los almidones eran gelatinizados (Trejo, 1982), sin embargo hoy, con el uso de técnicas más modernas se sabe que sólo una porción pequeña, que no sobrepasa el 15% es la que se gelatiniza (Gómez, 1990).

Asociados con la gelatinización, se presentan en el almidón otros cambios tales como: pérdida de la birrefringencia y cristalinidad del gránulo, modificación del patrón de rayos X, e incremento en la solubilidad (Gómez, 1990). Sobre este último aspecto se ha observado que la masa de maíz contiene menos de 10% de sólidos solubles, de los cuales entre el 30% y 50% es almidón solubilizado, en el que predomina la amilopectina de bajo peso molecular (Gómez 1992). El tiempo de cocimiento afecta la cantidad de sólidos solubles y almidón solubilizado; al aumentarlo, los sólidos solubles y el almidón solubilizado decrecen, como consecuencia de la retrogradación que este último sufre durante el reposo y enfriamiento después de la molienda (Gómez, 1991).

De acuerdo a los resultados encontrados por Gómez, 1992 y al compararlos con el contenido de almidón obtenido en las masas analizadas en las que se obtuvieron concentraciones de 26.3% a 38.73% de almidón (**Tabla 11**) se observó que el contenido de almidón obtenido, excepto el de la masa azul artesanal 1, entran dentro del rango reportado por Gómez, 1992. Al observar estos resultados en el **Gráfico 5** se puede observar que en las masas de maíz azul, rojo y blanco experimental, así como también en la masa azul artesanal 2, no existió diferencia estadísticamente

significativa en el contenido de almidón, así como entre la masa roja artesanal 1 y masa roja artesanal 2 no existió diferencia estadísticamente significativa en el contenido de almidón.

Se encontró que el contenido de almidón tendió a disminuir del maíz crudo a la masa, debido a que en el maíz crudo este carbohidrato se encontró en una concentración del 53.88 al 60.85 % (**Tabla 10**) y sin embargo en la masa, disminuye hasta un rango de 26.3 % a 38.73% (**Tabla 11**).

12.2.6 Carbohidratos reductores

En cuanto al contenido de Carbohidratos reductores, se observó que entre todas las muestras de masas existe diferencia estadísticamente significativa (**Gráfico 5**).

12.3 Comparación entre masa de maíz azul y rojo

Al realizar una comparación exclusivamente de masa proveniente de maíz azul, se pudo observar (**Gráfico 6**), que entre la masa azul experimental y artesanal 1 no existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de humedad, siendo la masa azul artesanal 2 (MA art 2) la que presentó menor porcentaje de humedad. En el contenido de cenizas y proteína no existe diferencia entre la masa azul artesanal 1 y 2. En el contenido de grasa, no existe diferencia entre ninguna de las masas de maíz azul. El **Gráfico 6** también nos muestra que la masa azul experimental y masa azul artesanal 2 fueron las que presentaron un contenido de almidón más alto, al compararlo con la masa artesanal 1, sin embargo el contenido de carbohidratos reductores es diferente en cada muestra de masa azul. Estas diferencias encontradas en las masas provenientes del mismo maíz azul se deben a que no se siguieron las mismas condiciones de nixtamalización para la elaboración de éstas, ya que al ver los resultados en la **Tabla 12**, se observa que las desviaciones estándar, las cuales indican la reproducibilidad de resultados, muestran que estas determinaciones fueron precisas, descartándose con ello que las diferencias se deban a algún error experimental.

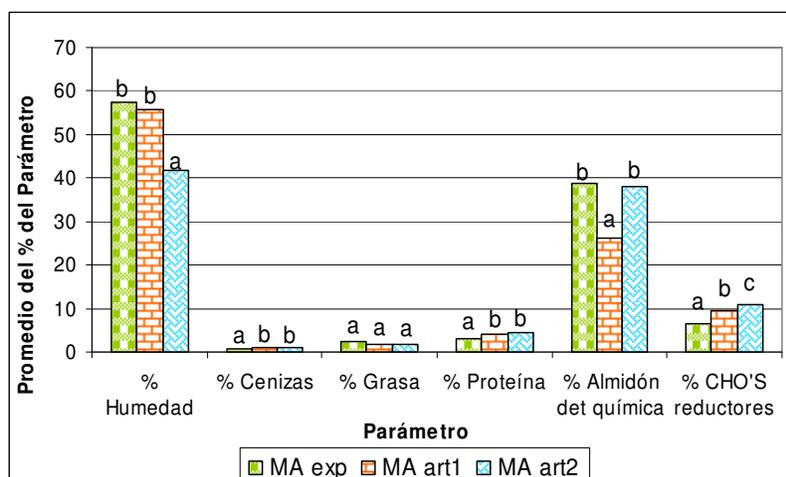


Gráfico 6. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en masa proveniente de maíz azul nixtamalizado

*Resultados obtenidos mediante un análisis de varianza con un LSD=99%.

** Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

*** MA exp= masa azul experimental; MA art 1= masa azul artesanal 1; MA art 2= masa azul artesanal 2

Tabla 12. Análisis fisicoquímico de masa proveniente de maíz azul

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
MA exp	57.40+0.22	0.87+0.01	2.22+0.64	3.19+0.15	38.73+0.002	6.47+0.0005
MA art1	55.72+0.19	1.01+0.07	1.84+0.00	4.10+0.04	26.3+0.04	9.47+0.0032
MA art2	41.84+0.07	0.95+0.01	1.53+0.19	4.29+0.13	38.16+0.02	10.89+0.001

*Los resultados mostrados en esta tabla corresponden a valores obtenidos a partir de dos replicas de cada muestra de masa con su desviación estándar. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

**Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** MA exp= masa azul experimental; MA art 1= masa azul artesanal 1; MA art 2= masa azul artesanal 2

De la misma manera que en masa azul, se muestra en la **Tabla 13** los resultados de masas de maíz rojo, éstos nos indican que las diferencias mostradas en el **Gráfico 7** se deben básicamente a la variabilidad de las condiciones para la elaboración de estas masas. Se observó que el parámetro en donde no se encuentra diferencia estadísticamente significativa, es en la concentración de proteína, sin embargo se muestra variabilidad en el resto de los parámetros, no observándose una tendencia clara **Gráfico 7**.

Con base en los resultados obtenidos, se observó que entre las fracciones de proteína y almidón en el maíz y en la masa existe una relación inversamente proporcional, es decir que a mayor contenido de proteína, el contenido de almidón disminuye y viceversa, esto se puede observar claramente en la **Tabla 10**, **Tabla 11** y **Tabla 13**.

Tabla 13. Análisis fisicoquímico de masa proveniente de maíz rojo

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
MR exp	53.25+0.35	0.63+0.02	1.91+0.06	3.83+0.45	38.36+0.004	7.73+0.001
MR art1	46.57+0.03	0.89+0.09	1.95+0.1	4.06+0.06	30.85+0.02	13.46+0.01
MR art2	60.53+0.26	1.41+0.01	1.27+0.004	4.44+0.07	30.66+0.002	7.36+0.0025

*Los resultados mostrados en esta tabla corresponden a valores obtenidos a partir de dos replicas de cada muestra con su desviación estándar. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el Anexo I

**Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** MR exp= masa roja experimental; MR art 1= masa roja artesanal 1; MR art 2= masa roja artesanal 2

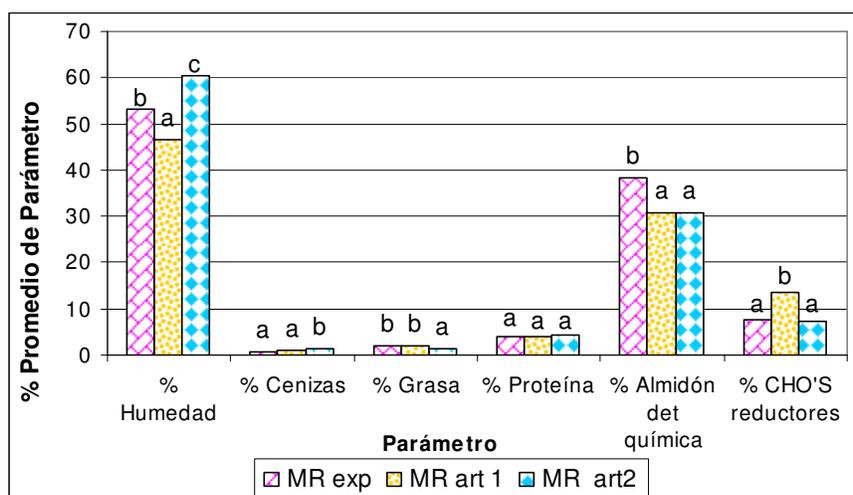


Gráfico 7. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en masa proveniente de maíz rojo nixtamalizado

*Resultados obtenidos mediante un análisis de varianza con un LSD=99%.

**Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

*** MR exp= masa roja experimental; MR art 1= masa roja artesanal 1; MR art 2= masa roja artesanal 2

12.4 Tortillas experimentales

En México la tortilla forma parte de la dieta de todos los estratos sociales, con un consumo per cápita de 120 Kg anuales, esto es 328 g/día de tortilla. La tortilla sola provee 38.8% de las proteínas, 45.2% de las calorías y 49.1% del calcio de la dieta diaria de la población de México y en zonas rurales provee aproximadamente el 70% del total de calorías y el 50% de las proteínas ingeridas diariamente (González et al, 1997).

La problemática de la producción de tortilla se ha venido incrementando en México, ya que actualmente se consumen 10 millones de toneladas de tortillas al año. La falta de una dieta apropiada, debido a la limitación de recursos económicos y al incremento de la población, han hecho que la población sea más dependiente de la tortilla para su alimentación diaria.

Los resultados del análisis fisicoquímico de las tortillas elaboradas de forma experimental se muestran en la siguiente Tabla

Tabla 14. Tabla comparativa del análisis fisicoquímico en tortillas elaboradas experimentalmente

Tortilla	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón	% CHOS Red
TMR exp	42.84±0.49	0.84±0.04	2.00±0.19	4.21±0.10	37.58±0.02	5.35±0.004
TMA exp	45.84±0.02	0.87±0.02	2.12±0.48	4.90±0.08	36.90±0.01	5.87±0.002
TMB exp	45.16±0.16	0.84±0.001	1.95±0.24	4.6±0.37	39.23±0.02	7.35±0.001

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de Tortilla. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TMB = Tortilla de maíz blanco experimenta

12.4.1 Humedad

En la **Tabla 14** se observa que el contenido de humedad varió de 42.84% a 45.84%, valores diferentes a los observados por Islam (1984) quien encontró una variación del contenido de humedad de 47.6 a 50.6%, sin embargo coinciden con las Tablas de composición de alimentos, así como también con lo reportado por otros autores (Brezan et al, 1958; Cravioto et al, 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984), quienes reportan una variación entre 47.5% y 47.8% de humedad respectivamente. La variabilidad en la humedad presente en las tortillas esta relacionado con las condiciones del proceso de nixtamalización, entre ellas la cantidad de agua adicionada al preparar la masa. Generalmente las tortillas son consumidas el mismo día de su producción, debido a su alto contenido de humedad, de 45 a 50% (Johnson *et al.*, 1980) que hace que el producto sea susceptible a daños por microorganismos (Martínez-Flores, 2004). Por otro lado, el contenido de humedad en las tres diferentes tortillas disminuyó aproximadamente un 10% en relación al porcentaje de humedad en la masa. Este resultado concuerda con lo encontrado por Pérez (1996), el cual también reporta que la disminución de humedad, de la masa a la tortilla es de un 10%.

12.4.2 Cenizas

El contenido de cenizas varió de 0.84% a 0.87%, valores similares al reportado por otros autores (Brezan, et al., 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984), quienes encontraron un valor promedio de 0.8 %. Esta similitud en el contenido de cenizas en las tortillas se debe a que durante el proceso de nixtamalización se promueve la introducción de iones calcio al maíz con el que se prepara la masa para la elaboración de tortillas. Cabe mencionar que el contenido de estas fracciones de cenizas es menor en la masa que en las tortillas, esto se debe a que durante la cocción de la tortilla hay una disminución de aproximadamente un 10% de humedad.

12.4.3 Grasa

El contenido de grasa en las tortillas varió entre 1.95% a 2.12%, siendo la tortilla azul en la que se encontró mayor contenido de grasa (2.12%) en comparación con la blanca y la roja. Por otro lado, cabe mencionar, que el contenido de grasa indicado por otros autores (Brezan, 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984) es menor al 1%, mientras que lo reportado en las Tablas de composición de alimentos es un 1.8%, siendo este valor aproximado a lo obtenido experimentalmente en las muestras estudiadas. Estas variaciones en el contenido de grasa se deben, como ya se mencionó a las condiciones de nixtamalización, y a la variedad de maíz utilizado.

12.4.4 Proteína

El contenido proteínico varió de 4.21% (tortilla roja), 4.6% (tortilla blanca) y 4.90% (tortilla azul). Otros autores (Brezan, et al., 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984) reportan para tortillas de maíz blanco un contenido proteínico de 5.4%, mientras que en las Tablas de composición de alimentos reportan un porcentaje de 4.6, el cual es igual a lo obtenido para las tortillas blancas analizadas.

12.4.5 Almidón

En cuanto al contenido de almidón, se obtuvo que estas fracciones variaron de 36.90% a 39.23%, siendo la tortilla de maíz azul la de menor concentración y la tortilla de maíz blanco la de mayor concentración en este carbohidrato. Los resultados del contenido de carbohidratos reductores, mostró un rango de 3.35% a 7.35%, estos resultados no pudieron ser comparados con otros estudios, ya que no se encontró reportado este valor con ningún otro estudio realizado.

12.5 Tortillas artesanales

Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos estudiados en las tortillas experimentales, se realizó un estudio en tortillas artesanales rojas y azules, elaboradas por personas que se dedican a la venta de tortillas de maíz azul, a las que se les proporcionó el maíz azul y rojo.

Las tortillas artesanales 1 fueron muestras elaboradas por una persona que pertenece a la Delegación Álvaro Obregón; y las tortillas artesanales 2 fueron muestras elaboradas por una persona que pertenece a la Delegación Coyoacán.

Los resultados de las muestras artesanales se reportan en la **Tabla 15**

Tabla 15. Cuadro comparativo de tortillas Experimentales y Artesanales

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TMR exp	42.84±0.49	0.84±0.04	2.00±0.19	4.21±0.10	37.58±0.02	5.35±0.004
TMA exp	45.84±0.02	0.87±0.02	2.12±0.48	4.90±0.08	36.90±0.01	5.87±0.002
TMR art1	43.56±0.55	1.03±0.05	0.67±0.04	4.70±0.02	22.34±0.002	13.83±0.006
TMA art1	48.13±0.26	1.24±0.05	0.86±0.08	4.76±0.12	23.01±0.002	7.22±0.003
TMR art2	45.9±0.27	2.04±0.02	0.90±0.05	6.12±0.14	23.78±0.005	6.81±0.003
TMA art2	42.94±0.3	1.27±0.01	0.84±0.03	5.91±0.07	35.79±0.01	8.69±0.002

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortilla. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR art 1= Tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz rojo artesanal 2; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA= Tortilla de maíz azul experimental.

12.5.1 Humedad

La **Tabla 15** nos indica que el contenido de humedad en las tortillas varió de 42.94% a 48.13%, sin embargo cabe mencionar que no se encontró ningún estudio referente a tortillas azules y rojas, para así poder comparar los resultados obtenidos, por lo que se compararon con resultados publicados para tortillas de maíz blanco, tal es el caso, de lo reportado por Serna-Saldivar y en las tablas del INNSZ (1996) quienes encontraron un porcentaje de humedad de aproximadamente 42%, o bien con lo reportado por (Johnson *et al.*, 1980) quien reporta un contenido de humedad de 45% a 50%, observándose que los valores obtenidos en las muestras evaluadas entran en estos rangos de humedad reportados por estos autores.

Al comparar los resultados obtenidos en las tortillas experimentales con las artesanales (azules y rojas), se observó que el contenido de humedad entre ambas fue similar, esto se atribuye a que el maíz utilizado para la elaboración de estas tortillas fue el mismo.

12.5.2 Cenizas

El contenido de cenizas (**Tabla 15**) para las tortillas experimentales resultó ser menor (0.84% a 0.87%) para la tortillas rojas y azules experimentales en comparación con las tortillas artesanales (1.03% a 2.04%), lo que indica que la concentración de cal que utilizaron para la nixtamalización del

maíz con las que se elaboraron las tortillas artesanales fue superior a 0.8% (concentración de cal utilizada en la nixtamalización de maíz para la elaboración de tortillas experimentales).

12.5.3 Grasa

El contenido de grasa (**Tabla 15**) en tortillas artesanales (0.67% a 0.90%) fue menos de la mitad de la cantidad de grasa encontrada en las tortillas experimentales (2.00% a 2.12%) , sin embargo los valores obtenidos en tortillas artesanales se encuentran cercanos a lo reportado por autores como Brezan, et al., 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984 quienes encontraron un porcentaje del 1.0%, mientras que los valores de las tortillas experimentales coinciden con lo reportado en las Tablas de composición de alimentos.

12.5.4 Proteína

El contenido de proteína en las tortillas experimentales y tortillas artesanales 1 se encontró en un rango de 4.21% a 4.90%, ambos entran en el rango reportado en la Tabla de Composición de Alimentos y por otros autores (Bressani, et al.,1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984), quienes encontraron un porcentaje proteínico de 4.6% y 5.4% respectivamente. Sin embargo las tortillas artesanales 2 tuvieron de 5.91% a 6.12% de proteína, valores que se encuentran por arriba de lo reportado, esto se podría atribuir al hecho de que son tortillas elaboradas por personas que venden en puestos, y las que indicaron tener como práctica la adición de harinas a la masa, lo que posiblemente provocó un aumento en el contenido proteínico.

12.5.5 Almidón

El contenido de almidón en tortillas experimentales varió de 36.90% a 37.58%, sin embargo en las tortillas artesanales el contenido de este carbohidrato varió de 22.34% a 23.78%, excepto las tortillas de maíz azul artesanal 2, en las que se obtuvo una concentración de 35.79%, valor cercano a los que se obtuvieron en las tortillas comerciales. El contenido de carbohidratos reductores se encontró en un rango de 5.35% a 13.83%.

12.6 Tortillas comerciales

Se realizó un análisis fisicoquímico en tortillas comerciales. Las tortillas en estudio se enlistan a continuación:

1. Tortillas Milpa Real (TMR₁)
2. Tortillas Milpa Real Nixtamalizadas (TMRN)
3. Tortillas blancas de Wal Mart (TWMB)
4. Tortillas de Santo domingo (TSD)
5. Tortillas de Superama (TS)
6. Tortillas azules de Wal Mart (TWMA)

El resultado del análisis fisicoquímico llevado a cabo en estas muestras de tortillas comerciales se muestra continuación en la **Tabla 16**:

Tabla 16. Cuadro comparativo de tortillas comerciales

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TMR₁	45.24±0.49	1.07±0.0002	0.89±0.22	4.27±0.08	33.66±0.01	10.29±0.003
TMRN	51.19±0.54	0.86±0.0004	0.68±0.09	4.41±0.25	35.18±0.002	6.82±0.003
TWMB	50.27±0.36	0.63±0.01	1.02±0.01	3.89±0.07	26.49±0.05	8.14±0.003
TWMA	44.16±0.45	0.98±0.01	0.88±0.04	4.77±0.48	27.12±0.02	6.66±0.004
TS	44.0±0.99	1.09±0.02	1.08±0.11	4.82±0.11	31.74±0.002	10.50±0.001
TSD	47.94±0.44	1.30±0.03	0.94±0.15	4.21±0.32	31.67±0.003	7.35±0.002

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortilla. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS=Tortilla de Superama; TSD=Tortilla de Santo Domingo

12.6.1 Humedad

En la **Tabla 16** se puede observar que de la humedad de las tortillas de maíz blanco vario de 44% a 51.19% estos resultados son mayores a lo reportado por Serna-Saldivar (1990) y en las tablas del INNSZ (1996) quienes encontraron un porcentaje de humedad de aproximadamente 42%, sin embargo coinciden con lo reportado por Johnson *et al.*, 1980 quien reporta un contenido de humedad de 45 a 50%, la variabilidad en la humedad presente en las tortillas esta relacionado con el proceso de nixtamalización y la cantidad de agua adicionada durante la elaboración de la masa.

Debido a que el proceso de nixtamalización varía, el contenido de los nutrientes se ve afectado desde la molienda hasta la elaboración de las tortillas.

12.6.2 Cenizas

El contenido de cenizas en las tortillas de maíz blanco varió de 0.63% a 1.3% (**Tabla 16**), estos valores son inferiores a lo reportado por Serna-Saldivar quien encontró un porcentaje de cenizas de 2.2%, por el contrario otros autores (Brezan, et al., 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984) reportan el valor de 0.8% de cenizas, el cual es similar al que se obtuvo para las tortillas Milpa Real nixtamalizadas (0.86%). Toda esta variabilidad en los valores que se obtuvieron para tortillas de maíz blanco, depende de las condiciones utilizadas en la nixtamalización del maíz, así como la concentración de cal, tiempo y temperatura de cocción, y volumen de agua utilizada.

12.6.3 Grasa

El contenido de grasa varió de 0.68% a 1.08 estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores (Brezan, et al., 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra, 1958; Saldana y Brown, 1984) quienes encontraron un porcentaje de 1.0%. Cabe mencionar que estos valores no coinciden con lo reportado en las Tablas de composición de alimentos, donde se reporta un 1.8% de grasa.

12.6.4 Almidón

En cuanto al contenido de proteína, se observa en la **Tabla 16**, que los valores oscilaron entre 3.89% a 4.82%, lo que nos indican valores que se encuentran cercanos, con respecto a lo reportado en la Tabla de Composición de Alimentos y por otros autores (Bressani, Paz y Paz Scrimshaw, 1958; Cravioto et al., 1945; Ramhotra.1958; Saldana y Brown, 1984), quienes encontraron un porcentaje proteínico de 4.6 y 5.4 respectivamente.

El contenido de almidón en las tortillas comerciales varió de 31.67% a 35.18%, excepto en las tortillas elaboradas por Wal Mart, que mostraron los valores más bajos en un rango entre 26.49% a 27.12%. Por otro lado el contenido de Carbohidratos reductores vario en un rango de 6.66% a 10.50.

12.7 Análisis Fisicoquímico en Tortillas de maíz azul, rojo y blanco

La representación Gráfica y el análisis estadístico se encuentran en el **Gráfico 8 y Tabla 17**. Al comparar los porcentajes de los distintos parámetros fisicoquímicos (Humedad, Grasa, Proteína) de las tortillas elaboradas con las diferentes variedades de maíz estudiadas, se observa que no existe una tendencia clara, es decir, no podemos agrupar a las tortillas en base a la variedad con la que fue elaborada ya que las características de las tortillas se ven claramente influenciadas por el proceso de nixtamalización y de elaboración de la masa, así como del proceso térmico dado a las propias tortillas. En general todas las muestras presentaron el mismo % de grasa (excepto las muestras TMA art 1, TMR art 2, y TMA art 2).

Tabla 17. Cuadro comparativo en el Análisis Fisicoquímico en Tortillas de maíz azul, rojo y blanco

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TMR	45.24±0.49	1.07±0.0002	0.89±0.22	4.27±0.08	33.66±0.01	10.29±0.003
TMRN	51.19±0.54	0.86±0.0004	0.68±0.09	4.41±0.25	35.18±0.002	6.82±0.003
TWMB	50.27±0.36	0.63±0.01	1.02±0.01	3.89±0.07	26.49±0.05	8.14±0.003
TWMA	44.16±0.45	0.98±0.01	0.88±0.04	4.77±0.48	27.12±0.02	6.66±0.004
TS	44.0±0.99	1.09±0.02	1.08±0.11	4.82±0.11	31.74±0.002	10.50±0.001
TSD	47.94±0.44	1.30±0.03	0.94±0.15	4.21±0.32	31.67±0.003	7.35±0.002
TMR exp	42.84±0.49	0.84±0.04	2.00±0.19	4.21±0.10	37.58±0.02	5.35±0.004
TMA exp	45.84±0.02	0.87±0.02	2.12±0.48	4.90±0.08	36.90±0.01	5.87±0.002
TMB exp	45.16±0.16	0.84±0.001	1.95±0.24	4.6±0.37	39.23±0.02	7.35±0.001
TMR art1	43.56±0.55	1.03±0.05	0.67±0.04	4.70±0.02	22.34±0.002	13.83±0.006
TMA art1	48.13±0.26	1.24±0.05	0.86±0.08	4.76±0.12	23.01±0.002	7.22±0.003
TMR art2	45.9±0.27	2.04±0.02	0.90±0.05	6.12±0.14	23.78±0.005	6.81±0.003
TMA art2	42.94±0.3	1.27±0.01	0.84±0.03	5.91±0.07	35.79±0.01	8.69±0.002

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortilla. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR art 1= Tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz rojo artesanal 2; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TMB esp= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR1= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS= Tortilla de Superama; TSD= Tortilla de Santo Domingo.

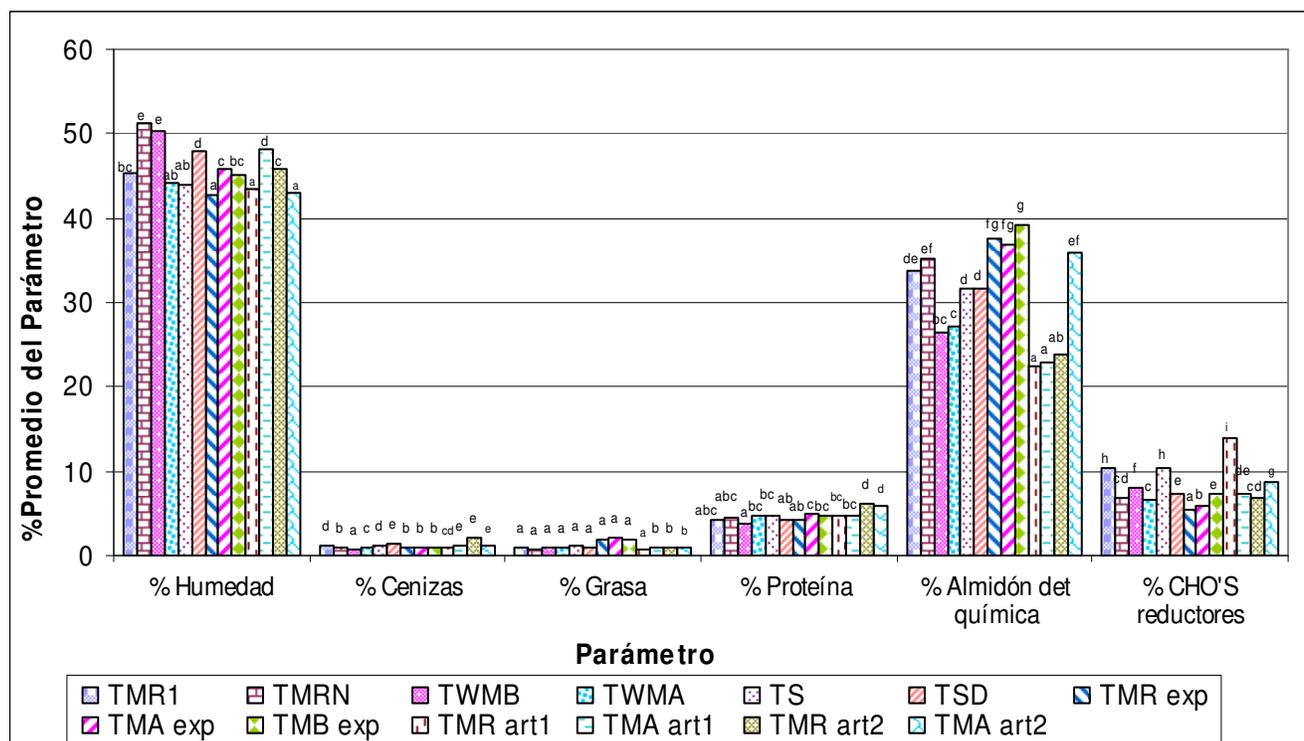


Gráfico 8. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en tortillas de maíz

*_{a, b, c} Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa con un LSD= 99%

* TMR art 1= Tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz rojo artesanal 2; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA exp= Tortilla de maíz azul experimental; TMB esp= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS= Tortilla de Superama; TSD= Tortilla de Santo Domingo.

En cuanto al contenido de carbohidratos reductores, es el parámetro en el que se encontró mayor variabilidad de resultados.

12.8 Análisis fisicoquímico de Tortilla de maíz azul

Analizando los resultados de las tortillas de maíz azul se observa que (**Gráfico 9**) las muestras fueron diferentes en el contenido de Humedad (excepto TWMA y TMA art 2).

Todas las tortillas presentaron el mismo porcentaje de proteína, solo la muestra TMA exp presentó un mayor contenido de grasa, además, todas las muestras presentaron diferente porcentaje de carbohidratos reductores (**Gráfico 9 o Tabla 18**).

Tabla 18. Análisis fisicoquímico de Tortillas de maíz azul

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TWMA	44.16+0.45	0.98+0.01	0.88+0.04	4.77+0.48	27.12+0.02	6.66+0.004
TMA exp	45.84+0.02	0.87+0.02	2.12+0.48	4.90+0.08	36.90+0.01	5.87+0.002
TMA art1	48.13+0.26	1.24+0.05	0.86+0.08	4.76+0.12	23.01+0.002	7.22+0.003
TMA art2	42.94+0.3	1.27+0.01	0.84+0.03	5.91+0.07	35.79+0.01	8.69+0.002

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

**** Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa con un LSD= 99%

***** TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TWMA = Tortilla azul de walt mart.

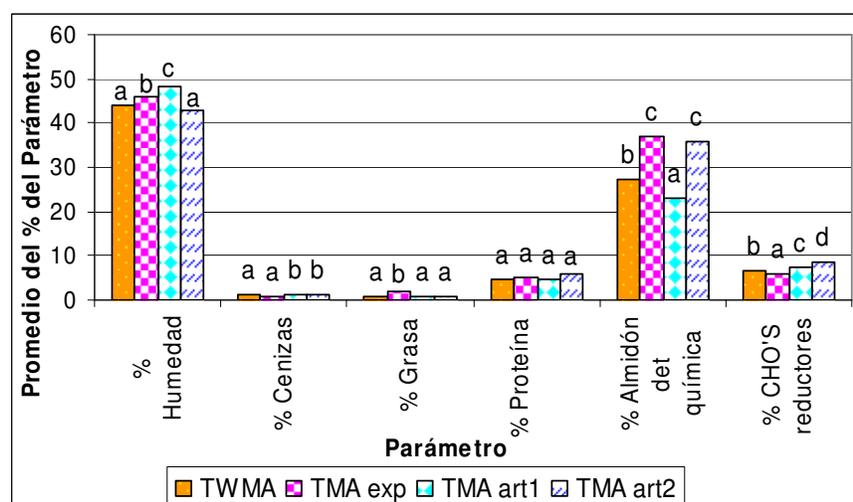


Gráfico 9. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en tortillas de maíz azul

*Características con distintos letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMA art 2= Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TWMA = Tortilla azul de walt mart.

12.9 Análisis fisicoquímico de Tortillas de maíz rojo

Los resultados de muestran en la **Tabla 19** y el **Gráfico 10**, en ellos se puede observar, que todas las muestras de tortillas rojas son diferentes estadísticamente en el contenido de Humedad y carbohidratos reductores. La muestra artesanal 2 fue diferente en el contenido de proteína y cenizas, mientras que la muestra experimental fue estadísticamente diferente en el contenido de grasa y almidón.

Tabla 19. Análisis fisicoquímico de Tortilla de maíz rojo

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TMR exp	42.84±0.49	0.84±0.04	2.00±0.19	4.21±0.10	37.58±0.02	5.35±0.004
TMR art1	43.56±0.55	1.03±0.05	0.67±0.04	4.70±0.02	22.34±0.002	13.83±0.006
TMR art2	45.9±0.27	2.04±0.02	0.90±0.05	6.12±0.14	23.78±0.005	6.81±0.003

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortillas. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR art 1= Tortilla de maíz roja artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz roja artesanal 2; TMR exp= Tortilla de maíz roja experimental.

Cabe mencionar que especialmente en estas muestras de tortillas se obtuvo una relación directamente proporcional entre contenido de grasa el contenido de almidón, es decir a mayor contenido de grasa mayor fue el contenido de almidón.

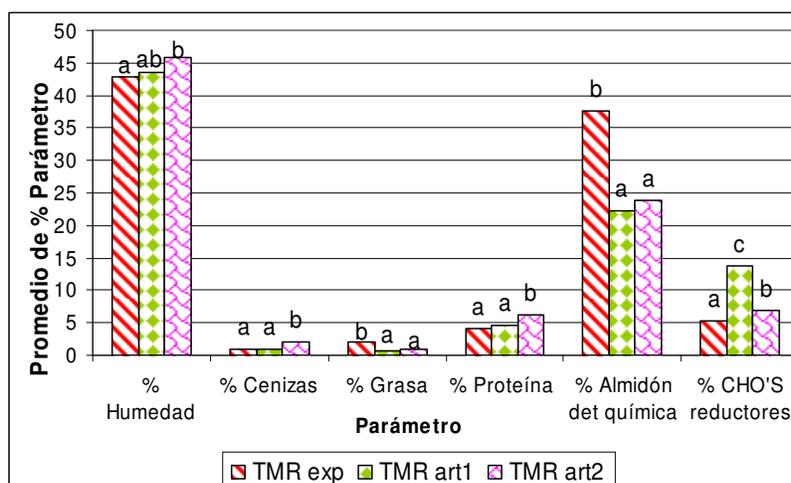


Gráfico 10. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en tortillas de maíz rojo

** a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa

*** TMR art 1= Tortilla de maíz roja artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz roja artesanal 2; TMR exp= Tortilla de maíz roja experimental.

12.10 Análisis fisicoquímico de Tortillas de maíz blanco

Con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre tortillas blancas experimentales y tortillas blancas comerciales, se analizaron los datos de manera conjunta, los cuales se presentan en la **Tabla 20 y Gráfico 11**. Los resultados muestran que entre las tortillas de maíz blanco experimental (TMB exp), Tortillas Milpa Real (TMR), y tortillas de Superama (TS), no hubo diferencia estadísticamente significativa en el contenido de humedad, sin embargo, las tortillas Milpa Real Nixtamalizadas (TMRN) y Tortillas Blancas de Wal Mart (TWMB) presentaron el mayor contenido

de humedad (51.19% y 50.27% respectivamente), mientras que la muestra de la tortillería fue la que presentó menor contenido de humedad (44.0%). Este agrupamiento de muestras de tortillas podría indicar que la producción a nivel industrial (en el caso de TMR₁ y TMRN) así como también en tortillas elaboradas en los autoservicios (TS, TWMB) se elaboraron bajo condiciones controladas durante el proceso de nixtamalización y que la cantidad de agua adicionada durante la elaboración de la masa fue similar.

Tabla 20. Cuadro del Análisis Fisicoquímico en Tortilla de maíz blanco

MUESTRA	% Humedad	% Cenizas	% Grasa	% Proteína	% Almidón det química	% CHO'S reductores
TMR	45.24+0.49	1.07+0.0002	0.89+0.22	4.27+0.08	33.66+0.01	10.29+0.003
TMRN	51.19+0.54	0.86+0.0004	0.68+0.09	4.41+0.25	35.18+0.002	6.82+0.003
TWMB	50.27+0.36	0.63+0.01	1.02+0.01	3.89+0.07	26.49+0.05	8.14+0.003
TS	44.0+0.99	1.09+0.02	1.08+0.11	4.82+0.11	31.74+0.002	10.50+0.001
TSD	47.94+0.44	1.30+0.03	0.94+0.15	4.21+0.32	31.67+0.003	7.35+0.002
TMB exp	45.16+0.16	0.84+0.001	1.95+0.24	4.6+0.37	39.23+0.02	7.35+0.001

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortillas. Los datos de estos resultados se muestran en las Tablas contenidas en el **Anexo I**

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

***TMB esp_x= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS=Tortilla de Superama; TSD=Tortilla de Santo Domingo.

En el **Gráfico 11** se muestra que sólo la muestra TMB exp (tortilla de maíz blanco experimental) presentó un mayor porcentaje de grasa, sin embargo se observan diferencias estadísticamente significativas entre las muestras en contenidos de cenizas, proteína, almidón y carbohidratos reductores.

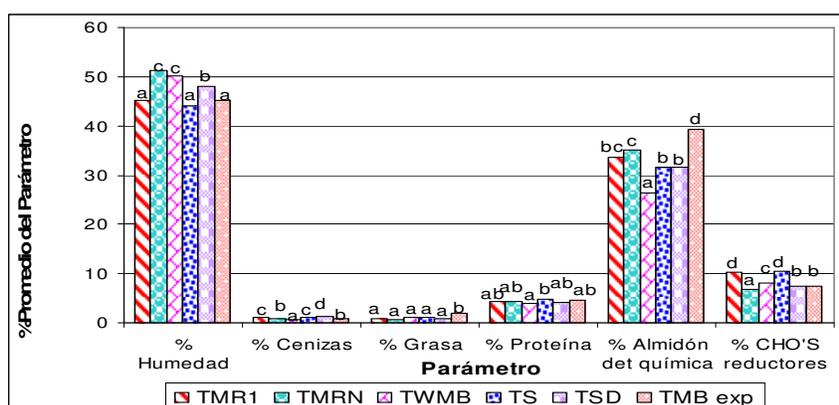


Gráfico 11. Diferencia entre parámetros fisicoquímicos en tortillas de maíz blanco

* Características con distintos letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** TMB esp_x= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS=Tortilla de Superama; TSD=Tortilla de Santo Domingo.

Es importante hacer notar que el proceso de nixtamalización tienen una influencia marcada en las características fisicoquímicas de las tortillas ya que las muestras de tortilla Milpa Real nixtamalizada (TMRN) y sin nixtamalizar (TMR) solo fueron iguales en el contenido de grasa y proteína, no siendo así en el resto de los parámetros.

12.11 Extracción de pigmentos (antocianinas) en maíz, masa y tortillas rojas y azules

Las tortillas azules y rojas experimentales se prepararon a partir de maíces azules y rojos respectivamente, los colores de estas variedades de maíz provienen de las antocianinas¹. Con pH ácido las antocianinas son muy estables, pero esta estabilidad se reduce cuando el pH se aproxima a la neutralidad, llegando a destruirse completamente con pH superior a 7 (Brouillard, 1982); sin embargo, las antocianinas de tipo acilado, como la petanina son más estables, y conservan su color característico con pH alcalino (Fossen et al., 1998).

Con el objetivo de determinar el efecto que provoca el proceso de nixtamalización sobre las antocianinas del grano de maíz, hasta el producto final (tortilla), se realizó un estudio comparativo entre masas y tortillas experimentales, artesanales y comerciales, corroborando de esta manera, en el caso de las tortillas artesanales y comerciales (TWMA), si el color de estas muestras correspondió al color natural del pigmento del maíz.

En la **Tabla 21** se presentan los promedios por muestra analizada, se observó que la variedad de maíz azul fue la que presentó la concentración más alta de antocianinas, siendo ésta de 78.4 ppm, seguida del maíz rojo de (68.65 ppm). La evaluación estadística de los datos mostró que si existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras de maíz azul y rojo (**Gráfico 13**). En las **Figura 24 y 25** se pueden observar las muestras de maíz azul y rojo, de los cuales se obtuvieron los pigmentos (antocianinas) mediante 3 extracciones sucesivas con metanol acidificado.



Figura 24. Maíz azul



Figura 25. Maíz rojo

¹ Antocianinas: Compuestos fenólicos del grupo de los flavonoides. Su fórmula básica esta conformada por dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbono (Gross, 1987).

En el **Gráfico 12** se muestra la concentración en ppm de maíz, masa y tortilla roja y azul. Los resultados muestran que las tortillas experimentales son las que obtuvieron una mayor concentración de pigmentos (44.57ppm), seguidas por las de Wal Mart (31.56ppm), de las cuales durante la extracción del pigmento se obtuvo un extracto rojo cereza (**Figura 26**), parecido al tono del pigmento obtenido del maíz azul (**Figura 27**) y tortilla azul experimental (**Figura 28**). Además se analizó harina de un Autoservicio (**Figura 29**) a partir de la cual se elaboran tortillas de color azul; encontrándose una concentración de pigmentos de 28.30ppm (**Tabla 21**), concentración similar a lo obtenido en las tortillas que se distribuyen en la Cadena Wal Mart. Es importante mencionar que para la tortilla azul artesanal 1 se obtuvo una absorbancia menor a cero, es decir que la concentración de éstos pigmentos esta por debajo de 5 ppm (dato proveniente de la curva patrón de pelargonidina) (**Tabla 21 y Gráfico 11**), este valor podría indicar que en estas muestras de tortillas hechas por una persona de la Delegación Coyoacán, el color puede provenir de algún colorante artificial y no del pigmento natural del maíz, esto se confirmó al observar el pigmento obtenido de esta muestra (**Figura 30**), además, si se observa esta tortilla, **Figura 31**, a simple vista presento una coloración azul diferente al resto de las muestras estudiadas.



Figura 26. Pigmento de Tortilla azul de Walt Mart

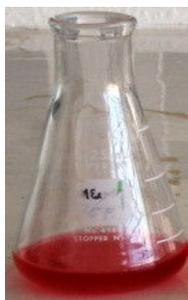


Figura 27. Pigmento de maíz azul



Figura 28. Pigmento de Tortilla azul experimental



Figura 29. Pigmento de harina azul

Por otro lado la tortilla azul artesanal 2, tuvo una concentración de 8.63ppm, concentración muy baja comparada con la tortilla azul experimental **Figura 32**



Figura 30: Pigmento Tortilla azul Artesanal 1



Figura 31: Pigmento Tortilla azul Artesanal 1



Figura 32. Tortilla azul Experimental

Estudios conducidos por Salinas et al. (2003) indicaron que las antocianinas encontradas en maíz azul provienen de la cianidina y de la malvidina, mientras que en el maíz de grano rojo provienen de la pelargonidina, cianidina y malvidina, sin embargo Jackman y Smith (1996) encontraron cianidinas aciladas, cíclicas, acíclicas y el 3-glucósido de la pelargonidina y de la peonidina, en maíz azul, por estas razones la cuantificación de estos pigmentos se realizó con ayuda de una curva patrón de pelargonidina clorada.

En la **Tabla 21** y en el **Gráfico 12**, se muestran los contenidos de antocianinas en maíz, masa y tortillas azules y rojas. Los resultados muestran que el contenido de estos pigmentos disminuye de manera notable durante el proceso de nixtamalización, es decir, que durante el proceso se destruye una concentración significativa, dado que en la masas la concentración de antocianinas fue menor, en comparación con la concentración que presentaron las dos variedades de maíz.

Tabla 21. Promedios de la concentración de antocianinas (ppm), en maíz masa y tortillas

Muestra	ppm antodocianias
Maíz azul	78.39
MMA exp	46.43
MMA art1	0
MMA art2	6.00
Harina azul	28.30
TWMA	31.56
TMA exp	44.57
TMA art1	0
TMA art2	8.63
Maíz rojo	68.65
MMR exp	15.57
MMR art1	6.92
MMR art2	7.29
TMR exp	24.82
TMR art1	13.03
TMR art2	5.15

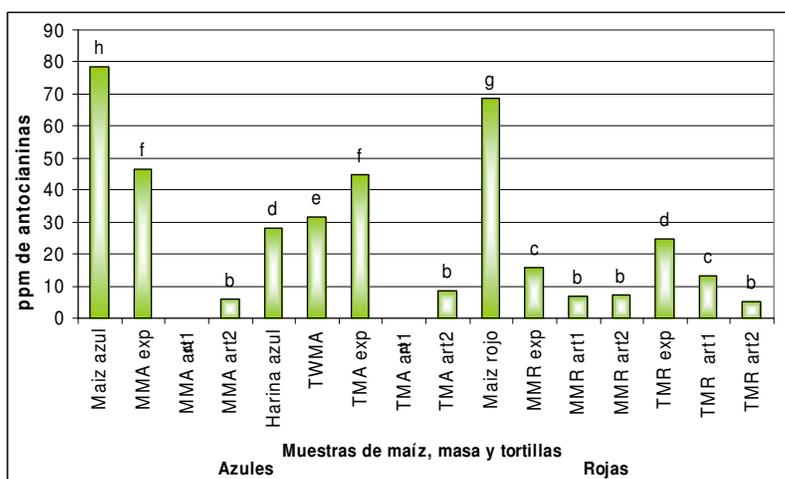


Gráfico 12. Gráfica comparativa en la concentración en ppm de Antocianinas en maíz, masa y tortillas
*Esta grafica se obtuvo a partir de las concentraciones promedio de cada muestra,

En **Tabla 21a** y en el **Gráfico 12a** se muestran los contenidos de antocianinas en maíz, masa y tortillas azules. Estos resultados indicaron diferencia estadísticamente significativa en todas las muestras de color azul (maíz, masa, tortilla), es decir, el maíz es la muestra que presentó el contenido de antocianinas más alto (78.39 ppm). La representación del **Gráfico 12a** muestra que entre masa azul y tortillas azules existe diferencia estadísticamente significativa en el contenido de antocianinas siendo menor en las tortillas a excepción de la muestra TMA art 2 donde se observa un incremento en el contenido de antocianinas.

Tabla 21a. Promedios de la concentración de antocianinas (ppm), en maíz masa y tortillas Azules

Muestra	Concentración de antocianinas (ppm)	Muestra de tortilla	Concentración de antocianinas (ppm)
Maíz azul	78.40		
MMA exp	46.43	TMA exp	44.58
MMA art1	0.00	TMA art1	0.00
MMA art2	6.00	TMA art2	8.64
Harina azul	28.30		
TWMA	31.56		

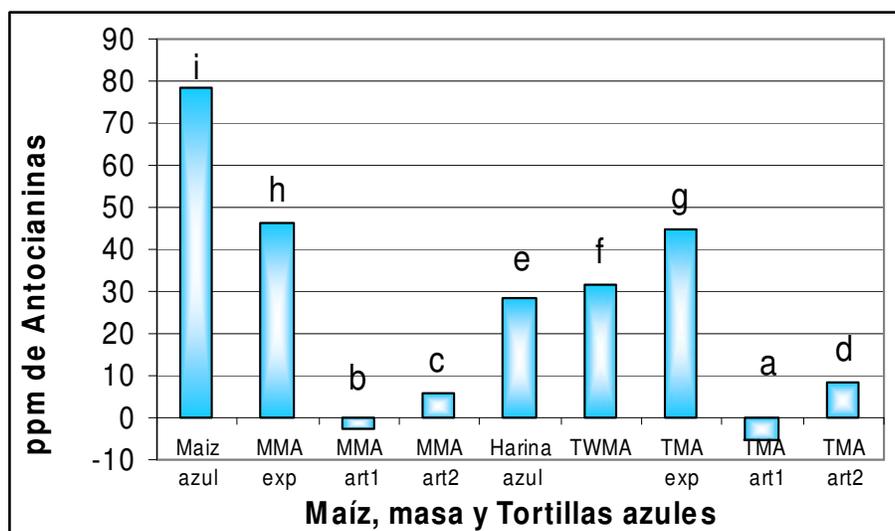


Gráfico 12 a. Gráfica comparativa en la concentración en ppm de Antocianinas en maíz, masa y tortillas Azules

*Esta grafica se obtuvo a partir de las concentraciones promedio de cada muestra, expresada

En el caso de maíz, masa y tortillas rojas, se obtuvo una tendencia similar a las muestras azules (**Gráfico 12b y Tabla 21b**), encontrándose nuevamente que el maíz presentó el mayor contenido de antocianinas. En el caso de las muestras experimentales, se obtuvo una tendencia ascendente en el contenido de antocianinas de la masa a la tortilla, así como en la muestra MMR art 1, este fenómeno se atribuye posiblemente al tratamiento térmico (temperatura de cocción de la tortilla) que deja más expuestas las moléculas de antocianinas facilitando su extracción. Por otra parte, no se obtuvo diferencia estadísticamente significativa en el contenido de este pigmento en la masa artesana 1 y artesanal 2, sin embargo se observa una pérdida en la tortilla elaborada con la masa art 2.

Tabla 21 b. Promedios de la concentración de antocianinas (ppm), en maíz masa y tortillas Rojas

Muestra	Concentración de antocianinas (ppm)	Muestra	Concentración de antocianinas (ppm)
Maíz rojo	68.6509		
MMR exp	15.5774	TMR exp	24.8266
MMR art1	6.9232	TMR art1	13.0342
MMR art2	7.2934	TMR art2	5.1549

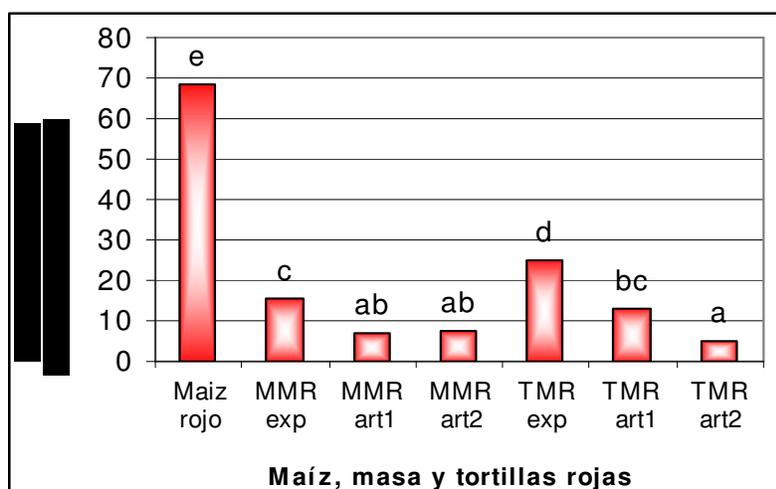


Gráfico 12 b. Gráfica comparativa en la concentración en ppm de Antocianinas en maíz, masa y tortillas rojas

*Esta gráfica se obtuvo a partir de las concentraciones promedio de cada muestra, expresada en ppm

Sin embargo los resultados parecen indicar que la transformación de masa en tortilla no afecta los pigmentos, ya que no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre ambas **Gráfico 13**).

En el caso de las tortillas de maíz rojo, la Tortilla experimental fue la que presentó una mayor concentración de antocianinas, seguida de la tortilla roja artesanal 1 y finalmente la tortilla roja artesanal 2, obteniendo concentraciones de 24.83 ppm, 13.03 ppm y 5.15 ppm respectivamente. El color de los extractos para la cuantificación de las antocianinas se muestra en las **Figuras 33, 34 y 35**.



Figura 33. Pigmento Tortilla Roja experimental



Figura 34. Pigmento Tortilla Roja art 1



Figura 35. Pigmento Tortilla Roja art 2

Al realizar el análisis estadístico con un nivel de significancia del 99%, se obtuvo que la concentración de estos pigmentos no varió de la masa a la tortilla, es decir, no hay diferencia estadísticamente significativa (**Gráfico 13**).

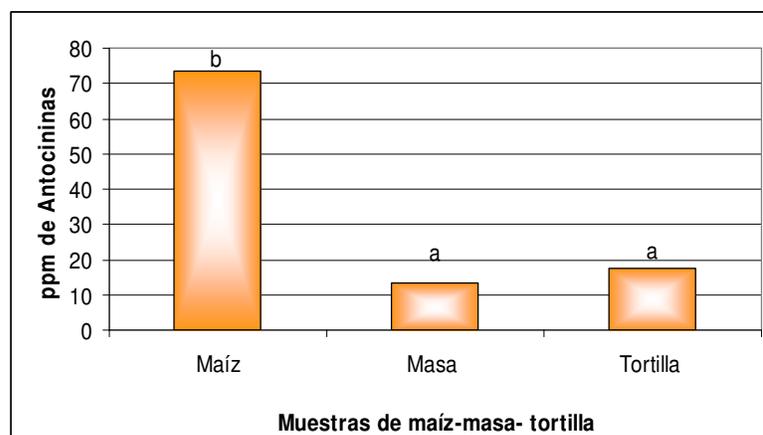


Gráfico 13. Diferencia entre el contenido de antocianinas (ppm) en maíz, masa y tortillas
 *_{a,b} Características con distintos letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

Sin embargo cabe destacar que las muestras provenientes de maíz azul, incluso este mismo, contienen una mayor concentración de antocianinas, comparadas con las muestras provenientes de maíz rojo (Tabla 22)

Tabla 22. Cuadro comparativo de la concentración de antocianinas

Muestras	Concentración de antocianinas (ppm) en masa	Concentración de antocianinas (ppm) en tortillas
roja exp	15.5774	24.8266
rojo art1	6.9232	13.0342
rojo art2	7.2934	5.1549
azul exp	44.5771	46.432
azul art1	-5.0254	-2.4332
azul art2	6.0033	8.6372

Esta variabilidad en las concentraciones de muestras azules y rojas, se atribuye al proceso de nixtamalización, ya que durante éste hay destrucción de estos pigmentos, siendo mayor esta destrucción en muestras provenientes de maíz rojo.

Cabe destacar que Brouillard (1982) y Delgado-Vergas et al. (2000) demostraron que cuando se usa hidróxido de calcio e incremento de temperatura se favorece la formación del Chalcon, dando por resultado pérdida de color, a este fenómeno se atribuye la pérdida de color del maíz crudo a la masa y tortilla.

13. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE COLOR

13. MEDICIÓN DE COLOR

De acuerdo a las condiciones establecidas para la medición de color, se realizó el análisis gráfico de color CIE $L^* a^* b^*$ para evaluar el comportamiento de los ejes de color reflejados por las muestras en función de las diferencias en el proceso de nixtamalización.

Los ejes CIE $L^* a^* b^*$ pueden ser observados en la **Figura 36** en ésta se puede observar que $+a^*$ esta en dirección hacia los tonos rojo, $-a^*$ esta en dirección hacia tonos verde, $+b^*$ esta en dirección hacia tonos amarillos y $-b^*$ esta en dirección hacia tonos azules.

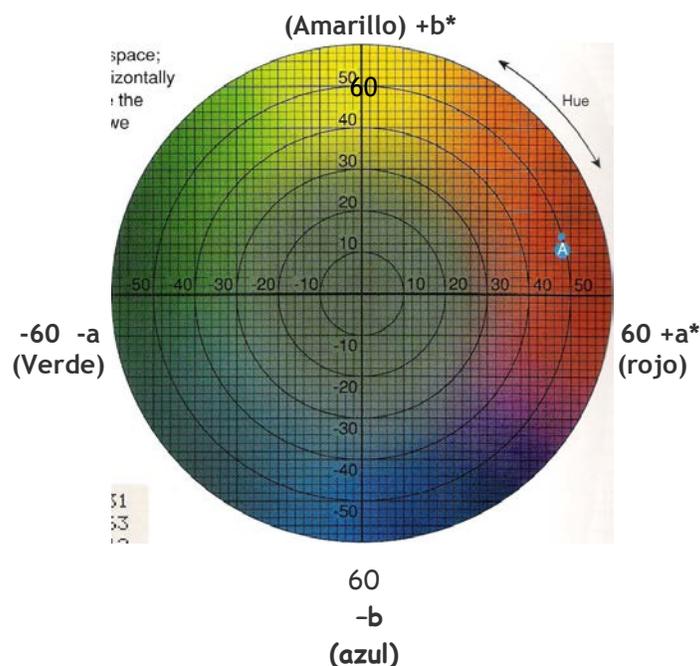


Figura 36. Diagrama de cromaticidad a^* , b^*

Fuente. Manual Konica Minolta. Precise color communication. Color control from perception to instrumentation. The essentials of imaging

Para el tratamiento de los resultados instrumentales de color se realizó un análisis de varianza mediante la aplicación de la F de Snédecor para un factor, y para t niveles, éste se llevó a cabo empleando el Software “STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1 para Windows”, utilizando un nivel de confianza de 99% y $\alpha=0.01$, a una vía, para identificar si existía diferencia entre las muestras en función de las variables de color en estudio.

En los casos en que el ANOVA mostró diferencia significativa; se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference) para determinar entre que muestras se presentaban diferencias estadísticamente significativas.

13.1 COLOR EN MUESTRAS DE MAÍZ BLANCO

13.1.1 Diferencia de color entre maíz crudo y maíz nixtamalizado

Con el objetivo de confirmar que en el proceso de nixtamalización, la concentración de cal es un factor determinante en el color del producto final, se realizó la medición del color en maíz crudo y maíz nixtamalizado, obteniendo para el sistema CIE $L^*a^*b^*$, que en el atributo L^* (luminosidad) no existe diferencia estadísticamente significativa entre maíz crudo y nixtamalizado con un nivel de significancia del 99%, además el valor de L^* está por arriba de 60, esto indica que ambas muestras presentan un color claro (**Gráfico 14**). En el atributo a^* sí se encontró diferencia estadísticamente significativa entre maíz crudo (MZ C) y maíz nixtamalizado (MZ NXT), siendo el maíz crudo el que presentó un valor más alto para a^* , indicando que tiende más hacia tonos rojos en comparación con el MZ NXT. Para el atributo b^* también se encontró diferencia estadísticamente significativa entre ambas muestras, siendo el MZ NXT el que presentó una mayor tendencia hacia tonos amarillos. Esto quiere decir que el MZ NXT tiende a tonos menos rojos y más amarillos, mientras que en el MZ C pasa lo contrario, es decir tiende a tonos más rojos y menos amarillos. El sistema Hunter Lab mostró las mismas diferencias. Estos resultados indican que el color de la materia prima para la elaboración de tortillas se ve afectado por el proceso de nixtamalización (básicamente la concentración de cal y la alta temperatura de cocción) aumentando el color hacia tonos amarillos.

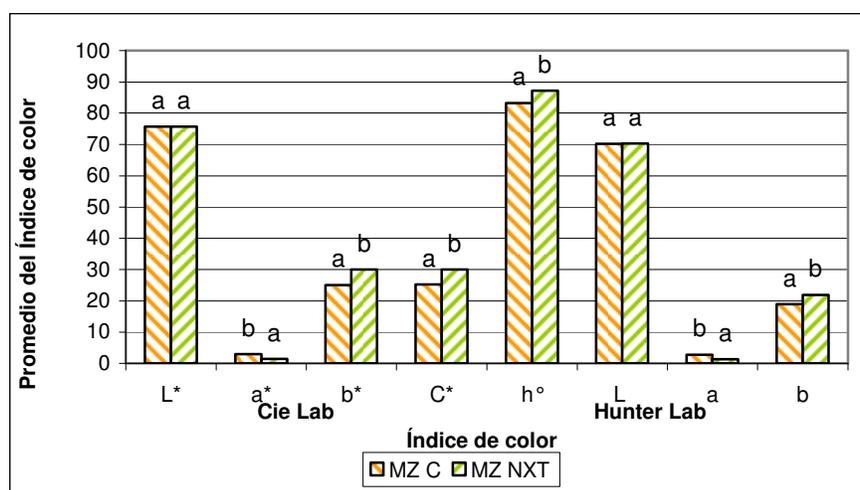


Gráfico 14. Atributos de color evaluados para maíz blanco crudo y maíz blanco nixtamalizado

* *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

****Las muestras evaluadas fueron: MZ C= maíz crudo; MZ NXT= maíz nixtamalizado

13.1.2 Atributos de color en la cara externa e interna de tortillas de maíz blanco

En el **Gráfico 15** se muestran los resultados de la evaluación de color de tortillas de maíz blanco, observándose que no existe diferencia significativa entre la cara interna y la cara externa de las tortillas, estos resultados fueron los esperados, ya que no se ha reportado que el tratamiento térmico de la tortilla afecte el color de sus caras (interna y externa). En general, para todos los atributos de color no existió diferencia significativa en el color de la cara externa e interna, sin embargo cabe resaltar que las tortillas presentaron un color claro, dado que $L^* > 60$, y una tendencia mínima hacia tonos rojos (a^*) y alta hacia los tonos amarillos.

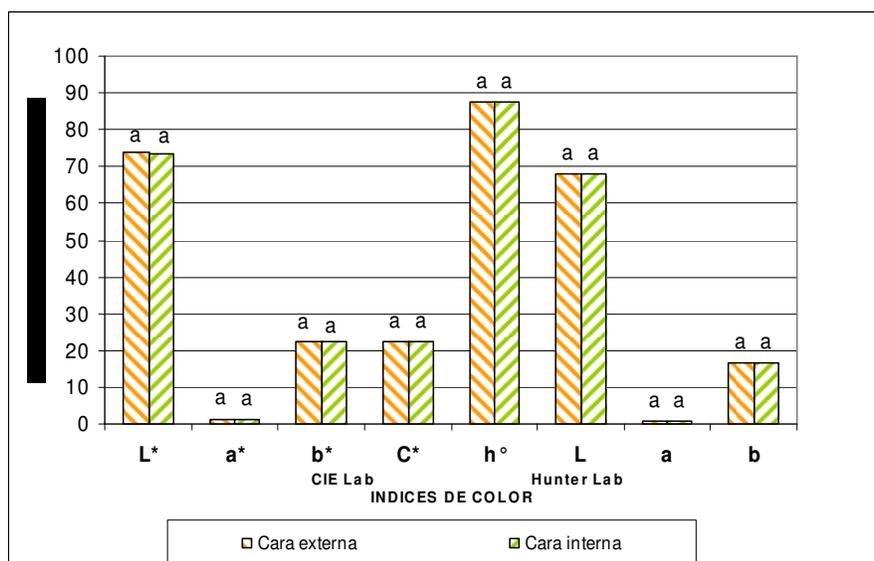


Gráfico 15. Atributos de color evaluados en la cara externa e interna en tortillas de maíz blanco

*Resultados obtenidos mediante un análisis de varianza con un LSD=99%

**Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

13.1.3 Atributos de color entre tortillas de maíz blanco (experimentales y comerciales)

En el **Gráfico 16** se observa que tanto las muestras experimentales como las comerciales se encuentran en un rango de L^* entre 75 y 77, observándose que los valores de L^* para las Tortillas de Wal Mart (TWMB) y Tortillas Milpa Real (TMR) presentaron un color más claro, mientras que para las Tortillas de la tortillería de Santo Domingo (TSD), Milpa Real Nixtamalizada (TMRN) y de Superama (S) presentaron un color más oscuro. Los valores encontrados concuerdan con lo

reportado por Sefa-Dedeh (2003) quien encontró un valor de L^* de 75.24 para tortillas de maíz blanco donde la nixtamalización del maíz se realizó con 1% de cal (Sefa-Dedeh, 2003).

Los resultados del sistema CIE $L^*a^*b^*$ mostraron que no existe diferencia significativa entre los tonos rojos (a^*) de TWMB, TS y TMR1, mientras que para los tonos amarillos (b^*) no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las tortillas experimentales (TMB exp) y TMR1, así como también en TMRN y TS, siendo estas últimas las que presentaron una mayor tendencia a tonos amarillos.

Cabe mencionar que las tortillas experimentales obtuvieron valores negativos en el atributo a^* , es decir que tendieron hacia tonalidades verdes.

El sistema Hunter Lab mostró las mismas diferencias que el sistema CIE $L^*a^*b^*$.

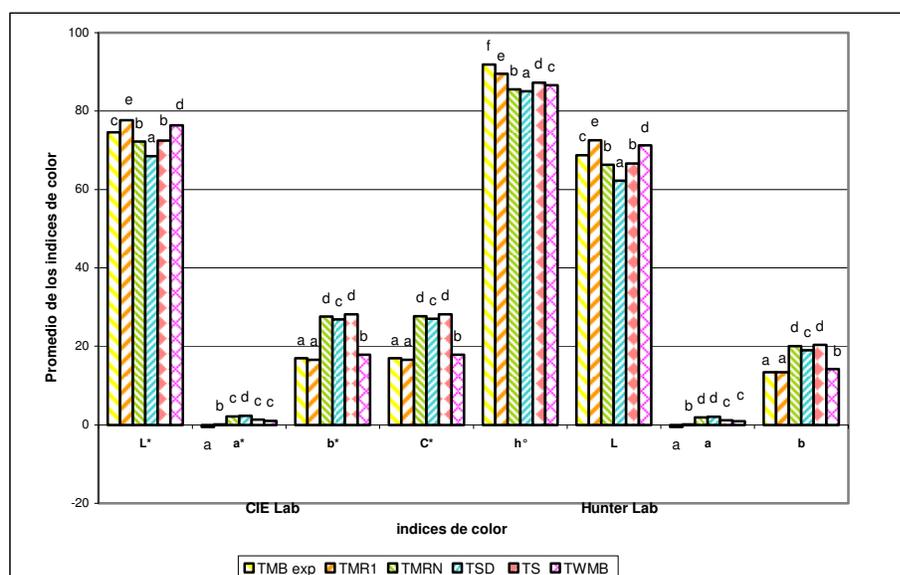


Gráfico 16. Atributos de color evaluados tortillas de maíz blanco (experimentales y comerciales)

* *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

****TMB exp= tortilla blanca experimental; TMR1= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TSD= tortilla de una Tortillería de Santo Domingo; TWMB= Tortilla blanca de walt Mart

En el **Gráfico 16**, se muestran los valores de b^* los cuales variaron entre 16.56 a 28.3, tendiendo a un color amarillo. Entre las muestras evaluadas, las tortillas Milpa Real, presentaron el valor más bajo de $b^*=16.56$ y fueron significativamente diferentes a las tortillas de Santo Domingo, Milpa Real nixtamalizada y Superama, siendo éstas últimas las que presentaron una mayor concentración de color amarillo.

Martínez-Bustos (2001), reporta valores de b^* que oscilan de 17.46 a 23.87 para tortillas de maíz nixtamalizado sometidas a diferentes cantidades de agua de lavado, obteniendo el valor más alto cuando utilizó únicamente dos lavados para el nixtamal y el valor más bajo, cuando se lavo el nixtamal con un exceso de agua.

El sistema Hunter y el sistema CIE arrojaron resultados similares.

En el estudio de “Effect of the components of maize on the quality of masa and tortillas during the traditional nixtamalisation process” (Martínez-Bustos, 2001), se reporta que el valor de a^* varía de 0.2 a 1.49 para tortillas de maíz blanco, mientras que en los valores obtenidos en este estudio la variación fue mayor de -0.5 a 2.6, esta variación se pudo deber a las diferentes condiciones utilizadas durante el proceso de nixtamalización, así como también el tipo de maíz utilizado. Además los resultados encontrados en este estudio podían indicar que el proceso de lavado del maíz varió entre las distintas muestras.

Los cambios de color en las tortillas se atribuye a la cantidad de cal retenida durante el lavado del nixtamal (Martínez-Bustos, 2001). Los valores de a^* se deben también a la presencia de los pigmentos del maíz, que son carotenoides y flavonoides y que proporcionan un color rojo, naranja o amarillo. Sin embargo, es conocido que las pequeñas cantidades de carotenoides ($\sim 1\%$), esencialmente xantofilas, presentes en el pericarpio no explica la coloración amarillenta característica en las tortillas.

Los pigmentos presentes en el pericarpio son glucósidos tipo flavonoides, que en un medio neutro tiene la estructura del flavón (el cual es incoloro), bajo la acción de un medio alcalino el flavón adquiere la estructura del flavonol (de color amarillento) debido a la sustitución de grupos hidróxil en sus anillos (Harborne, 1975).

13.1.4 Atributos de color en maíz crudo-maíz nixtamalizado-masa y tortillas

Con el objetivo de ver la variabilidad de color desde la materia prima hasta el producto final, se realizó una comparación en todos los atributos de color, para los dos sistemas utilizados, los resultados se muestran en el **Gráfico 17** donde se observa que los valores de L^* resultaron estar por arriba de 60, lo cual indica que el maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortilla, presentaron un tono claro, no encontrándose diferencia significativa entre el maíz crudo y el maíz nixtamalizado, mientras que la masa fue más clara que la tortilla.

En lo que respecta al atributo a^* , se obtuvo que entre el maíz nixtamalizado y las tortillas no existió diferencia significativa en las tonalidades rojas; mientras que para los tonos amarillos (b^*) todas las muestras fueron diferentes, siendo el maíz nixtamalizado el que tendió a tonos mas amarillos.

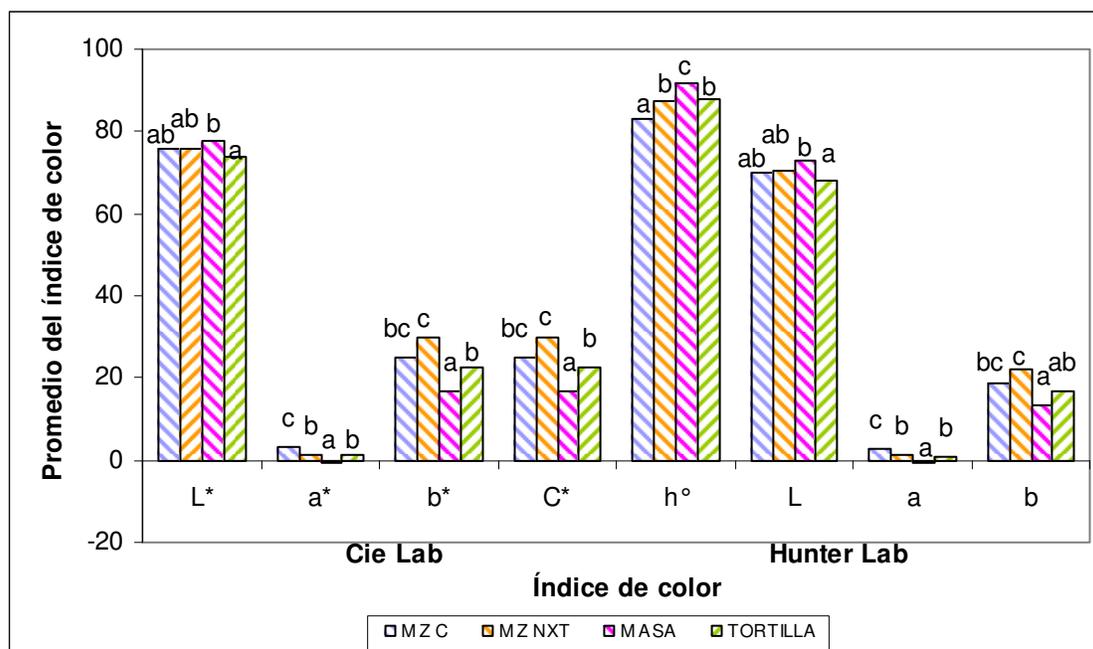


Gráfico 17. Atributos de color evaluados en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas
 * *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%
 ***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas
 ****MZ C= maíz crudo; MZ NXT=maíz nixtamalizado

13.2 COLOR EN MUESTRAS DE MAÍZ AZUL

13.2.1 Atributos de color en maíz azul crudo y maíz azul nixtamalizado

En el **Gráfico 18** se muestran los resultados donde se observa que el color del maíz crudo fue más claro que el color del maíz nixtamalizado, es decir presentó un valor mayor de L^* , estos resultados se podrían deber a que durante la nixtamalización el pH alcalino del agua de cocimiento provoca cambios en la estructura de las antocianinas, formándose nuevos compuestos coloridos.

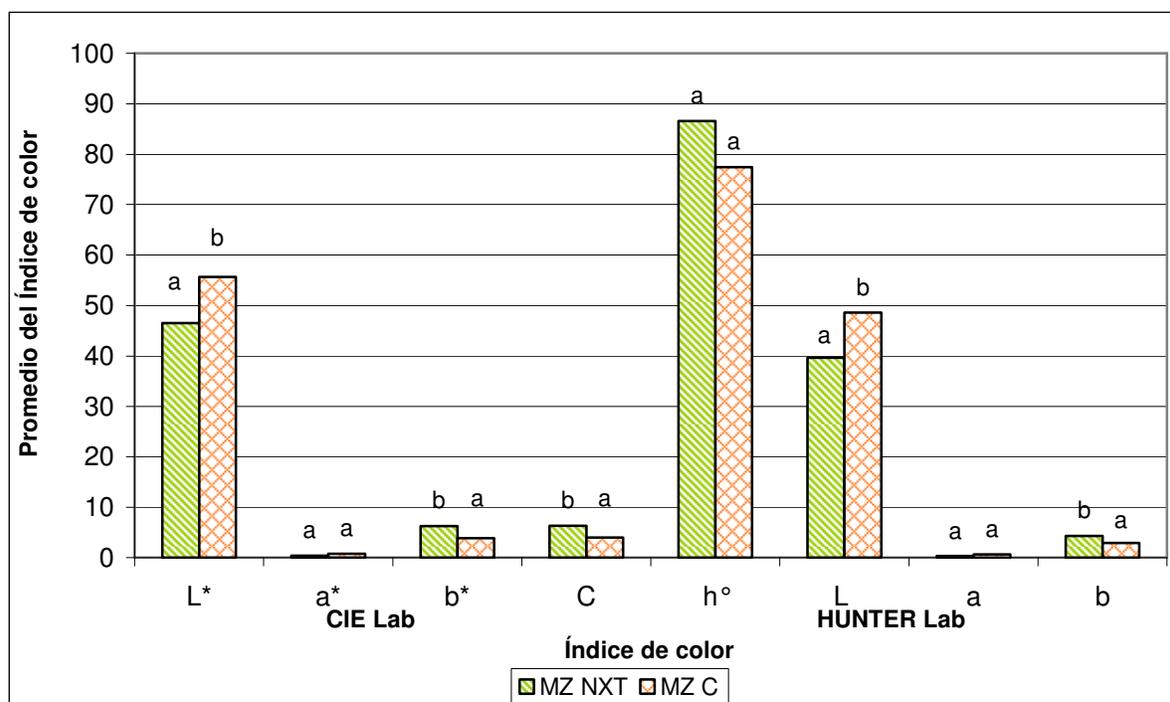


Gráfico 18. Atributos de color evaluados en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas

* *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

****MZ C= maíz crudo; MZ NXT=maíz nixtamalizado

En los tonos rojos (valores de a* positivos), no se encontró diferencia significativa entre las muestras.

13.2.2 Atributos de color en maíz azul nixtamalizado experimental, artesanal 1 y artesanal 2

Dado que la concentración de cal utilizada en el proceso de nixtamalización es un punto crítico en la obtención del color en maíz nixtamalizado, se realizó el estudio comparativo en tres diferentes condiciones de nixtamalización en maíz azul, en el cual se encontró que no existió diferencia significativa entre el maíz nixtamalizado experimental, el maíz nixtamalizado artesanal 1 y artesanal 2 en el atributo de L*, sin embargo el valor se encontró por debajo de 60, presentando estas muestras un color oscuro (**Gráfico 19**).

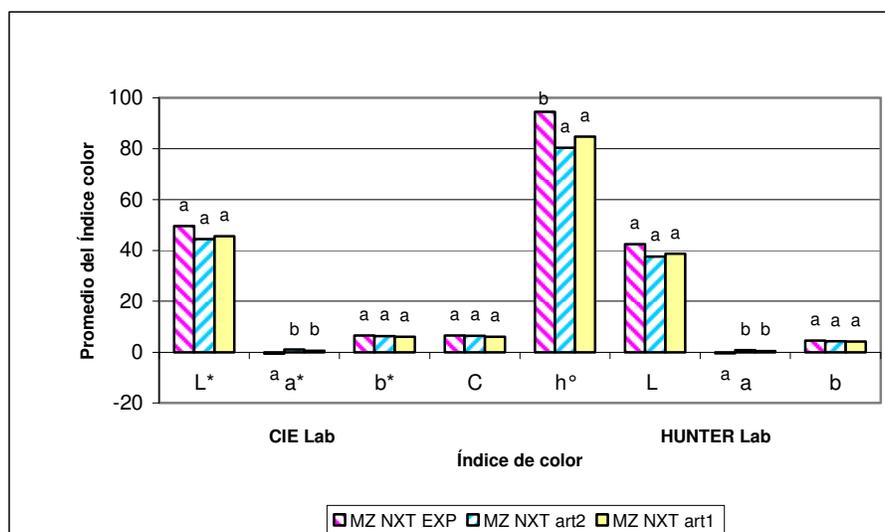


Gráfico 19. Atributos de color evaluados en maíz azul nixtamalizado

*Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

****MZ NXT exp= maíz nixtamalizado experimental; MZ NXT art 1=maíz nixtamalizado artesanal 1; MZ NXT art 2= maíz nixtamalizado 2

Tampoco se encontró diferencia significativa para los valores de b* (tonos amarillos) y C. La muestra de maíz nixtamalizado experimental (MZ NXT Exp) es el que presentó el menor valor de a* (tonos rojos).

13.2.3 Atributos de color en masa azul experimental, artesanal 1 y artesanal 2

Los resultados del estudio de color en las masas obtenidas del maíz azul nixtamalizado se muestran en el **Gráfico 20**, donde se observa que existe diferencia estadísticamente significativa en las muestras de masa para los valores de L*, siendo todos inferiores a 60, es decir, todas las muestras fueron oscuras; en los valores de a* (tonos rojos), las tres muestras de masa presentaron diferencia estadísticamente significativa, resaltando que la muestra de masa azul experimental obtuvo valores de a* negativos, esto indica que tiende a tonalidades verdes en lugar de tonos rojo. Por otra parte, se obtuvieron valores de b* (tonos amarillos) mayores para las muestras de masa artesanal 1 y 2, mientras que la masa azul experimental presentó valores de b* negativos, tendiendo a tonos azules. Estos resultados concuerdan con la concentración de antocianinas contenidas en las muestras de masa, dado que la masa azul experimental presentó una concentración de 46.43 ppm, la masa artesanal 1 una concentración menor a 5 ppm y finalmente en la masa artesanal 2 obtuvo una concentración de 6.0 ppm, es decir, que al tener la masa una mayor concentración de antocianinas, los valores de b* serán negativos y tenderán a tonos azules.

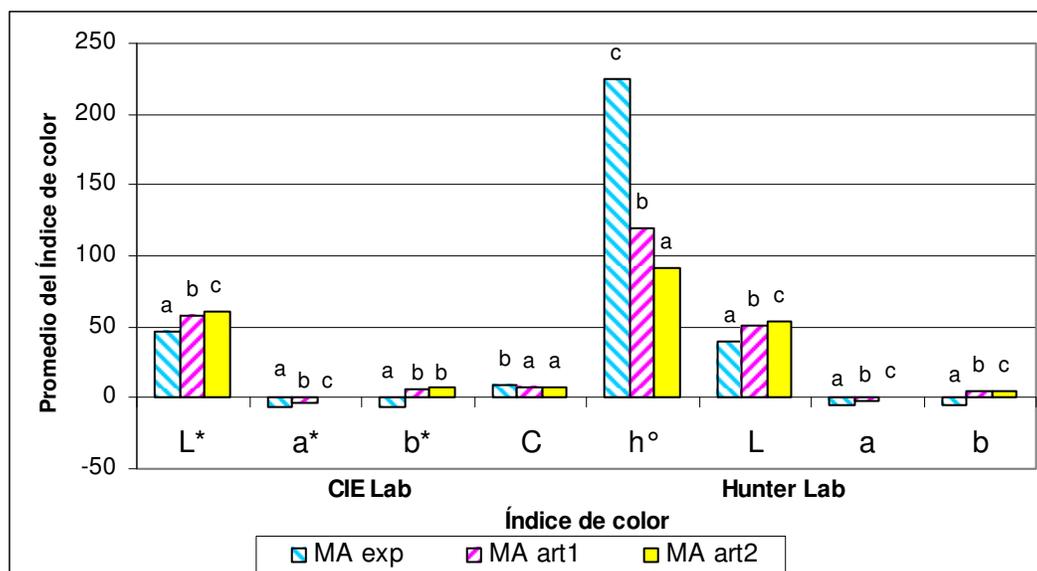


Gráfico 20. Atributos de color evaluados en masa azul

* *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

**** MA exp= masa azul experimental; MA arte 1= masa azul artesanal 1; MA arte 2= masa azul artesanal 2

Los valores del Croma (saturación de color), indican que hay una mayor saturación de color en las muestras de masa azul experimental.

13.2.4 Atributos de color en cara externa e interna en tortillas de maíz azul nixtamalizado

En el **Gráfico 21** se observa que no existe diferencia estadísticamente significativa entre cara externa e interna de las tortillas de maíz azul para ningún atributo de color, presentando las tortillas color oscuro, (L^* menor a 60). Los valores de a^* obtenidos fueron positivos, indicando que las tortillas tienden a tonos rojos. El sistema Hunter Lab mostró las mismas tendencias que el sistema Cie $L^*a^*b^*$

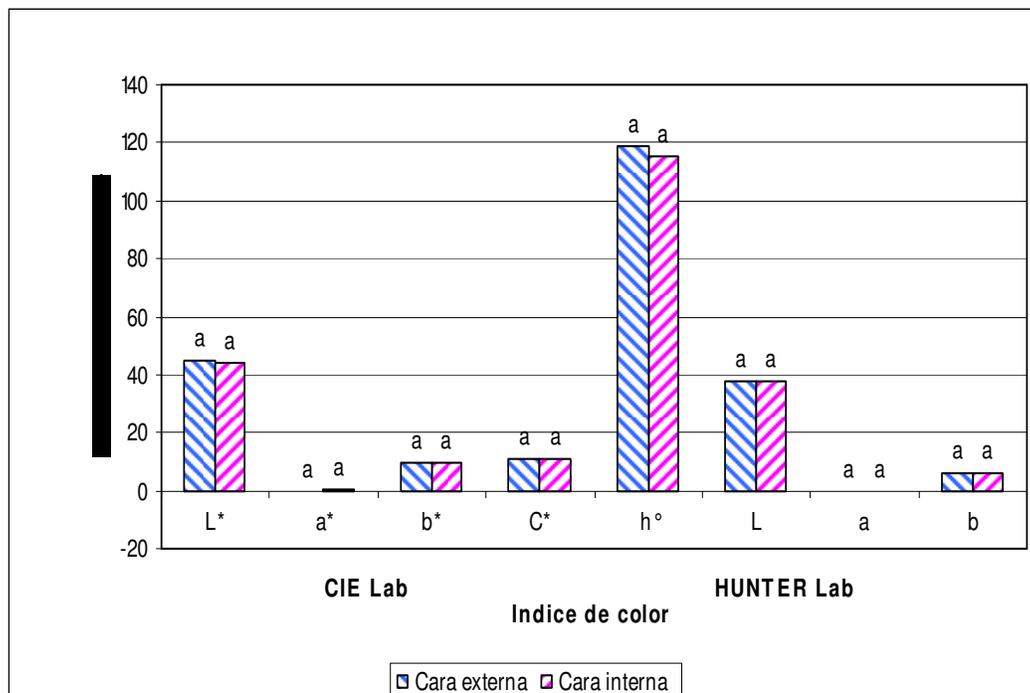


Gráfico 21. Atributos de color evaluados en cara externa e interna en muestras de tortillas azules
 **Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%
 ***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

13.2.5 Atributos de color en tortillas de maíz azul nixtamalizado

En el **Gráfico 22** se muestran los resultados de las tortillas de maíz azul. Entre todas las muestras de tortillas azules, los resultados muestran que existe diferencia estadísticamente significativa en todos los atributos evaluados. En el atributo L*, las Tortillas de Wal Mart (TWMA) fueron las que presentaron un color más claro y las experimentales el color más oscuro. Cabe mencionar que las tortillas de maíz azul experimental presentaron un valor negativo de a*, así como también éstas obtuvieron un valor negativo de b*, es decir que estas tortillas tienden a una tonalidad verde y azul respectivamente, esta tendencia en las tortillas experimentales fue la misma encontrada en la masa azul experimental, relacionándose de la misma manera con la concentración de antocianinas encontradas en las tortillas azules experimentales que fue de 44.57 ppm.

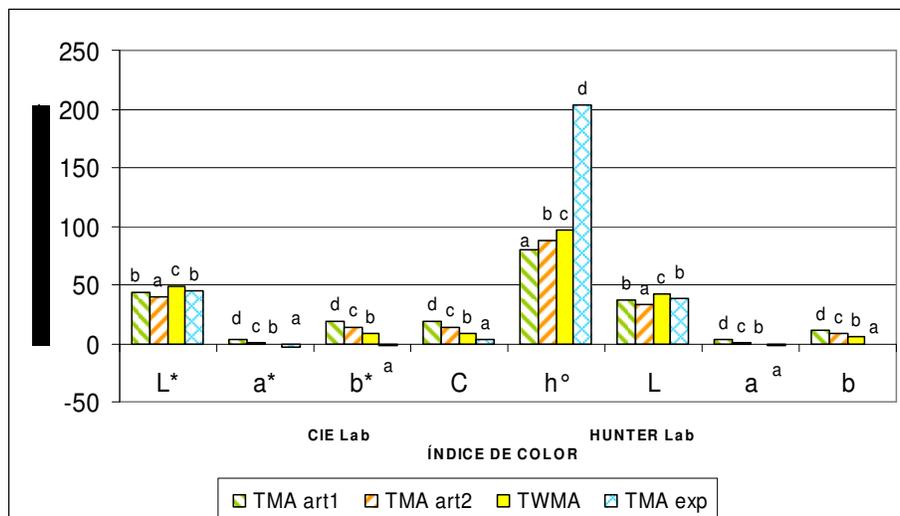


Gráfico 22. Atributos de color evaluados en muestras de tortillas azules

*a,b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

**Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

***TMA art1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMA art 2= tortilla de maíz azul artesanal 2; TWMA= Tortilla azul de Wal Mart; TMA exp= tortilla de maíz azul experimental.

Nuevamente se observa que el sistema Hunter Lab evalúa de manera similar que el sistema Cie L*a*b*.

13.2.6 Atributos de color en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas azules

Durante la hidrólisis alcalina, las antocianinas son los compuestos químicos más afectados, de tal manera que se destruyen gran cantidad de éstos debido a que durante la hidrólisis alcalina estos compuestos son sometidos a altas temperaturas, esto en conjunto con la cal provocan la destrucción de estos pigmentos, provocando una disminución en el color de las tortillas.

El **Gráfico 23** muestra la relación en los atributos de color. Se puede observar que existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras para los distintos atributos evaluados, y esto coincide en ambos sistemas de medida. La excepción es la luminosidad entre TMA art 1 y TMA exp. Este resultado podría suponer que tanto el maíz nixtamalizado como la tortilla al estar sometidas a temperaturas elevadas, el maíz durante el proceso de nixtamalización y la tortilla durante su cocción, el color azul se vuelve más oscuro, en comparación con el maíz crudo y la masa, aunque cabe señalar que la masa proviene del maíz nixtamalizado, pero para su obtención el maíz nixtamalizado se somete a una molienda, un amasado y un reposo, que provocan una estabilidad e inestabilidad de los pigmentos debido a los cambios de temperatura.

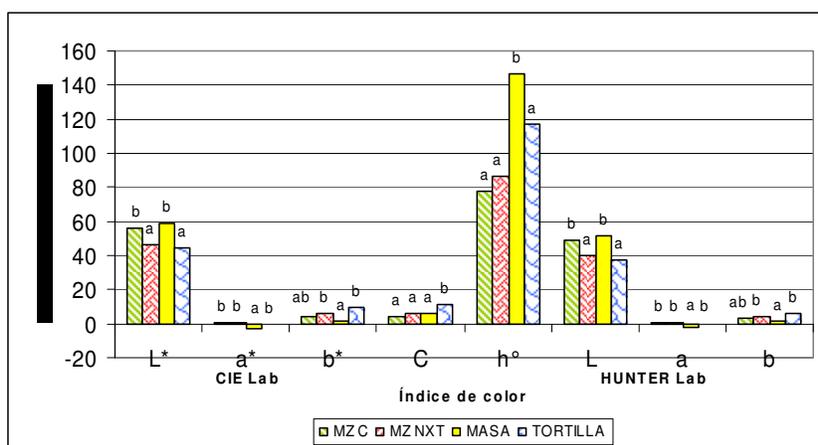


Gráfico 23. Atributos de color evaluados en muestras de maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas

* a,b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

**Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

***MZC= maíz crudo; MZ NXT= maíz nixtamalizado

Por otra parte, al evaluar la relación de color existente desde la materia prima hasta el producto final se observa que para el atributo a^* no existe diferencia estadísticamente significativa entre el maíz crudo, maíz nixtamalizado y tortillas inclinándose éstas a tonos rojos, mientras que la masa obtuvo una tendencia a tonos verdes (valores negativos de a^*), sin embargo para el atributo b^* (tonos amarillos), se obtuvo que entre el maíz nixtamalizado y la tortilla no existió diferencia estadísticamente significativa. El sistema Hunter Lab muestra las mismas tendencias que el sistema Cie $L^*a^*b^*$

13.3 COLOR EN MUESTRAS DE MAÍZ ROJO

13.3.1 Atributos de color en maíz rojo crudo y maíz rojo nixtamalizado

En el **Gráfico 24** se muestran las diferencias de color que existieron entre el maíz rojo crudo y el maíz rojo nixtamalizado, en el atributo L^* no existió diferencia estadísticamente significativa entre ambos maíces, de tal manera que estas muestras resultaron con un tono oscuro dado que L^* fue menor a 60, de la misma manera tampoco se encontró diferencia estadísticamente significativa entre estas muestras para los tonos rojos (a^*), pero sí para los tonos amarillos (b^*). La similitud del tono rojo se puede atribuir a que el pericarpio de maíz nixtamalizado adquiere un color amarillento por el proceso de hidrólisis y a que la medición de color en el maíz nixtamalizado se realizó con pericarpio, por lo tanto es lógico que los valores de b^* sean mayores en el maíz nixtamalizado.

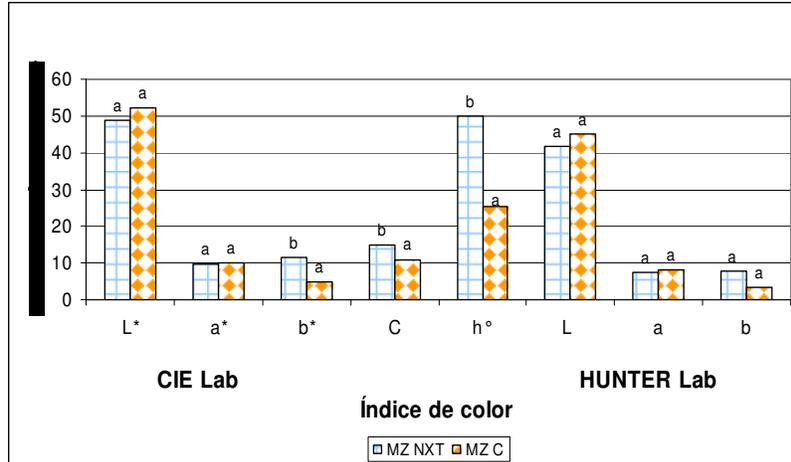


Gráfico 24. Atributos de color evaluados en muestras de maíz rojo crudo y maíz rojo nixtamalizado,
 * *Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%
 ***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas
 ****MZC= maíz crudo; MZ NXT= maíz nixtamalizado

13.3.2 Atributos de color en maíces rojos nixtamalizados

Los resultados del **Gráfico 25** mostraron que no existió diferencia estadísticamente significativa entre las tres diferentes muestras de maíz nixtamalizado en los valores de L* y b*, de tal manera que las tres muestras presentaron un color oscuro con la misma tendencia a tonos amarillos (valores positivos de b*), sin embargo era de esperarse que en la tendencia a tonos rojos (valores positivos de a*) fuera diferente para las tres muestras de maíz, la variación de la tendencia a los tonos rojos se debe básicamente a que las condiciones de nixtamalización (concentración de cal, tiempo de cocción y temperatura) no fueron las mismas, obteniendo de esta manera tonos rojos diferentes entre las tres muestras.

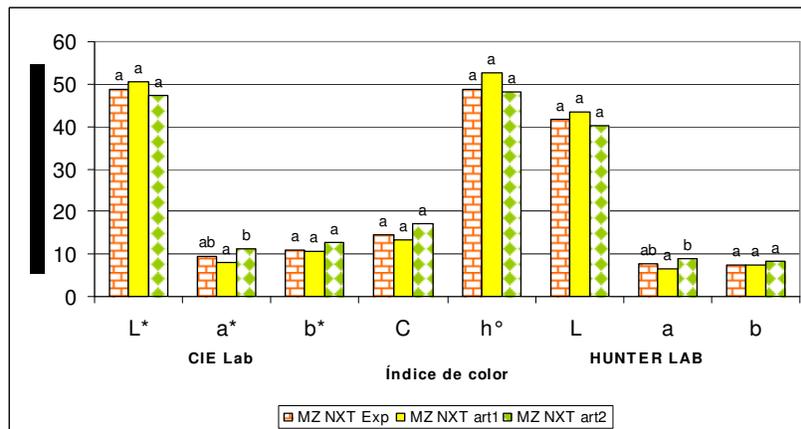


Gráfico 25. Atributos de color evaluados en muestras de maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas * a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%
 **Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas
 ***MZ NXT Exp= maíz nixtamalizado experimental; MZ NXT art1= maíz nixtamalizado artesanal 1; MZ NXT art2= maíz nixtamalizado artesanal 2

13.3.3 Atributos de color en masas de maíz rojo

Los resultados indicaron que de las tres muestras de masa presentaron un color oscuro en intensidades diferentes ($L^* > 60$), la masa experimental fue la que presentó una mayor tendencia a tonos rojos (a^*) y una menor tendencia a tonos amarillos (b^*), siendo las masas roja artesanal 1 y 2 las que presentaron una mayor tendencia hacia los tonos amarillos (**Gráfico 26**).

Los resultados obtenidos para a^* se relacionan con la concentración de antocianinas obtenidas de cada muestra, siendo la masa experimental la que presentó la mayor concentración de antocianinas (15.57 ppm), seguida de la masa artesanal 2 (7.29 ppm) y la masa artesanal 1 (6.92 ppm).

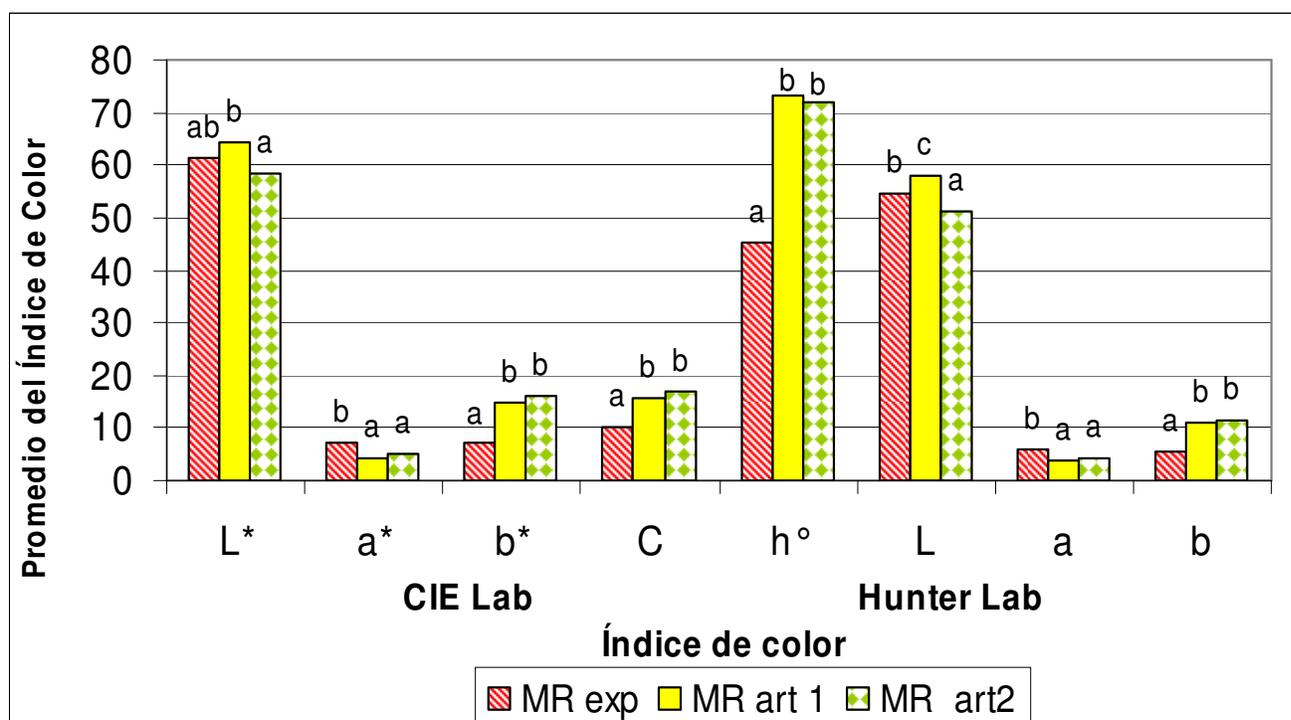


Gráfico 26. Atributos de color evaluados en muestras de masa roja

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

*** MR Exp= masa roja experimental; MR art 1= masa roja artesanal 1; MR art2= maíz roja artesanal 2

13.3.4 Atributos de color en tortillas de maíz rojo

Los resultados de color en las tortillas de maíz rojo se muestran en el **Gráfico 27**, en él se observa que las muestras fueron diferentes en todos los atributos de color, excepto las muestras TMR exp y TMR art 2 que presentaron igual tonalidad amarilla (b^*).

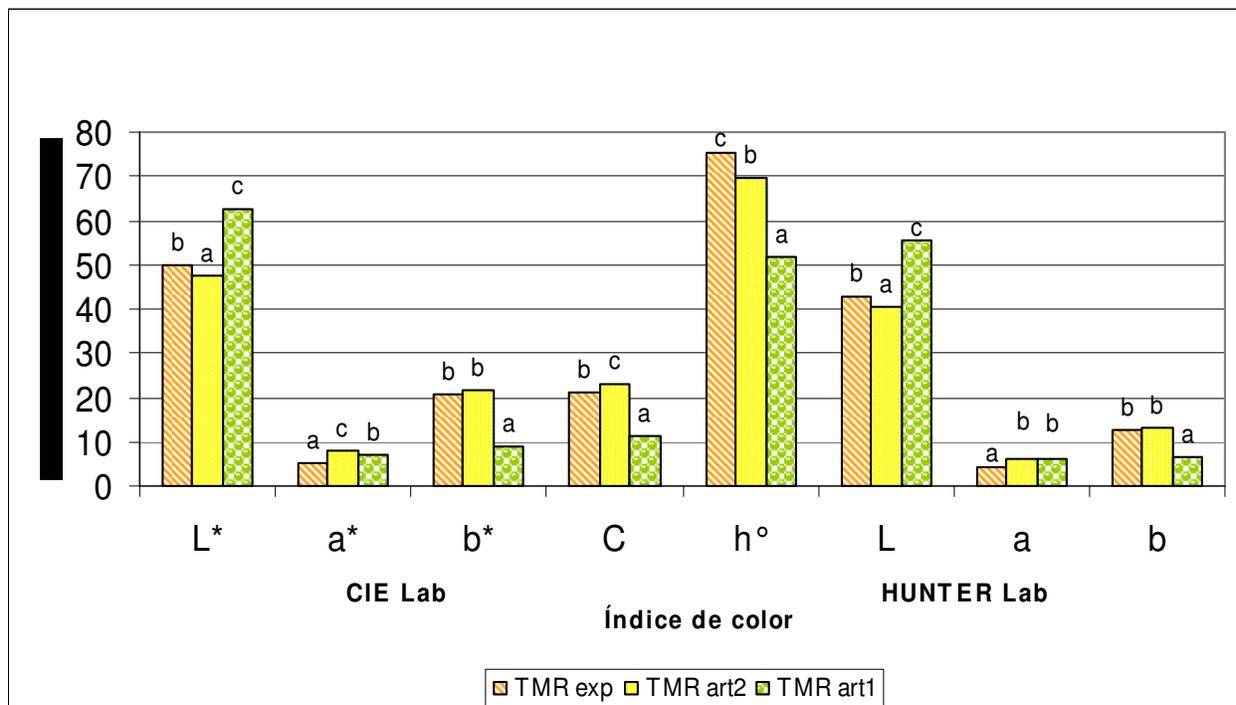


Gráfico 27. Atributos de color evaluados en tortillas de maíz rojo

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

*** TMR exp= Tortilla roja experimental; TMR art 1= Tortilla roja artesanal 1; TMR art 2= Tortilla roja artesanal 2

Al comparar los resultados de color en tortillas para los valores de a* en función de la concentración de antocianinas, se observó que lo que se esperaba es que los valores de a* para las tortillas experimentales fuera mayor que las tortillas artesanal 1 y artesanal 2 (**Gráfico 27**), ya que la concentración de antocianinas para las tortillas experimentales fue la más alta (24.82 ppm), siguiéndole una concentración de 13.03 ppm correspondiente a las tortillas artesanales 1.

13.3.5 Atributos de color en la cara externa e interna en tortillas de maíz rojo.

Al igual que para las tortillas de de maíz blanco y azul, nuevamente se observó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre la cara externa e interna (**Gráfico 28**).

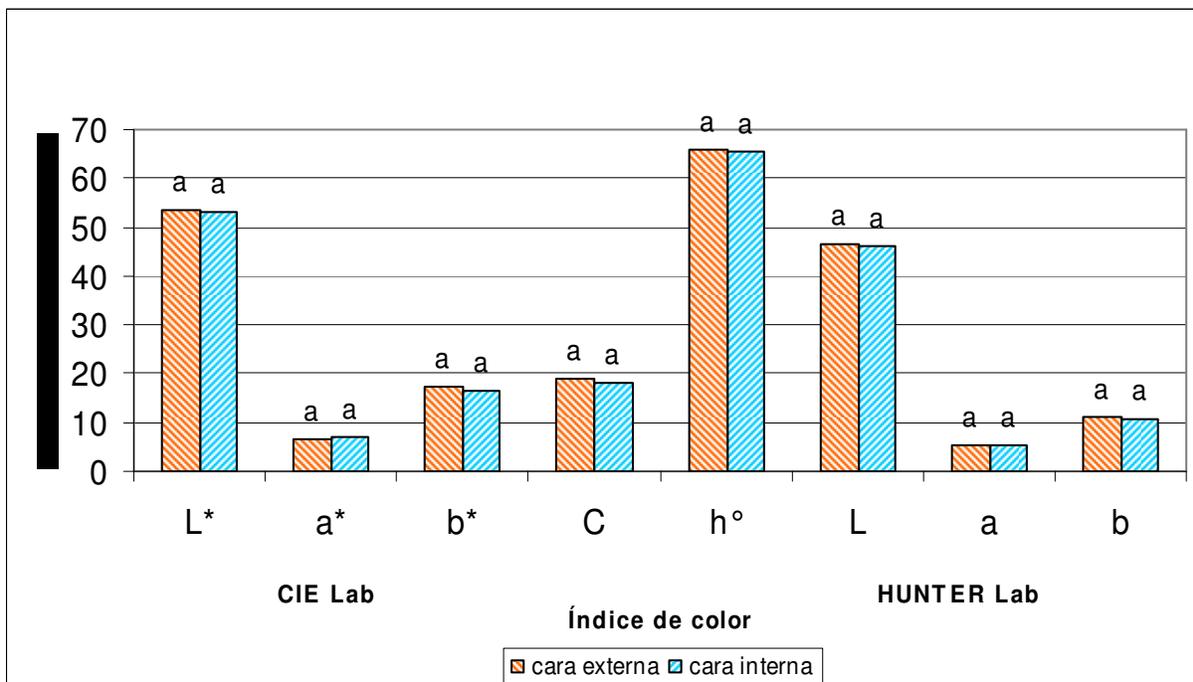


Gráfico 28. Atributos de color evaluados en tortillas de maíz rojo

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

*** TMR exp= Tortilla roja experimental; TMR art 1= Tortilla roja artesanal 1; TMR art 2= Tortilla roja artesanal 2

13.3.6 Atributos de color en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas rojas

Los resultados mostrados en el **Gráfico 29** dan un panorama general, de como varió el color en las muestras desde la materia prima hasta el producto final. Para los valores de L* se obtuvo que entre todas las muestras existió diferencia estadísticamente significativa con un nivel de significancia del 99%, sin embargo se mostró que en general la masa presentó un color más claro, mientras que el maíz nixtamalizado presentó un color más oscuro, estos resultados posiblemente se atribuyen a que a la masa se le agrega agua para su amasado, lo que pudo provocar la solubilización y pérdida de pigmentos. Se observó una tendencia hacia los tonos rojos (a*), que fue más pronunciada en el maíz crudo y el nixtamalizado. Los resultados indican que el contenido de antocianinas si se ve afectado por las condiciones durante el proceso de obtención de las tortillas.

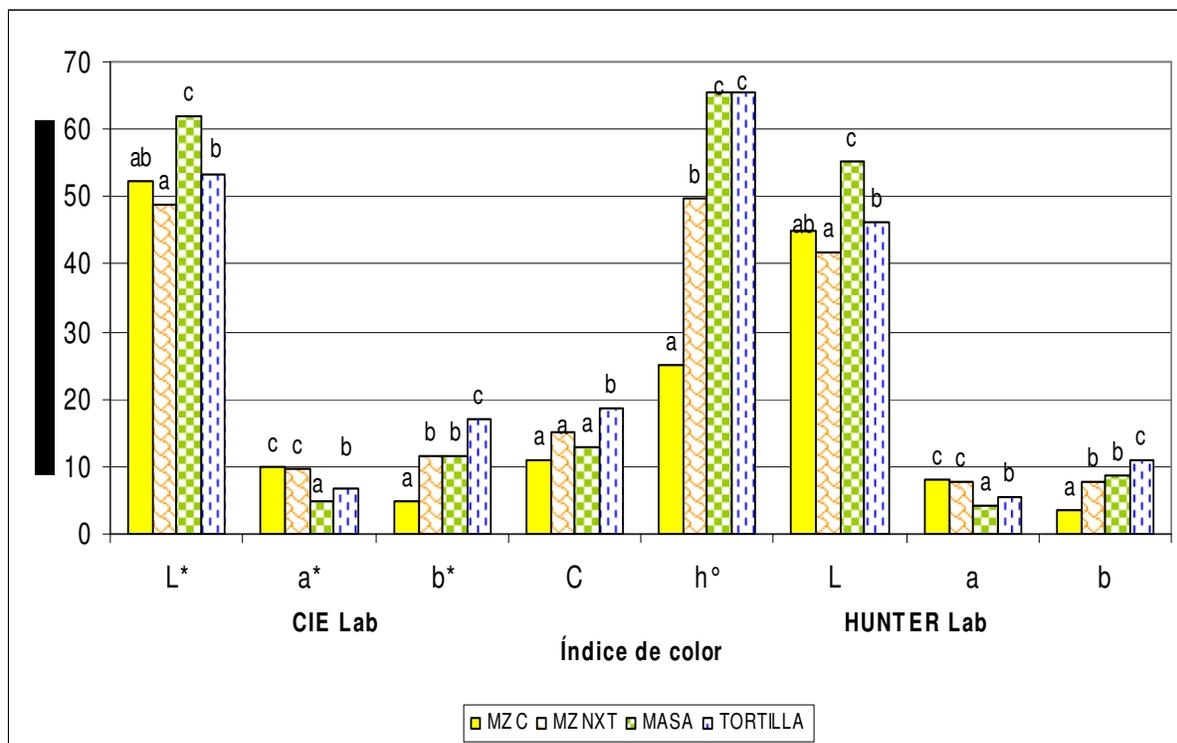


Gráfico 29. Atributos de color evaluados en maíz crudo, maíz nixtamalizado, masa y tortillas rojas

*Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

*****MZC= maíz crudo; MZ NXT= maíz nixtamalizado

En el atributo b*, la masa y el maíz nixtamalizado no presentaron diferencia estadísticamente significativa, mientras que la tortilla fue la que tuvo mayor tendencia hacia los tonos amarillos. Cabe señalar que los maíces de grano rojo, no son adecuados para la elaboración de productos nixtamalizados, ya que el pericarpio al contacto con el álcali, adquiere un color café pardo que podría provenir de la destrucción de las antocianinas por el elevado pH durante el proceso de nixtamalización.

14. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE TEXTURA

14. TEXTURA

A pesar del alto consumo de tortillas, existe una gran variabilidad en las características de calidad de la tortilla producida comercialmente, principalmente las de textura. Para evaluar la textura de las tortillas se han reportado varios métodos, pero los parámetros y valores obtenidos son muy variados lo que no permite su comparación. En este estudio se seleccionaron 3 métodos de evaluación de textura. Se determinó el trabajo requerido para romper la tortilla aplicando una fuerza de tensión, reportando el área bajo la curva, la fuerza máxima requerida y la distancia hasta la ruptura.

Aunque se encuentran publicadas investigaciones de mediciones de textura de tortillas, utilizando texturómetros (Instron Universal y Texture Analyzer), las condiciones de análisis varían.

Las pruebas de calidad confiables, son aquellas que tienen exactitud, precisión y reproducibilidad para los propósitos de la medición. La exactitud es el grado de aproximación de la medición al valor verdadero, que en el caso de los texturómetros está determinada por la sensibilidad propia del equipo. La precisión o repetibilidad puede determinarse como una estimación de la correlación entre los valores verdaderos de las muestras y los valores observados (**Baker, 1971**).

Tanto la exactitud como la precisión son afectadas principalmente por los procedimientos de prueba, la homogeneidad de la muestra y por el tipo de equipo utilizado para la prueba. La evaluación de la confiabilidad de pruebas de calidad ha sido utilizada principalmente en la determinación de métodos y técnicas para evaluar los parámetros de calidad en granos y semillas de cereales (**Figueroa, 1983**), aunque su potencial de utilización ha sido comprobado en otros campos donde se realizan mediciones de este tipo.

Se tiene reportado (**Flores, 2000**) la inexistencia de parámetros de procesamiento y de calidad estandarizados, de las harinas instantáneas para producir tortillas, entre las diferentes marcas comerciales existentes en México, por lo que las características de las tortillas producidas presentan también alta variabilidad en su calidad. Además, tampoco se tiene homogeneidad en los valores de los parámetros de calidad de la tortilla reportados, medidos con texturómetros, debido a que no se cuenta con métodos oficiales de medición de la textura de las tortillas, que son necesarios para producir tortillas de buena calidad y especialmente de una calidad estándar.

Con base en lo anterior, se realizaron mediciones de las características de textura en tortillas comerciales, artesanales y experimentales de maíz blanco, rojo y azul, en un Texturómetro TA-XT2 plus utilizando la sonda (P/1S), a una distancia de 40mm, velocidad de preensayo 1mm/s, velocidad de ensayo 1mm/s y finalmente una velocidad de post ensayo de 10mm/s, de tal manera que se

obtuvieron valores de Resistencia al corte al corte y extensibilidad de la tortilla, así como también se realizó un análisis de perfil de textura en la masa evaluando los atributos de dureza, masticabilidad, elasticidad, cohesividad y adhesividad, por otra parte también se evaluó la firmeza en la masa. Las condiciones y accesorios utilizados para estas determinaciones de medición se muestran en la **Tabla 9** del apartado de materiales y métodos (**página 51**).

Para el tratamiento de los resultados instrumentales de textura se realizó un análisis de varianza con seis replicas por muestra mediante la aplicación de la F de Snédecor para un factor, y para t niveles, éste se llevó a cabo empleando el Software “STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1 para Windows”, utilizando un nivel de confianza de 99% y $\alpha=0.01$, a una vía, para identificar si existía diferencia entre las muestras en función de las variables de color en estudio.

En los casos en que el ANOVA mostró diferencia significativa; se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference) para determinar entre que muestras se presentaban diferencias estadísticamente significativas.

14.1 Análisis de Perfil de Textura (TPA)

14.1.1 Atributos de textura en masa azul

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 (Ramírez-Wong et al., 1993).

El **Gráfico 30** muestra los resultados de TPA aplicado en masas provenientes de maíz rojo, azul y blanco. La masa que mayor dureza presentó fue la masa azul artesanal 2, y la que menor dureza presentó fue la masa azul y roja artesanales 1, sin embargo la masa azul y roja experimental fueron las masas que presentaron mayores valores de masticabilidad. La adhesividad y cohesividad en la masa son parámetros determinantes para tener una tortilla con una textura aceptable, además estos parámetros dependen del proceso de nixtamalización, principalmente tiempo y temperatura de cocción y esto se encuentra aunado a la dureza del grano; para estos parámetros, las muestras evaluadas presentaron valores pequeños en estos atributos, siendo similares entre si, estos valores eran esperados, ya que se buscaban masas con una adhesividad y cohesividad baja.

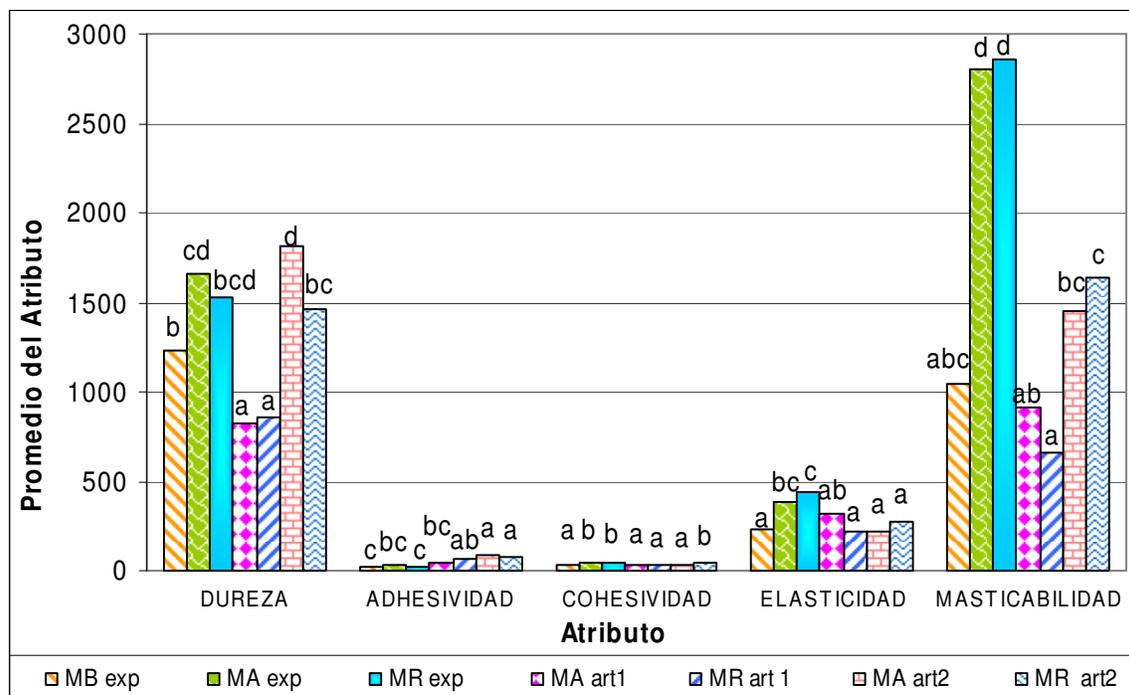


Gráfico 30. Atributos de textura evaluados en masa de maíz blanco, rojo y azul

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

MB exp= masa blanca experimental; MA exp= masa azul experimental; MR exp= masa roja experimental; MA art 1; masa azul artesanal 1; MR art1= masa roja artesanal 1; MA art 2= masa azul artesanal 2; MR art 2 = masa roja artesanal 2

Al comparar las masas provenientes de maíz azul (**Gráfico 31**), se obtuvo que la masa experimental es igual que la masa artesanal 2 en el atributo de dureza, mientras que para el atributo de adhesividad, entre la masa experimental y la artesanal 1 no existió diferencia estadísticamente significativa, por otra parte no existió diferencia estadísticamente significativa entre la masa artesanal 1 y 2 en el atributo de cohesividad. Para el atributo de elasticidad, las tres muestras de masa son diferentes en la elasticidad, siendo la experimental la que presentó una mayor elasticidad, así como también una mayor masticabilidad.

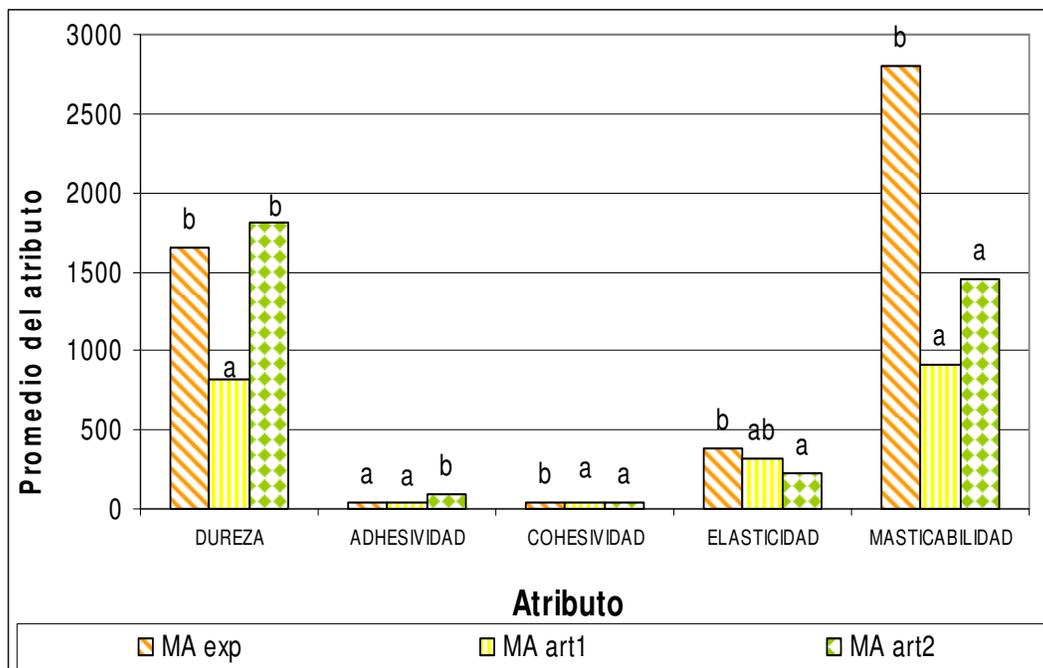


Gráfico 31. Atributos de textura evaluados en tortillas comerciales, artesanales y experimentales de maíz blanco

*Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

**Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

MA exp= masa azul experimental; MA art 1; masa azul artesanal 1; MA art 2= masa azul artesanal 2 Aunque las tres diferentes muestras de masa, están elaboradas con el mismo maíz, no existió reproducibilidad de resultados en los 5 atributos del perfil de textura, atribuyéndose estos resultados a las variaciones en el proceso de obtención de las mismas.

14.1.2 Atributos de textura en masa roja

En el caso de las masas de maíz rojo (**Gráfico 32**) se obtuvo que la masa experimental fue la más masticable, mientras que la masa artesanal 1 fue la menos masticable. En el atributo de dureza no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre la masa artesanal 2 y la experimental.

El **Gráfico 32** muestra que no existió diferencia estadísticamente significativa entre la masa artesanal 1 y artesanal 2 en adhesividad y elasticidad, nuevamente se observaron diferencias en los atributos de textura a pesar de que las masas se elaboraron con el mismo maíz.

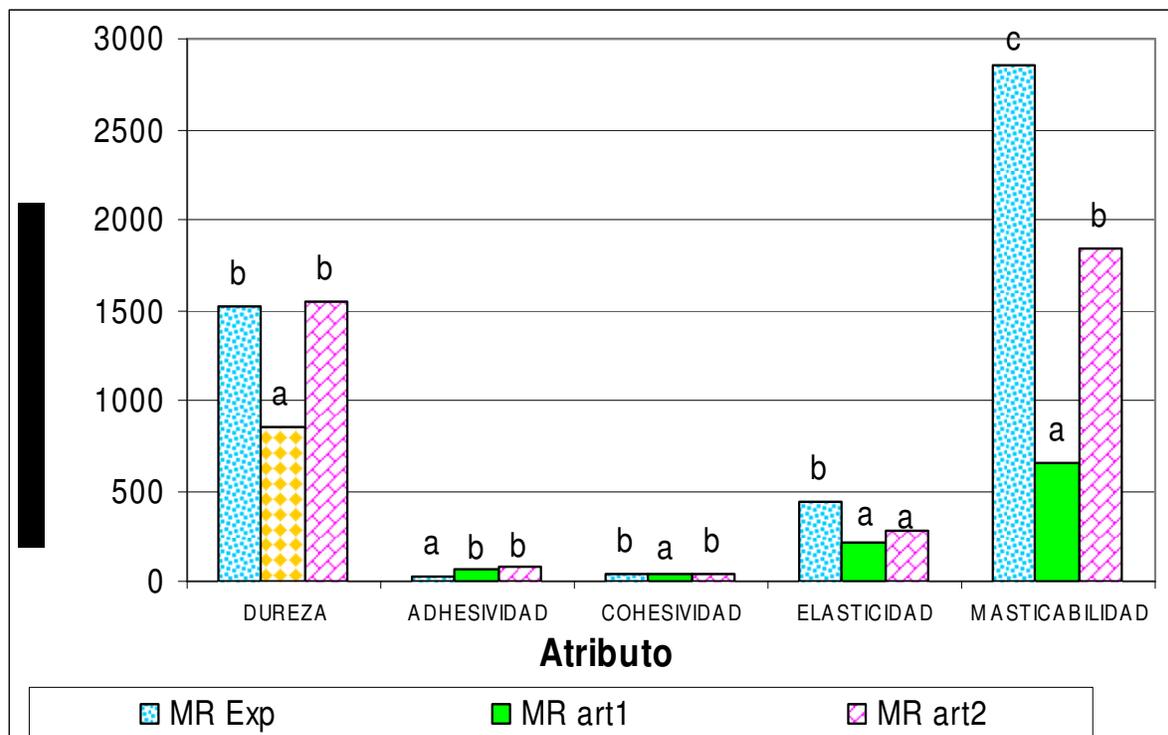


Gráfico 32. Atributos de textura evaluados en tortillas comerciales, artesanales y experimentales de maíz blanco

* b, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

*** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

MR exp= masa roja experimental; MR art1= masa roja artesanal 1; MR art 2 = masa roja artesanal 2

14.2 Atributo de textura “Firmeza”

Por otra parte se realizó la medición de la firmeza en las diferentes muestras de masa (**Gráfico 32a**), observándose diferencia estadísticamente significativa entre las tres muestras de masa roja, mientras que para las muestras de masa azul no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las muestras experimentales y la artesanal 1. Por otra parte la masa blanca experimental fue la que presentó una mayor firmeza.

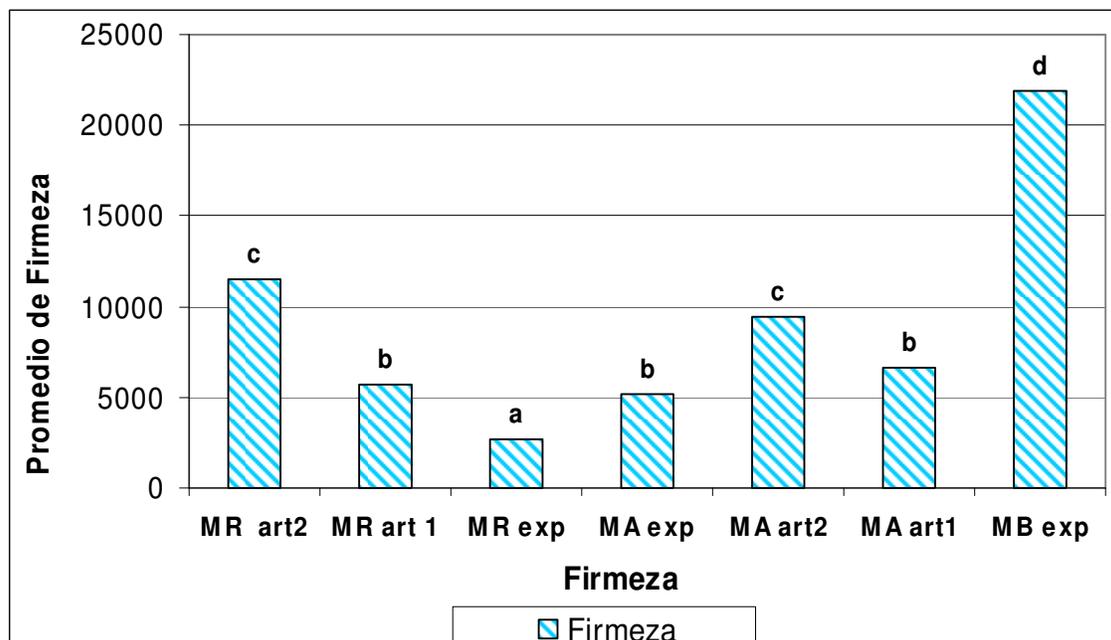


Gráfico 32a. Atributos de firmeza evaluados en masa roja, blanca, y azul

**Características con distintos letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

***Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

MR exp= masa roja experimental; MR art1= masa roja artesanal 1; MR art 2 = masa roja artesanal 2; MA exp= masa azul experimental; MA art 1= masa azul artesanal 1; MA art2= masa azul artesanal 2; MB exp = masa blanca experimental

14.3 Resistencia al corte y Extensibilidad en Tortillas

14.3.1 Textura en tortillas de maíz blanco

Los resultados de la evaluación de resistencia al corte y extensibilidad se muestran en el **Gráfico 33**, en el se observa que la muestra de tortillería fue la más resistente mientras que las muestras de Milpa Real (TMR₁) y la experimental presentaron la menor resistencia, no encontrándose diferencia en el resto de las muestras. Si se comparan las muestras de Milpa Real, los resultados podrían indicar que la nixtamalización incremento la resistencia de las muestras.

Un parámetro importante desde el punto de vista comercial, es el porcentaje de pérdida de agua durante el cocimiento de la tortilla, ya que se ve reflejado en la textura de éstas. La **Tabla 23** y el **Gráfico 33**, muestran que existió una relación entre la cual indica que la TMR₁ y TMB exp al tener el mismo contenido de humedad (aproximadamente 45%), presentaron la misma resistencia al corte. Situación similar se observó entre las muestras TMRN, TWMB con contenidos de humedad de 51% y 50% respectivamente las cuales también presentaron la misma resistencia al corte. Así mismo se observó que las tortillas con un contenido de humedad de 45% presentaron una menor resistencia al

corte, sin embargo en comparación con las tortillas que tuvieron una 50% de humedad, estas presentaron una mayor resistencia al corte. Cabe mencionar que la tortilla de la tortillería de Santo Domingo fue la que presentó una mayor resistencia al corte siendo que su contenido de humedad fue del 47.94 %.

Estos resultados no necesariamente significa que a un mayor contenido de humedad una menor resistencia al corte y viceversa. A lo que se atribuye esta variabilidad de resultados, es a factores como la maquinaria utilizada, la temperatura de cocción de las tortillas, al contenido de humedad del maíz nixtamalizado esto aunado a la concentración de cal utilizada para la nixtamalización, ya que no existe estandarización en el grosor de éstas.

Tabla 23. Contenido de humedad en tortillas de maíz blanco, rojo y azul

MUESTRA	% Humedad
TMR1	45.24±0.49
TMRN	51.19±0.54
TWMB	50.27±0.36
TWMA	44.16±0.45
TS	44.0±0.99
TSD	47.94±0.44
TMR exp	42.84±0.49
TMA exp	45.84±0.02
TMB exp	45.16±0.16
TMR art1	43.56±0.55
TMA art1	48.13±0.26
TMR art2	45.9±0.27
TMA art2	42.94±0.3

*Los resultados que se muestran son el promedio de 2 réplicas de cada muestra de tortilla

** Todos los parámetros se expresan en términos de porcentaje en base húmeda

*** TMR art 1= Tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz rojo artesanal 2; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TMB esp= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS=Tortilla de Superama; TSD=Tortilla de Santo Domingo.

Para el atributo de extensibilidad, se encontró poca variabilidad entre las muestras siendo que entre las tortillas de Wal Mart y las experimentales, las que presentaron menor extensibilidad, mientras que el resto de las tortillas fueron iguales en este atributo (**Gráfico 33**).

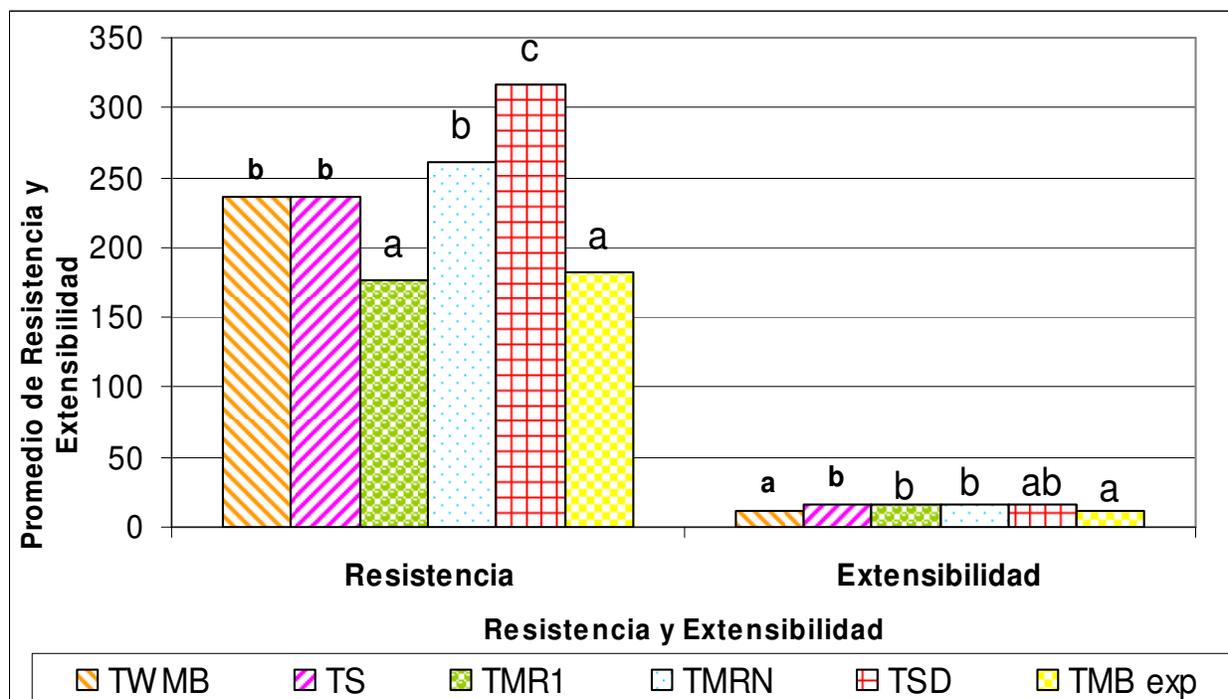


Gráfico 33. Atributos de textura evaluados en tortillas maíz blanco

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

**** TWMB= Tortilla de Wal Mart blanca; TS= Tortilla de Superama; TMR1= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TSD= Tortilla de santo domingo; TMB exp= Tortilla de maíz blanco experimental.

14.3.2 Textura en tortillas de maíz azul

Se observó que para las tortillas obtenidas del maíz azul, no se encontró reproducibilidad en los resultados, dado que las condiciones para su elaboración fueron completamente diferentes. Sin embargo entre las tortillas artesanales 1 y 2 no se encontró diferencia estadísticamente significativa en la resistencia al corte (**Gráfico 34**) de estas tortillas a pesar que su contenido de humedad varió de 42.94% a 48.13% (**Tabla 23**), es decir que la resistencia al corte de estas tortillas no estuvo en función del contenido de Humedad, sin embargo se observó que el atributo que influyó en estos resultados fue el grosor de la tortilla, atribuido a que son tortillas elaboradas con tortilladora manual, y por lo tanto cada una de las personas que las elaboraron no aplican la misma fuerza para su elaboración.

En cuanto a la extensibilidad se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las tortillas experimentales y tortillas de Walt Mart, siendo la muestra experimental la menos extensible.

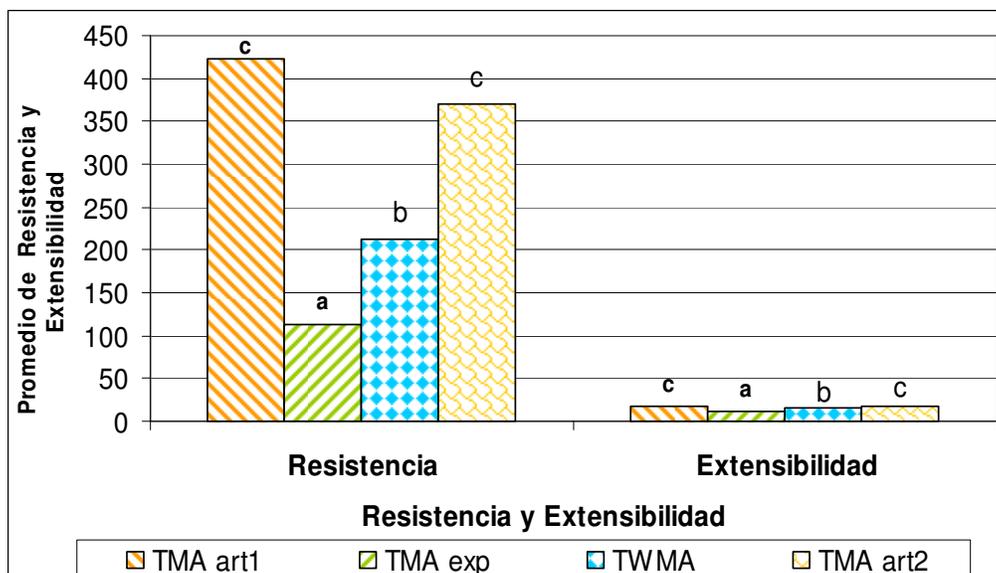


Gráfico 34. Atributos de textura evaluados en tortillas maíz azul

*_{a, b} Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

**Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

***TMA art 1= tortillas de maíz azul artesanal 1; TMA exp= tortilla de maíz azul experimental; TWMA= tortilla azul de Wal Mart; TMA art2= tortilla de maíz azul artesanal 2

14.3.3 Textura en tortillas de maíz rojo

Para estas tortillas se obtuvo la misma tendencia que en las tortillas azules, siendo que las que presentaron mayor resistencia al corte fueron las artesanales 1 y 2 (**Gráfico 34**) además de que no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre ellas. Las tortillas rojas experimentales fueron las que presentaron una menor resistencia al corte y extensibilidad.

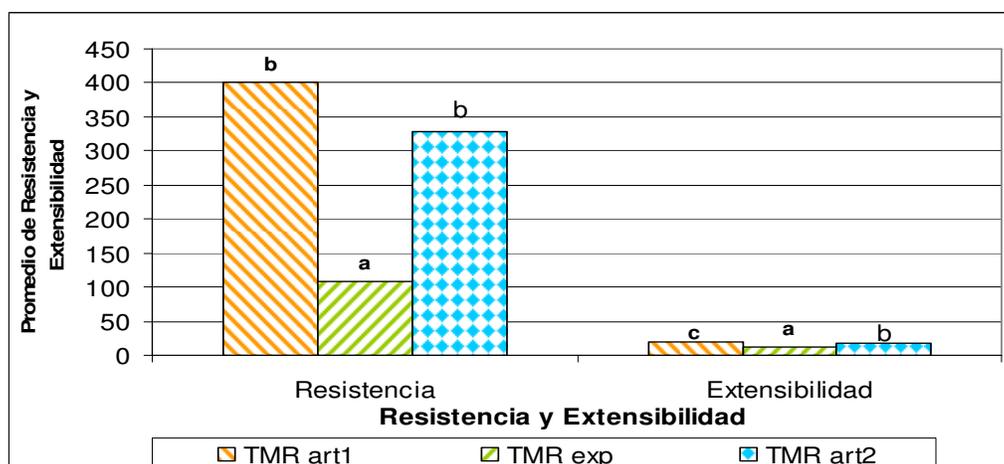


Gráfico 35. Atributos de textura evaluados en tortillas maíz rojo

*Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

**Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

***TMR art 1= tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMR exp= tortilla de maíz rojo experimental; TMR art2= tortilla de maíz rojo artesanal 2

En el caso de las masas de maíz rojo se obtuvo que independientemente de la firmeza de la masa (**Gráfico 32a**) fue la resistencia al corte de la tortilla.

14.3.4 Análisis comparativo de la resistencia al corte y extensibilidad de las tortillas rojas, azules y blancas

Con el objetivo de determinar si estos atributos dependieron de la variedad de maíz, se realizó una comparación entre todas las tortillas (azules, rojas y blancas). El **Gráfico 35** muestra que los atributos de cada tortilla no dependen de la variedad del maíz utilizado, si no que varían de acuerdo a las condiciones de elaboración, tal es el caso que entre las tortillas artesanales 1, rojas y azules existió una relación estadísticamente significativa entre ambas ya que estas fueron realizadas bajo las mismas condiciones y por la misma persona. Sin embargo en el caso de las tortillas artesanales 2 (rojas y azules) también existió similitud en la resistencia al corte y la extensibilidad. Por otra parte, entre las tortillas experimentales azules y rojas no se encontró diferencia estadísticamente significativa en la resistencia al corte y en la extensibilidad, dado que las condiciones de elaboración fueron controladas

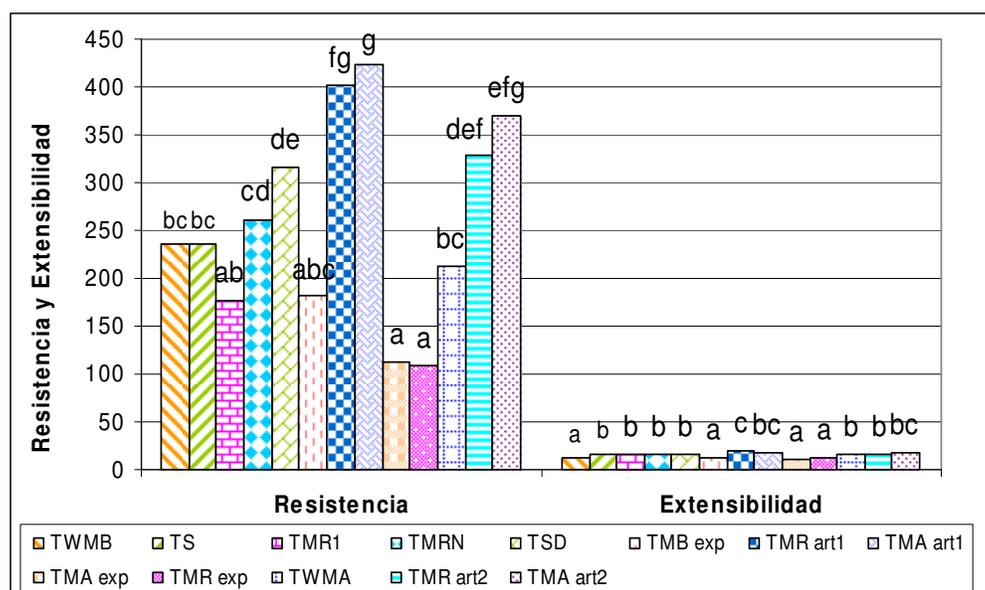


Gráfico 35. Atributos de textura evaluados en tortillas maíz

* a, b Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

*** TMR art 1= Tortilla de maíz rojo artesanal 1; TMA art 1= Tortilla de maíz azul artesanal 1; TMR art 2= Tortilla de maíz rojo artesanal 2; TMA art = Tortilla de maíz azul artesanal 2; TMR exp= Tortilla roja experimental; TMA= Tortilla de maíz azul experimental; TMB esp= Tortilla de maíz blanco experimental; TMR₁= Tortilla Milpa Real; TMRN= Tortilla Milpa Real nixtamalizada; TWMB = Tortilla blanca de walt mart; TS= Tortilla de Superama; TSD= Tortilla de Santo Domingo.

Sin embargo, para las tortillas comerciales, únicamente para las tortillas de Wal Mart y Superama no se encontró diferencia estadísticamente significativa en el atributo de resistencia al corte, dado que estas tortillas están elaboradas con una maquinaria, en la cual las tortillas son homogéneas en todos sus atributos.

El **Gráfico 36**, muestra claramente que la diferencia en los atributos de textura en las tortillas dependen principalmente de la forma de elaboración desde el proceso de nixtamalización hasta las condiciones de elaboración de las tortillas. Dado que existió diferencia estadísticamente significativa entre tortillas comerciales, experimentales y artesanales.

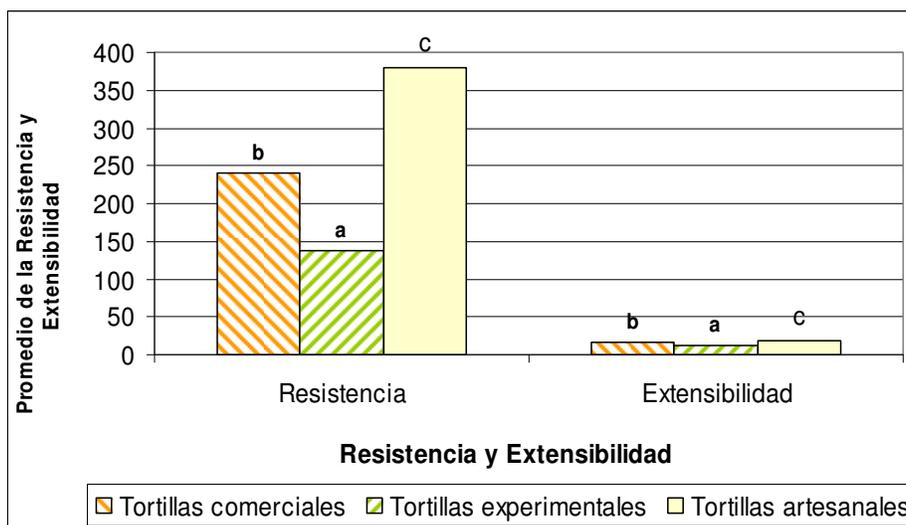


Gráfico 36. Atributos de textura evaluados en tortillas comerciales, experimentales, artesanales

* Características con distintas letras indican diferencia estadísticamente significativa al 99%

*** Los datos graficados provienen del promedio de 6 replicas

15. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

CORRELACIÓN FISICOQUÍMICA- INSTRUMENTAL DE COLOR Y TEXTURA

15. CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES

A pesar de que las muestras evaluadas no llegan a una n de 30, se realizó el análisis de correlación de Pearson, para conocer las posibles relaciones existentes entre las variables en estudio; sin embargo es importante mencionar que las correlaciones observadas en los resultados del presente trabajo no son concluyentes y se deben realizar un mayor número de réplicas en cada ensayo para poder conocer dichas correlaciones.

El estudio de la correlación entre los métodos fisicoquímicos e instrumentales de color y textura en tortillas de maíz podría permitir conocer las **posibles** relaciones de los parámetros instrumentales (color y textura) y las características fisicoquímicas de la masa y las tortillas. Esta información serviría como herramienta en desarrollo y/o mejora de estos productos, así como también en el control de calidad.

Se realizó el estudio de correlación entre:

- Las propiedades fisicoquímicas de la masa, con los atributos de Textura (Firmeza y Análisis de Perfil de Textura).
- La composición (contenido de humedad, grasa, proteína, cenizas, carbohidratos reductores y almidón) de Tortillas (azules, blancas y rojas) con los parámetros instrumentales de color y textura (resistencia al corte y extensibilidad).
- El contenido de pigmentos (antocianinas) en maíz, masa y tortillas de color azul y rojo, con los atributos de color (CIE Lab y HUNTER Lab).

Las matrices de correlación se presentan en el **Anexo II**.

De acuerdo a las matrices de correlación de Pearson aplicadas en este estudio, las posibles relaciones encontradas se enlistan a continuación:

15.1 Relación entre las características fisicoquímicas con los atributos de textura

➤ Tortillas de maíz blanco

En la **Tabla 24** se muestra el valor obtenido de la matriz de correlación para tortillas de maíz blanco, detectándose:

- A mayor contenido de humedad, menor resistencia al corte (dureza) y extensibilidad en las tortillas

Tabla 24. Relación entre composición, resistencia al corte y extensibilidad de las tortillas blancas

Parámetro químico	Resistencia al Corte y Extensibilidad (r)
Humedad	-0.9939

*r= valor correspondiente a la matriz de correlación.

➤ Tortillas de maíz azul

La resistencia al corte y extensibilidad en las tortillas de maíz azul, dependieron del contenido de humedad, cenizas, carbohidratos reductores y almidón (**Tabla 27**), es decir:

- A mayor contenido de humedad menor fue la resistencia al corte y extensibilidad
- A menor contenido de cenizas mayor fue la resistencia al corte y extensibilidad

Tabla25. Relación entre composición, resistencia al corte y extensibilidad de tortillas azules

Parámetro químico	Resistencia al Corte y Extensibilidad (r)
Humedad	-0.9921
Cenizas	0.9060

*r= valor correspondiente a la matriz de correlación

15.2 Relación entre contenido de antocianinas y atributos de color

➤ Masas de maíz rojo

Tomando en cuenta que CIE (+) a^* tiende a tonos rojos, (-) a^* a tonos verdes, CIE (+) b^* a tonos amarillos y (-) b^* a tonos azules, se obtuvieron las siguientes correlaciones mostradas en la **Tabla 26**, las cuales nos indicaron que:

Tabla 26. Relación entre el contenido de antocianinas y atributos de color en masas de maíz rojo

Atributo de color	Contenido de antocianinas (R)
CIE a^*	-0.9829
CIE b^*	0.9888

*R= valor correspondiente a la matriz de correlación

- A valores altos de a^* (tonos rojos), menor fue el contenido de antocianinas
- A valores bajos de b^* (tonos azules) mayor fue el contenido de antocianinas

➤ Tortillas de maíz rojo

La relación entre el contenido de antocianinas y los atributos de color en las tortillas de maíz rojo (**Tabla 27**) tuvieron las mismas tendencias que en las masas de maíz rojo (**Tabla 26**)

Tabla 27 Relación entre el contenido de antocianinas y atributos de color en maíz rojo

Atributo de color	Contenido de antocianinas (R)
CIE a^*	-0.9671
CIE b^*	0.9906

*R= valor correspondiente a la matriz de correlación

16

CONCLUSIONES

16. CONCLUSIONES

- Con base en base a la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002, las tres variedades de maíz utilizadas para la elaboración de tortillas experimentales fueron Grado 1, por lo tanto, los diferentes puntos del Distrito Federal en los que se adquirieron las tres variedades de maíz (Delegación Xochimilco y Álvaro Obregón), cumplieron con las especificaciones de esta norma, además de que el contenido de humedad de las tres variedades de maíz, entraron dentro de los rangos establecidos por varios autores, así como también por la NORMA DEL CODEX PARA EL MAÍZ STAN 153-1985.

- El peso hectolítrico de cada variedad de maíz es un parámetro importante para determinar el tiempo de cocción en el proceso de nixtamalización, ya que éste guarda una relación directamente proporcional con la dureza del grano, donde se obtuvo que a mayor peso hectolítrico, mayor tiempo de cocción.

- Las características sensoriales (color, textura, sabor, olor) de las tortillas dependieron de la concentración de cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) utilizada en el proceso de nixtamalización.

- El tiempo de cocción empleado en el proceso alcalino (nixtamalización) dependió de la concentración de cal utilizada en el proceso de nixtamalización, es decir a mayor concentración de cal, menor tiempo de cocción de grano y viceversa

- Las concentraciones altas de cal (mayores 1.5%) empleadas en el proceso de nixtamalización, afectan el color de las tortillas de maíz azul, rojo y blanco, es decir, a una mayor concentración de cal las tortillas de maíz azul tendieron a una tonalidad azul intensa, las rojas a un color café pardo y las blancas a un color amarillento.

- Por lo tanto las condiciones que permitieron obtener tortillas con las mejores características sensoriales fueron: concentración de cal de 0.8%, temperatura entre 87-90°C, y tiempos de cocción de 70, 60 y 50 minutos para el maíz blanco, azul y rojo respectivamente y un tiempo de reposo de 10 horas.

- El análisis fisicoquímico realizado a las tres variedades de maíz, mostró que los únicos parámetros fisicoquímicos en los que se encontró diferencia estadísticamente significativa fueron almidón y carbohidratos reductores, siendo el maíz rojo el que presentó mayor contenido de almidón.
- El contenido de humedad en las masas dependió del contenido de almidón presente en cada variedad de maíz, ya que el maíz rojo al haber presentado el mayor contenido de almidón necesitó un mayor volumen de agua (235 mL) para su amasado.
- El proceso de nixtamalización provocó una reducción en el contenido de proteína y almidón, del maíz a la masa, esto debido al proceso alcalino al que es sometido el maíz.
- A pesar de que las masas azules y rojas (experimentales y artesanales) provenían del mismo maíz, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros fisicoquímicos, atribuyendo estas diferencias a las condiciones utilizadas en el proceso de nixtamalización y a la preparación de las masas.
- La transformación de masa a tortilla, provocó una reducción en el contenido de humedad de aproximadamente un 10%.
- El maíz azul presentó el mayor contenido de antocianinas.
- El color de la masa y tortillas azules artesanales 1, posiblemente provenga de un colorante artificial ya que no se obtuvieron pigmentos.
- El maíz azul y las muestras provenientes de él, contuvieron una mayor concentración de antocianinas, comparadas con el maíz rojo y las muestras provenientes de este.
- La variabilidad en el color de las tortillas azules y rojas; experimentales, artesanales y comerciales, dependió de las condiciones de nixtamalización y variedad de maíz.

- Dado que dentro del mercado mexicano se producen tortillas de color azul, se comprobó que el color de tortillas azules (Cadena Wal Mart), proviene del pigmento natural del maíz (antocianinas), ya que se pudo cuantificar el contenido de antocianinas.
- El proceso de nixtamalización no afecta el color de las partes en la tortilla, ya que no se encontró diferencia significativa en el color entre la cara externa e interna.
- Se encontró una gran variabilidad en las características de calidad de las tortillas producidas comercial y artesanalmente (características fisicoquímicas, color y textura).
- Para las tortillas de maíz no se han reportado pruebas de calidad estandarizadas, que permitan el control de calidad adecuado de las características, de textura y color.

17. Bibliografía

17. **BIBLIOGRAFIA**

1. Akhmadiev A. K., Zaichkina S.I., Ruzieva R.K., Ganassi E.E., (1993). The protective action of a natural preparation of anthocyan (pelargonidin-3,5-diglucoside). *Radiobiología* 33, 433–435.
2. Almanza A. M. G., (2000). Estudio monográfico de tortillas de maíz nixtamalizado. Tesis de Licenciatura, facultad de Química, UNAM.
3. Almeida-Dominguez H. D., Cepeda M. and Rooney. L. W. (1996). Properties of commercial nixtamalized corn flour. *Cereal Foods World* 41: 624-63.
4. Aragón M.E. y Villa I. (1994) “Prácticas de laboratorio de análisis de alimentos”. Departamento de Alimentos y Biotecnología. Tesis de Licenciatura, UNAM. Facultad de Química, México D.F.
5. Arámbula-Villa G. González-Hernández y Ordorica-Falomir C.A. (2001) “Physicochemical, Structural and Textural Properties of Tortillas from Extruded Instant Corn Flour Supplemented with Various Types of Corn Lipids” *Journal of Cereal Science* 33, 245–252
6. Arámbula-Villa G., Yáñez-Limón J. M., Vorobiev-Vasilievich Y. y González-Hernández J. (2000). Effective moisture diffusion coefficient of nixtamalized corn masa by extrusion. *Agrociencia* 34: 717-727.
7. AOAC “ Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist” (1984) 14va. Edition Washington, D.C. EEUUA.
8. Baker R.J. y Campbell A.B. (1971). Evaluation of screening tests for quality of bread wheat. Research Station, Canada. Dep. of Agriculture. *Can J Plant Sci* 51:449-455.
9. Bello-Pérez L. A., Osorio-Díaz P., Agama-Acevedo E., Núñez-Santiago C. y Paredes-López O. (2002). Chemical, physicochemical and rheological properties of masas and nixtamalized corn flour. *Agrociencia* 36: 319-328.
10. Bressani R., Benavides V., Acevedo E., y Ortiz M. A. (1990). Changes in selected nutrient content and in protein quality of common and quality protein maize during tortilla preparation. *Cereal Chemistry*, 67(6), 515–518.
11. Bressani R., Paz y Paz R. y Scrimshaw N.S. (1958). Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J. Agric. Food Chem.* 6: 770-774
12. Brouillard R. (1982). Chemical structure of anthocyanins, in: Markakis, P. (Ed.), *Anthocyanins as Food Colors*. Academic Press, New York, pp. 1–38.
13. Campus-Baypoli O. N., Rosas-Burgos E. C., Torres- Chávez P. I., Ramírez-Wong B. and Serna-Saldívar S. O. (1999). Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. *Starch/ Starke* 51: 173-177.

14. Cevallos-Casals B.A., Cisneros-Zeballos L. (2004). Stability of anthocyanin- based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry* 86, 69–77.
15. CIE Publication No. 15.2. (1986). *Colorimetry* (2nd ed.). Wien, Austria: CIE Central Bureau Kegelgasse 27 A-1030.
16. Cortes-Gómez A., San Martín-Martínez E., Martínez-Bustos F., Vázquez-Carrillo G.M., (2005). Tortillas of blue maize (*Zea mays* L.) prepared by a fractionated process of nixtamalization: analysis using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 66, 273–281.
17. Cortéz A. y Wild-Altamirano C. (1972). Contribución a la tecnología de la harina de maíz. En R. Brezan, J.E. Grahn y M. Béhar, eds.
18. Cravioto R.O., Anderson R.K., Lockhart E.E., De Miranda F. de P. y Harris R.S. (1945). Nutritive value of the Mexican tortilla. *Science*. 102: 91.
19. Dale N. (1997). Ingredient analysis table: 1997 edition. *Feedstuffs Reference Issue*. Vol.69. Num. 30. p. 24-31.
20. Delgado-Vargas F., Jiménez A.R., Paredes-López O., (2000). Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains, characteristics, biosynthesis, processing, and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40, 173–289.
21. Einbond L.S., Reynertson K.A., Xiao-Dong L., Basile M.J., Kennelly E. J., (2004). Anthocyanin antioxidants from edible fruits. *Food Chemistry* 84, 23–28.
22. Figueroa J. D., C. J. González-Hernández, G. Arámbula Villa y E. Morales Sánchez. (1997). Tecnologías ecológicas para la producción de tortilla. *Avance y Perspectiva* 16: 363-374.
23. Figueroa CJD. (1983). Determinación del grado de confiabilidad del grano flotante como indicador de calidad en cebada. *Agric Tec Mex*. 2:115-125.
24. Flores-Farías R., Martínez-Bustos F., Salinas-Moreno Y. y Ríos E. (2002). Characterization of commercial nixtamalized maize flours. *Agrociencia* 36: 557-567.
25. Flores-Farías R, Martínez-Bustos F, Salinas-Moreno Y, Kil-Chang Y, González-Hernández J & Ríos E. (2000). Physicochemical and rheological characteristics of commercial nixtamalised mexican maize flours for tortilla. *J Sci Food Agric*. 80:657-664.
26. Fossen T., Cabrita L., Andersen O.M., (1998). Colour and stability of pure anthocyanins influenced by pH include the alkaline region. *Food Chemistry* 63, 435–440.
27. Fossen T., Slimestad R., Andersen O.M. (2001). Anthocyanins from maize (*Zea mays*) and reed canarygrass (*Phalaris arundinacea*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49, 2318–2321.

28. Francis F.J. (1992). A new group of food colorants. *Trends in Food Science and Technology* 3, 27–31.
29. Gilabert Eduardo J. (1998). Medida del color. Ed. Universidad Politécnica de Valencia, pp 97; 113-119.
30. Gómez M. H., L. W. Rooney, R. D. Waniska and Pflugfelder R. L. (1987). Dry corn masa flours for tortilla and snack food production. *Cereal Foods World* 32: 372-377.
31. Gómez MH, Waniska RD and Rooney LW. (1990). Effects of nixtamalization and grinding conditions on the starch in masa. *Starch / Stärke*. 42(12):475-482.
32. Gómez MH, Lee LK, McDonough CM, Waniska RD and Rooney LW. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. *Cereal Chem.* 69(3): 275-279
33. Gómez M. H., Waniska R. D. and Rooney L. W. (1991). Starch characterization of nixtamalized corn flour. *Cereal Chem.* 68: 578-582.
34. González-Hernández J. (1997). Technological Modernization of the alkaline cooking process for the production of masa and tortilla. Eds. Physics and industrial development: Bridging the gap. Singapore and London. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.; 126-178
35. Guemes-Vera Norma, Hernández-Fuentes A.D, Reyes-Santamaría Ma. I., Aquino-Bolaños E.N., Mercado-Silva E. (1996) Caracterización Física, Química y Estructural de 3 Variedades de Elotes de Color de la Región del Valle de Tulancingo, Hidalgo. Instituto de Ciencias Agropecuarias-Universidad Autónoma de Hidalgo-CICyTA
36. Harborne J.B., T.J. Mabry y Helga M., (1975), *The Flavonoids Part I*, Academic Press, New York, USA.
37. Hogan A.G., Gillespie G.T., Kocturk O., O'Dell, B.L. y Flynn, L.M. (1955). The percentage of protein in corn and its nutritional properties. *Journal Nutrition*, 57: 225-239
38. Islam M. N., M. Lirio E., and F. Del Valle R. (1984). Mold inhibition in tortilla by dimethyl fumarate. *J. Food Processing and Preservation*. 8: 41-45.
39. Jackman R.L., Smith J.L., (1996). Anthocyanins and betalains, in: Hendry, G.A.F., Houghton, J.D. (Eds.), *Natural Food Colorants*. Chapman & Hall, New York, pp. 244–310.
40. J.B. Hutchings. (1994). *Food Colour and Appearance*, (Blackie Academic & Professional, London. U.K.)
41. Johnson B., A. L. Rooney W., and M. Khan N. (1980). Tortilla-making characteristics of micronized sorghum and corn flours. *Food Science*. 45: 671-673

42. Kamei H., Kojima T., Hasegawa M., Koid, T., Umeda T., Yucawa T., Terabe K. (1995). Suppression of tumor cell growth by anthocyanins in vitro. *Cancer Investigation* 13, 590–594.
43. Kayacier A., Rakesh K. Singh. (2003). Textural properties of baked tortilla chips. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 36, 463–466
44. Khan M. N., L. W. Rooney, D. T. Rosenow and F. R. Miller. (1980). Sorghums with improved tortilla making characteristics. *J. Food Sci.* 45: 720-725.
45. Kong J.M., Chia L.S., Goh N.K., Chia T.F., Brouillard R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64, 923–933.
46. Little A.C. (1973). «Color evaluation of foods - correlation of objective facts with subjective impressions», In *Sensory Evaluation of Appearance of Materials* (ASTM STO 545). Philadelphia: Am Soc. Testing and Materials, 109-127
47. Maga J. A. y Liu M. B. (1993). Hopi blue corn extrusion. *Development in Food Science*, 32,983–986.
48. Martínez F. E. H. (1997). Estudio bioquímico y nutrimental en tortillas de maíz elaboradas por un proceso de extrusión. Tesis de doctorado. Departamento de Biotecnología, Centro de investigación y de estudios avanzados del IPN (CINVESTAV). México
49. Martínez-Flores H. E., Gaytán-Martínez M., Figueroa-Cárdenas J. de D, Martínez-Bustos F., Reyes-Vega M. de la L. y Rodríguez-Vidal A. (2004). Effect of some preservatives on shelf-life of corn tortillas obtained from extruded masa efecto de algunos conservadores sobre la vida útil de tortillas de maíz obtenidas a partir de masa extrudida. *Agrociencia* 38: 285-292.
50. McCaig T.N. (2002) Extending the use of visible/near-infrared reflectance spectrophotometers to measure colour of food and agricultural products. *Food Research International* 35; 731–736.
51. Méndez-Montevalvo G., J. Solorza-Feria, M. Velázquez del V., N. Gómez-Montiel, Paredes-López O. y Bello-Pérez L. A. (2005). Chemical composition and calorimetric characterization of hybrids and varieties of maize cultivated in Mexico. *Agrociencia* 39: 267-274.
52. Ortega P.R.A., Sánchez J., Castillo G.F., Hernández J.M. (1991). Estado actual de los estudios Sobre maíces nativos de México, in: Ortega, R., Palomino, P.G., Castillo, H.F., González, G.V.A., Livera, H.M. (Eds.), *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos de México*. SOMEFI, A.C., México, pp. 161–196.
53. Paliwal L.P., G. Granados J.P. Marathée. (2001). *El Maíz en los Trópicos: mejoramiento y producción*. FAO. Roma, Italia.
54. Pascual-Teresa S.C., Santos-Buelga, Rivas-Gonzalo J.C. (2002). LCMC analysis of anthocyanins from purple corn cob. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82, 1003–1006.
55. Pflugfelder R. L., Rooney L. W., and Waniska R. D. (1988). Dry matter losses in commercial corn masa production. *Cereal Chem.* 65: 262-266.

56. Ramírez-Wong B., V.E. Sweat, P. I. Torres, Rooney. (1993). Development of two instrumental methods for corn masa texturas evaluation. *Cereal Chemistry*. 70:286-290
57. Ranhotra G. y Gelrot, J. (1988). Soluble and total dietary fiber in white bread. *Cereal Chem*, 65: 155- 156.
58. Robles de la T. RR. (1986). Cambios fisicoquímicos del almidón durante la nixtamalización del maíz. Tesis de maestría. ENCB-IPN. México.
59. Rodriguez ME, Yañez J. M., et. al. (1995). The influence of slaked lime content on the processing conditions of cooked maize tortillas: changes of thermal, structural and rheological properties. *Z. Lebensm Unters Forsch*, 201:236-240
60. Rooney L. W., and Suhendro E. L. (1999). Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. *Cereal Foods World* 44: 466-470.
61. Rosenthal A. J. BTech, MSc, PhD, MIFST. (2001). Textura de los Alimentos. Medida y percepción. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España.
62. Rossi A., Serraino I., Dugo P., DiPaola R., Mondelo, L., Genovese T., Morabito, D., Dugo G., Santebin L., Caputi A., Cuzzocrea S. (2003). Protective effects of anthocyanins from blackberry in a rat model of acute lung inflammation. *Free Radical Research*. 37, 891–900.
63. Saldana G. y Brown H.E. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J. Food Sci.*, 49: 1202- 1203
64. Salinas M.Y., Soto M.H., Martínez-Bustos F., Ortega R.P., Arellano Vásquez, J.L. (2003). Effect of alkaline cooking process on anthocyanins in pigmented maize grain. *Agrociencia* 37, 617–628.
65. Salinas M. Y., Pérez H. P. (1997). Calidad nixtamalera en maíces comerciales de México. *Revista Fitotecnica Mexicana* 20, 121-136.
66. Salinas M.Y., Soto M.H., Martínez-Bustos F., González V.H., Ortega, R.P. (1999). Análisis de antocianinas en maíces de grano azul y rojo provenientes de cuatro razas. *Revista Fitotecnica Mexicana* 22, 161–174.
67. Sefa-Dedeh S., Beatrice C., Sakyi-Dawson, E., Ohene A. E. (2004). Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. *Food Chemistry* 86; 317–324
68. Serna-Saldivar S.O. (1996). Química, Almacenamiento e Industrialización de los cereales. AGT editor, S.A. México.
69. Serna-Saldivar S. O., Knabe, D. A., Roodney, L. W., & Tanksley, T. D., Jr. (1987). Effect of lime cooking on energy and protein digestibilities of maize and sorghum. *Cereal Chemistry*, 64, 247– 252.

70. Serna-Saldivar S. O., Gomez M. H., & Roodney L. W. (1990). Technology chemistry and nutritive value of alkaline-cooked corn products. In Y. Pomeranz (Ed.), *Advances in cereal science and technology* (Vol. 10, pp. 243–295). St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists Inc.
71. Strack D., Wray V. (1989). Anthocyanins, in: Harborne, H.B. (Ed.), *Methods in Plant Biochemistry Plant Phenolics*, vol. I. Academic Press, New York, pp. 325–356.
72. Trejo A. Feria A. and Wild C.(1982). The role of alkaline treatment of corn for tortilla preparation. In: *Modification of Proteins. Advances in Chemistry Ser. No. 198.* Feeney RE and Whitaker JR,(eds). Am. Chem. Soc., Washington, D.C. pp:245-263
73. Wall J. W., & Carpenter K. J. (1988). Variation in ability of niacin in grain products. *Food Technology*, 42(10), 198–204.
74. Wang H., Cao G., Prior R.L. (1997). Oxygen radical absorbing capacity of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45, 304–309.
75. Watson A.S. (1987). *Structure and composition in corn. Chemistry and Technology.* Watson and Ramstan Eds. Published by the American Association of cereal Chemistry. Inc. St. Paul, USA.
76. Yau J. C., Waniska R. D. and Rooney L. W. (1994). Effects of food additives on storage stability of corn tortillas. *Cereal Foods World* 39: 396-402.
77. Zubirán S. (1996). *Tablas de valor nutritivo de los alimentos.* Instituto Nacional de Nutrición. Edición Internacional. Pp. 10-19

18 ANEXO I ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

Tabla 1. Determinación de Contenido de Humedad

DETERMINACION DE % DE HÚMEDAD

		Peso del pesafiltro a peso constante (g)	Peso pesafiltro + mtra. humeda (g)	Peso de la muestra húmeda (g)	Peso del pesafiltro + mtra. seca (g)	Peso de la muestra seca (g)	%H=(pmH pms)/(pm H)* 100	Promedio de %H	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	%H ± D std	
M A Í Z	Maiz azul1	18.5347	20.6421	2.1074	20.4575	1.9228	8.76	9.57	1.15	9.57±1.15	
	Maiz azul2	18.7443	20.7576	2.0133	20.5485	1.8042	10.39				
	Maiz rojo	19.0613	21.4433	2.382	21.1968	2.1355	10.35	10.12	0.32	10.12±0.32	
	Maiz rojo	18.7907	21.1835	2.3928	20.9466	2.1559	9.90				
	Maiz blanco	18.5347	21.2283	2.6936	20.9502	2.4155	10.32	10.58	0.36	10.58±0.36	
	Maiz blanco	18.6859	20.2845	1.5986	20.1114	1.4255	10.83				
T R T C O M E R C I A	TMR	18.9303	21.4972	2.5669	20.327	1.3967	45.59	45.24	0.49	45.24±0.49	
	TMR	19.4223	23.2533	3.831	21.5335	2.1112	44.89				
	TMRN	18.6792	22.498	3.8188	20.5284	1.8492	51.58	51.19	0.54	51.19±0.54	
	TMRN	18.6193	21.1218	2.5025	19.8502	1.2309	50.81				
	TWMB	18.5328	21.8115	3.2787	20.155	1.6222	50.52	50.27	0.36	50.27±0.36	
	TWMB	18.5774	22.1717	3.5943	20.3742	1.7968	50.01				
	TWMA	18.7715	22.2103	3.4388	20.7027	1.9312	43.84	44.16	0.45	44.16±0.45	
	TWMA	18.725	21.699	2.974	20.3762	1.6512	44.48				
	TS	19.001	21.3987	2.3977	20.3268	1.3258	44.71	44.01	0.99	44.01±0.99	
	TS	18.977	21.702	2.725	20.5218	1.5448	43.31				
	TSD	8.0088	10.4031	2.3943	9.2478	1.239	48.25	47.94	0.44	47.94±0.44	
	TSD	7.5789	9.4349	1.856	8.5509	0.972	47.63				
	T R T E X P E R	TMR exp	7.5802	9.7143	2.1341	8.7927	1.2125	43.18	42.84	0.49	42.84±0.49
		TMR exp	8.2993	11.1387	2.8394	9.932	1.6327	42.50			
MMR exp		18.725	21.6685	2.9435	20.1083	1.3833	53.00	53.25	0.35	53.25±0.35	
MMR exp		7.8648	9.687	1.8222	8.7122	0.8474	53.50				
TMA exp		18.9299	22.2347	3.3048	20.7202	1.7903	45.83	45.84	0.02	45.84±0.02	
TMA exp		19.003	22.1327	3.1297	20.6975	1.6945	45.86				
MMA exp		19.4216	22.0644	2.6428	20.5516	1.13	57.24	57.40	0.22	57.40±0.22	
MMA exp		18.5329	21.0647	2.5318	19.6077	1.0748	57.55				
TMB exp		18.6193	22.3238	3.7045	20.6466	2.0273	45.27	45.16	0.16	45.16±0.16	
TMB exp		18.6802	21.451	2.7708	20.2028	1.5226	45.05				
MMB exp		18.5756	22.0295	3.4539	20.1036	1.528	55.76	55.10	0.94	55.10±0.94	
MMB exp		8.2838	10.6087	2.3249	9.3432	1.0594	54.43				
T R T A R 1	TMR Eco art	7.7756	10.7442	2.9686	9.4396	1.664	43.95	43.56	0.55	50.49±0.27	
	TMR Eco art	8.1291	10.9327	2.8036	9.7224	1.5933	43.17				
	MMR Eco art	7.7739	9.8095	2.0356	8.88	1.1061	45.66	46.57	1.29	56.49±0.03	
	MMR Eco art	7.1608	9.5984	2.4376	8.441	1.2802	47.48				
	TMA Eco art	7.7975	10.0778	2.2803	8.9761	1.1786	48.31	48.13	0.26	48.13±0.26	
	TMA Eco art	8.3072	10.4208	2.1136	9.4073	1.1001	47.95				
	MMA Eco art	6.9825	9.2193	2.2368	7.9761	0.9936	55.58	55.72	0.19	55.72±0.19	
	MMA Eco art	7.9648	10.0163	2.0515	8.8705	0.9057	55.85				
T R T A R 2	TMR mdo art	7.9858	10.8601	2.8743	9.5457	1.5599	45.73	45.92	0.27	45.92±0.27	
	TMR mdo art	7.1632	9.8793	2.7161	8.627	1.4638	46.11				
	MMR mdo art	8.3753	10.7682	2.3929	9.3155	0.9402	60.71	60.53	0.26	60.53±0.26	
	MMR Mdo art	7.6253	9.9416	2.3163	8.5438	0.9185	60.35				
	TMA Mdo art	7.6728	10.4934	2.8206	9.2762	1.6034	43.15	42.94	0.30	42.94±0.30	
	TMA Mdo art	7.6151	9.9335	2.3184	8.9428	1.3277	42.73				
	MMA Mdo art	8.3079	10.9278	2.6199	9.8149	1.507	42.48	41.84	0.90	57.70±0.07	
	MMA Mdo art	6.9812	9.4128	2.4316	8.4109	1.4297	41.20				

Tabla 2. Determinación de Contenido de cenizas

DETERMINACION DE % DE CENIZA

	MUESTRAS	Peso del crisol a peso constante (g)	Peso crisol+mtra (g)	Peso de la muestra (g)	Peso del crisol + cenizas (g)	Peso de cenizas (g)	% HUMEDAD	%C=(pmH-pms)/(pmH)* 100 en BS	%C=(pmH-pms)/(pmH)* 100 en BH	Promedio de %C BH	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	%C± D std
M A Í Z	Maiz azul1	29.7494	33.0886	3.3392	29.7799	0.0305		0.91	1.00	0.12	1.00±0.12	
	Maiz azul2	26.0607	30.4764	4.4157	26.1088	0.0481		1.09				
	Maiz rojo	28.7384	30.9102	2.1718	28.758	0.0196		0.89	0.01	0.89±0.01		
	Maiz rojo	28.3573	30.9201	2.5628	28.3799	0.0226					0.88	
	Maiz blanco	30.1966	33.3393	3.1427	30.2267	0.0301		0.97	0.02	0.97±0.02		
	Maiz blanco	26.8794	31.571	4.6916	26.9258	0.0464					0.99	
T R T C O M E R C I A	TMR	26.8849	28.6838	1.7989	26.9199	0.035	45.24	1.95	1.07	1.07	0.00	1.07±0.00
	TMR	29.7527	33.0516	3.2989	29.8169	0.0642		1.95	1.07			
	TMRN	26.0644	29.7531	3.6887	26.1295	0.0651	51.19	1.76	0.86	0.86	0.00	0.86±0.00
	TMRN	28.3511	30.7836	2.4325	28.394	0.0429		1.76	0.86			
	TWMB	28.7397	31.1696	2.4299	28.7708	0.0311	50.27	1.28	0.64	0.63	0.01	0.63±0.01
	TWMB	30.2022	32.6337	2.4315	30.2327	0.0305		1.25	0.62			
	TWMA	27.3159	29.9113	2.5954	27.361	0.0451	44.16	1.74	0.97	0.98	0.01	0.98±0.01
	TWMA	26.3057	28.6154	2.3097	26.3464	0.0407		1.76	0.98			
	TS	25.9476	28.9663	3.0187	26.0068	0.0592	44.01	1.96	1.10	1.09	0.02	1.09±0.02
	TS	24.8045	27.4406	2.6361	24.8551	0.0506		1.92	1.07			
	TSD	25.0203	28.6974	3.6771	25.1139	0.0936	47.94	2.55	1.33	1.30	0.03	1.30±0.03
	TSD	23.5425	25.9993	2.4568	23.6029	0.0604		2.46	1.28			
	T R T E X P E R	TMR exp	24.8055	28.9598	4.1543	24.839	0.0335		0.81	0.84	0.04	0.84±0.04
		TMR exp	26.0656	29.9449	3.8793	26.0992	0.0336		0.87			
MMR exp		26.3062	31.1931	4.8869	26.3361	0.0299	0.63		0.02	0.63±0.02		
MMR exp		28.3522	32.6038	4.2516	28.3797	0.0275					0.65	
TMA exp		25.0212	29.0751	4.0539	25.057	0.0358	0.87		0.02	0.87±0.02		
TMA exp		27.3193	30.7926	3.4733	27.349	0.0297					0.86	
MMA exp		26.8849	31.2649	4.38	26.9111	0.0262	0.59		0.01	0.59±0.01		
MMA exp		28.7415	32.187	3.4455	28.7616	0.0201					0.58	
TMB exp		29.7541	34.105	4.3509	29.7906	0.0365	0.84		0.00	0.84±0.00		
TMB exp		23.5412	27.71	4.1688	23.5761	0.0349					0.84	
MMB exp		30.2028	34.653	4.4502	30.2289	0.0261	0.60		0.02	0.60±0.02		
MMB exp		25.9494	30.3477	4.3983	25.9764	0.027					0.61	
T R T A R 1	TMR Eco art	24.6489	27.4758	2.8269	24.7056	0.0567	50.49	2.01	0.99	1.03	0.05	1.03±0.05
	TMR Eco art	29.9464	32.8068	2.8604	30.0075	0.0611		2.14	1.06			
	MMR Eco art	29.672	32.4236	2.7516	29.7243	0.0523	56.49	1.90	0.83	0.89	0.09	0.89±0.09
	MMR Eco art	29.5006	32.6045	3.1039	29.5683	0.0677		2.18	0.95			
	TMA Eco art	25.9502	29.92	3.9698	26.0479	0.0977	48.13	2.46	1.28	1.24	0.05	1.24±0.05
	TMA Eco art	25.0226	28.4953	3.4727	25.1032	0.0806		2.32	1.20			
	MMA Eco art	27.9968	30.9463	2.9495	28.0611	0.0643	55.72	2.18	0.97	1.01	0.07	1.01±0.07
	MMA Eco art	24.3363	27.2042	2.8679	24.4049	0.0686		2.39	1.06			
T R T A R 2	TMR mdo art	24.6514	27.9226	3.2712	24.774	0.1226	45.92	3.75	2.03	2.04	0.02	2.04±0.02
	TMR mdo art	25.0248	29.0497	4.0249	25.1774	0.1526		3.79	2.05			
	MMR Mdo art	27.9991	33.1605	5.1614	28.1842	0.1851	60.53	3.59	1.42	1.41	0.01	1.41±0.01
	MMR Mdo art	24.3399	28.3878	4.0479	24.484	0.1441		3.56	1.41			
	TMA Mdo art	25.9531	30.0609	4.1078	26.0455	0.0924	42.94	2.25	1.28	1.27	0.01	1.27±0.01
	TMA Mdo art	29.9438	33.2358	3.292	30.0168	0.073		2.22	1.27			
	MMA Mdo art	29.6743	33.3415	3.6672	29.7576	0.0833	57.70	2.27	0.96	0.95	0.01	0.95±0.01
	MMA Mdo art	29.5033	33.6647	4.1614	29.5964	0.0931		2.24	0.95			

Tabla 3. Determinación de Contenido de Proteína

DETERMINACION DE % PROTEÍNA

	MUESTRAS	Peso de la muestra (g)	N _{HCl}	Volumen gastado de HCl (ml)	mL gastados del blanco	% N	Factor	%Proteína BS	% Humedad	% Proteína BH	Promedio de %P BH	DESVIACIÓN ESTÁNDAR				
M A Í Z	Maiz azul1	1.3839	0.014	114	2	1.59	6.25			9.91	9.86	0.07				
	Maiz azul2	1.3362	0.014	109	2	1.57	6.25			9.81						
	Maiz rojo	1.1804	0.014	92.3	2	1.50	6.25			9.37	8.48		1.26			
	Maiz rojo	1.5037	0.014	95.1	2	1.21	6.25			7.58						
	Maiz blanco	1.0806	0.014	91.6	2	1.63	6.25			10.16	11.35		1.68			
	Maiz blanco	1.1436	0.014	119	2	2.01	6.25			12.53						
T R T C O M E R C I A	TMR	0.1641	0.106	1.5	0.1	1.27	6.25	7.91	45.24	4.33	4.27	0.08				
	TMR	0.1566	0.106	1.4	0.1	1.23	6.25	7.70		4.22						
	TMRN	0.1391	0.106	1.4	0.1	1.39	6.25	8.67	51.19	4.23	4.41	0.25				
	TMRN	0.1085	0.106	1.2	0.1	1.50	6.25	9.40		4.59						
	TWMB	0.1521	0.106	1.4	0.1	1.27	6.25	7.93	50.27	3.94	3.89	0.07				
	TWMB	0.1201	0.106	1.1	0.1	1.24	6.25	7.72		3.84						
	TWMA	0.1287	0.106	1.2	0.1	1.27	6.25	7.93	44.16	4.43	4.77	0.48				
	TWMA	0.1115	0.106	1.2	0.1	1.46	6.25	9.15		5.11						
	TS	0.1166	0.106	1.2	0.1	1.40	6.25	8.75	44.01	4.90	4.82	0.11				
	TS	0.1422	0.106	1.4	0.1	1.36	6.25	8.48		4.75						
	TSD	0.1522	0.106	1.5	0.1	1.37	6.25	8.53	47.94	4.44	4.21	0.32				
	TSD	0.1938	0.106	1.7	0.1	1.23	6.25	7.66		3.99						
	T R T E X P E R	TMR exp	0.1122	0.106	0.6	0.1	0.66	6.25			4.13	4.21	0.10			
		TMR exp	0.13	0.106	0.7	0.1	0.68	6.25			4.28					
MMR exp		0.1057	0.106	0.5	0.1	0.56	6.25	3.51			3.83	0.45				
MMR exp		0.1117	0.106	0.6	0.1	0.66	6.25	4.15								
TMA exp		0.1124	0.106	0.7	0.1	0.79	6.25	4.95			4.90	0.08				
TMA exp		0.115	0.106	0.7	0.1	0.77	6.25	4.84								
MMA exp		0.1205	0.106	0.5	0.1	0.49	6.25	3.08			3.19	0.15				
MMA exp		0.1126	0.106	0.5	0.1	0.53	6.25	3.29								
TMB exp		0.1264	0.106	0.7	0.1	0.70	6.25	4.40			4.67	0.37				
TMB exp		0.1317	0.106	0.8	0.1	0.79	6.25	4.93								
MMB exp		0.1489	0.106	0.7	0.1	0.60	6.25	3.74			3.95	0.31				
MMB exp		0.1334	0.106	0.7	0.1	0.67	6.25	4.17								
T R T A R 1		TMR Eco art	0.146	0.011	14.7	0.35	1.51	6.25			9.46	50.49		4.68	4.70	0.02
		TMR Eco art	0.1148	0.011	11.7	0.35	1.52	6.25			9.52			4.71		
	MMR Eco art	0.1025	0.011	10.2	0.35	1.48	6.25	9.25	56.49	4.02	4.06	0.06				
	MMR Eco art	0.123	0.011	12.4	0.35	1.51	6.25	9.43		4.10						
	TMA Eco art	0.1105	0.011	10.7	0.35	1.44	6.25	9.02	48.13	4.68	4.76	0.12				
	TMA Eco art	0.1426	0.011	14.2	0.35	1.50	6.25	9.35		4.85						
	MMA Eco art	0.1482	0.011	14.5	0.35	1.47	6.25	9.19	55.72	4.07	4.10	0.04				
	MMA Eco art	0.1131	0.011	11.3	0.35	1.49	6.25	9.32		4.13						
T R T A R 2	TMR mdo art	0.1243	0.011	15.2	0.35	1.84	6.25	11.50	45.92	6.22	6.12	0.14				
	TMR mdo art	0.1508	0.011	17.8	0.35	1.78	6.25	11.14		6.02						
	MMR Mdo art	0.1239	0.011	15	0.35	1.82	6.25	11.38	60.53	4.49	4.44	0.07				
	MMR Mdo art	0.1338	0.011	15.8	0.35	1.78	6.25	11.11		4.39						
	TMA Mdo art	0.1249	0.011	13.9	0.35	1.67	6.25	10.44	42.94	5.96	5.91	0.07				
	TMA Mdo art	0.1241	0.011	13.6	0.35	1.64	6.25	10.28		5.86						
	MMA Mdo art	0.1023	0.011	10.9	0.35	1.59	6.25	9.93	57.70	4.20	4.29	0.13				
	MMA Mdo art	0.1344	0.011	14.8	0.35	1.66	6.25	10.35		4.38						

Tabla 4. Determinación de Contenido de Grasa

Determinación de % Grasa

	MUESTRAS	Peso matraz peso cte(g)	Peso de la muestra (g)	Peso del matraz+ grasa (g)	Peso de grasa (g)	% HUMEDAD	%Grasa BS	%Grasa en BH	Promedio de %G BH	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
M A Í Z	Maiz azul1	67.0235	5.6045	67.2611	0.2376			4.24	4.00	0.33
	Maiz azul2	68.1891	6.8855	68.4486	0.2595			3.77		
	Maiz rojo	67.1671	7.5343	67.4085	0.2414			3.20	3.31	0.15
	Maiz rojo	68.8934	7.0036	69.1323	0.2389			3.41		
	Maiz blanco	63.6354	5.673	63.8728	0.2374			4.18	3.97	0.30
	Maiz blanco	60.7991	5.9326	61.0219	0.2228			3.76		
T R T C O M E R C I A	TMR	97.336	4.9835	97.4309	0.0949	45.24	1.90	1.04	0.89	0.22
	TMR	96.8937	4.8714	96.959	0.0653		1.34	0.73		
	TMRN	98.9831	4.7747	99.056	0.0729	51.19	1.53	0.75	0.68	0.09
	TMRN	99.3088	4.946	99.3716	0.0628		1.27	0.62		
	TWMB	104.0737	5.0925	104.1779	0.1042	50.27	2.05	1.02	1.02	0.01
	TWMB	104.5917	4.8835	104.6927	0.101		2.07	1.03		
	TWMA	103.3526	4.9358	103.4281	0.0755	44.16	1.53	0.85	0.88	0.04
	TWMA	110.135	4.8478	110.214	0.079		1.63	0.91		
	TS	95.7107	4.4345	95.8021	0.0914	44.01	2.06	1.15	1.08	0.11
	TS	111.3184	4.9136	111.4065	0.0881		1.79	1.00		
	TSD	110.9681	4.9781	111.0478	0.0797	47.94	1.60	0.83	0.94	0.15
	TSD	105.4201	4.6291	105.5136	0.0935		2.02	1.05		
T R T E X P E R	TMR exp	110.2822	4.1966	110.3717	0.0895			2.13	2.00	0.19
	TMR exp	95.2044	4.1566	95.2817	0.0773			1.86		
	MMR exp	108.6607	4.1897	108.739	0.0783			1.87	1.91	0.06
	MMR exp	104.2277	4.3957	104.3138	0.0861			1.96		
	TMA exp	106.7812	4.2916	106.8573	0.0761			1.77	2.12	0.48
	TMA exp	107.7314	4.1526	107.8335	0.1021			2.46		
	MMA exp	108.2556	4.0611	108.3275	0.0719			1.77	2.22	0.64
	MMA exp	96.9072	3.9728	97.0134	0.1062			2.67		
	TMB exp	110.889	4.2716	110.9795	0.0905			2.12	1.95	0.24
	TMB exp	111.4494	4.1176	111.5224	0.073			1.77		
	MMB exp	108.8221	4.3346	108.8911	0.069			1.59	1.75	0.22
	MMB exp	103.2774	4.22	103.3577	0.0803			1.90		
T R T A R 1	TMR Eco art	115.2665	4.3652	115.3278	0.0613	50.49	1.40	0.70	0.67	0.04
	TMR Eco art	96.9873	4.0364	97.0398	0.0525		1.30	0.64		
	MMR Eco art	108.7058	3.6718	108.8761	0.1703	56.49	4.64	2.02	1.95	0.10
	MMR Eco art	108.2381	3.4366	108.3867	0.1486		4.32	1.88		
	TMA Eco art	103.1344	3.787	103.1932	0.0588	48.13	1.55	0.81	0.86	0.08
	TMA Eco art	110.7007	3.8505	110.7693	0.0686		1.78	0.92		
	MMA Eco art	99.4137	3.3633	99.5534	0.1397	55.72	4.15	1.84	1.84	0.00
	MMA Eco art	100.446	3.0105	100.5711	0.1251		4.16	1.84		
T R T A R 2	TMR mdo art	104.4947	4.3337	104.5701	0.0754	45.92	1.74	0.94	0.90	0.05
	TMR mdo art	106.5636	3.1801	106.6146	0.051		1.60	0.87		
	MMR Mdo art	114.391	3.4644	114.5021	0.1111	60.53	3.21	1.27	1.27	0.00
	MMR Mdo art	110.7217	4.2042	110.8572	0.1355		3.22	1.27		
	TMA Mdo art	103.4417	3.6337	103.4934	0.0517	42.94	1.42	0.81	0.84	0.03
	TMA Mdo art	95.7325	4.1132	95.7944	0.0619		1.50	0.86		
	MMA Mdo art	103.225	4.3234	103.3954	0.1704	57.70	3.94	1.67	1.53	0.19
	MMA Mdo art	105.3555	4.4027	105.501	0.1455		3.30	1.40		

Tabla 5. Determinación de Contenido de Carbohidratos reductores

DETERMINACION DE CARBOHIDRATOS REDUCTORES (GLUCOSA, MALTOSACARIDOS)

MUESTRAS	Peso mtra desengrasada	Abs 540 nm (1)	Abs 540 nm (2)	Abs 540 nm (3)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	%Grasa	X=(y+0.057)/0.0009	X=(y+0.057)/0.0009	X=(y+0.057)/0.0009	X=(y+0.057)/0.0009	Concentración de CHO'S Red (mg/mL)	PROMEDIO Concentración de CHO'S Red (mg/mL)	% CHO's red en mtra desengrasada	% CHO's red en mtra desengrasada	% CHO's red en mtra desengrasada	PROMEDIO % CHO's red en mtra desengrasada	% CHO's red en mtra original	% CHO's red en mtra original	% CHO's red en mtra original	PROMEDIO % CHO's red en mtra original			
							Concentración de CHO'S Red (µg/mL)						Concentración de CHO'S Red en mtra desengrasada	Concentración de CHO'S Red en mtra original									
Maiz azul	1.1074	0.032	0.033	0.032	0.001	4.00	96.74	97.826	96.739	97.10	0.097	0.098	0.0967	0.10	6.99	7.067	6.989	7.01	6.720	6.795	6.7195	6.74	
Maiz rojo	1.0537	0.026	0.021	0.026	0.003	3.31	90.22	84.783	90.217	88.41	0.090	0.085	0.0902	0.09	6.85	6.437	6.850	6.71	6.630	6.231	6.6303	6.50	
Maiz blanco	1.1653	0.06	0.061	0.061	0.001	3.97	127.17	128.261	127.54	127.54	0.127	0.127	0.1283	0.13	8.73	8.731	8.805	8.76	8.397	8.397	8.4691	8.42	
TMR	1.0415	0.069	0.064	0.069	0.003	0.89	136.96	131.522	136.957	135.14	0.137	0.132	0.1370	0.14	10.52	10.102	10.520	10.38	10.427	10.014	10.4273	10.29	
TMRN	1.0555	0.026	0.029	0.024	0.003	0.68	90.22	93.478	88.043	90.58	0.090	0.093	0.0880	0.09	6.84	7.085	6.673	6.87	6.792	7.037	6.6279	6.82	
TWMA	1.0217	0.039	0.037	0.043	0.003	1.02	104.35	102.174	108.696	105.07	0.104	0.102	0.1087	0.11	8.17	8.000	8.511	8.23	8.088	7.919	8.4248	8.14	
TWMA	1.3062	0.044	0.04	0.048	0.004	0.88	109.78	105.435	114.130	109.78	0.110	0.105	0.1141	0.11	6.72	6.457	6.990	6.72	6.665	6.401	6.9290	6.66	
TS	1.0187	0.068	0.067	0.067	0.001	1.08	135.87	134.783	134.783	135.14	0.136	0.135	0.1348	0.14	10.67	10.585	10.585	10.61	10.556	10.472	10.4717	10.50	
TSD	1.0391	0.032	0.03	0.033	0.002	0.94	96.74	94.565	97.826	96.38	0.097	0.095	0.0978	0.10	7.45	7.281	7.532	7.42	7.378	7.213	7.4613	7.35	
TMR exp	1.3115	0.026	0.021	0.029	0.004	2.00	90.22	84.783	93.478	89.49	0.090	0.085	0.0935	0.09	5.50	5.172	5.702	5.46	5.395	5.070	5.5905	5.35	
MMR exp	1.5056	0.078	0.08	0.08	0.001	1.91	146.74	148.913	148.913	148.19	0.147	0.149	0.1489	0.15	7.80	7.912	7.912	7.87	7.651	7.764	7.7639	7.73	
TMA exp	1.1945	0.024	0.027	0.025	0.002	2.12	88.04	91.304	89.130	89.49	0.088	0.091	0.0891	0.09	5.90	6.115	5.969	5.99	5.774	5.988	5.8457	5.87	
MMA exp	1.0861	0.025	0.026	0.026	0.001	2.22	89.13	90.217	90.217	89.86	0.089	0.090	0.0902	0.09	6.57	6.645	6.645	6.62	6.422	6.501	6.5008	6.47	
TMB exp	1.2568	0.052	0.051	0.051	0.001	1.95	118.48	117.391	117.391	117.75	0.118	0.117	0.1174	0.12	7.54	7.472	7.472	7.50	7.398	7.330	7.3298	7.35	
MMB exp	1.0329	0.033	0.034	0.031	0.002	1.75	97.83	98.913	95.652	97.46	0.098	0.099	0.0957	0.10	7.58	7.661	7.408	7.55	7.447	7.529	7.2812	7.42	
TMR Eco art	1.0820	0.114	0.112	0.123	0.006	0.67	185.87	183.696	195.652	188.41	0.186	0.184	0.1957	0.19	13.73	13.571	14.454	13.92	13.640	13.480	14.3578	13.83	
MMR Eco art	1.1495	0.121	0.129	0.123	0.004	1.95	193.48	202.174	195.652	197.10	0.193	0.202	0.1957	0.20	13.47	14.070	13.617	13.72	13.208	13.801	13.3561	13.46	
TMA Eco art	1.1062	0.038	0.032	0.037	0.003	0.86	103.26	96.739	102.174	100.72	0.103	0.097	0.1022	0.10	7.47	6.996	7.389	7.28	7.404	6.936	7.3238	7.22	
MMA Eco art	1.0367	0.059	0.058	0.057	0.001	1.84	126.09	125.000	123.913	125.00	0.126	0.125	0.1239	0.13	9.03	9.646	9.562	9.65	9.554	9.472	9.3894	9.47	
TMR mdo art	1.1558	0.037	0.032	0.034	0.003	0.90	102.17	96.739	98.913	99.28	0.102	0.097	0.0989	0.10	7.07	6.696	6.846	6.87	7.009	6.636	6.7850	6.81	
MMR Mdo art	1.1667	0.045	0.041	0.043	0.002	1.27	110.87	106.522	108.696	108.70	0.111	0.107	0.1087	0.11	7.60	7.304	7.453	7.45	7.507	7.213	7.3598	7.36	
TMA Mdo art	1.1748	0.06	0.061	0.063	0.002	0.84	127.17	128.261	130.435	128.62	0.127	0.128	0.1304	0.13	8.66	8.734	8.882	8.76	8.588	8.662	8.8086	8.69	
MMA Mdo art	1.0502	0.075	0.073	0.074	0.001	1.53	143.48	141.304	142.391	142.39	0.143	0.141	0.1424	0.14	11.14	10.973	11.057	11.06	10.974	10.807	10.8905	10.89	

Tabla 6. Determinación del contenido de almidón (KI/I)

DETERMINACION DE ALMIDON - FORMA QUIMICA KI/I

MUESTRAS	Peso mtra desengrasada	Abs 600 nm (1)	Abs 600 nm (2)	Abs 600 nm (3)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	%Grasa	X=(Abs-0.2724)/0.0067	X=(Abs-0.2724)/0.0067	X=(Abs-0.2724)/0.0067	% Almidón en muestra desengrasada	% Almidón en muestra desengrasada	% Almidón en muestra desengrasada	PROMEDIO % Almidón en muestra desengrasada	PROMEDIO % CHO's red en mtra original	% CHO's red en mtra original	% CHO's red en mtra original	% CHO's red en mtra original	PROMEDIO % CHO's red en mtra original
							Concentración de Almidón (µg/mL)	Concentración de Almidón (µg/mL)	Concentración de Almidón (µg/mL)					Concentración de Almidón en mtra original				
Maiz azul	0.2128	0.602	0.599	0.595	0.004	4.00	49.194	48.746	48.149	57.794	57.268	56.566	57.209	55.007	55.569	55.063	54.389	55.007
Maiz rojo	0.2002	0.611	0.613	0.605	0.004	3.31	50.537	50.836	49.642	63.109	63.481	61.990	62.860	60.847	61.088	61.449	60.006	60.847
Maiz blanco	0.192	0.55	0.563	0.569	0.010	3.97	41.433	43.373	44.269	53.949	56.475	57.641	56.022	53.883	51.889	54.319	55.440	53.883
TMR	0.2392	0.817	0.826	0.807	0.010	0.89	81.284	82.627	79.791	33.981	34.543	33.357	33.961	33.662	33.682	34.239	33.064	33.662
TMRN	0.2219	0.799	0.801	0.797	0.002	0.68	78.597	78.896	78.299	35.420	35.555	35.285	35.420	35.180	35.180	35.314	35.046	35.180
TWMB	0.2325	0.7	0.729	0.639	0.046	1.02	63.821	68.149	54.716	27.450	29.312	23.534	26.765	26.494	27.172	29.015	23.296	26.494
TWMA	0.21	0.675	0.639	0.658	0.018	0.88	60.090	54.716	57.552	28.614	26.055	27.406	27.358	27.119	28.364	25.828	27.166	27.119
TS	0.212	0.453	0.456	0.455	0.002	1.08	26.955	27.403	27.254	31.787	32.315	32.139	32.080	31.738	31.448	31.970	31.796	31.738
TSD	0.21	0.449	0.455	0.453	0.003	0.94	26.358	27.254	26.955	31.379	32.445	32.090	31.971	31.673	31.086	32.142	31.790	31.673
TMR exp	0.2436	0.53	0.534	0.504	0.016	2.00	38.448	39.045	34.567	39.458	40.071	35.475	38.335	37.584	38.686	39.286	34.781	37.584
MMR exp	0.2148	0.832	0.839	0.834	0.004	1.91	83.522	84.567	83.821	38.884	39.370	39.023	39.092	38.358	38.154	38.631	38.290	38.358
TMA exp	0.207	0.795	0.802	0.788	0.007	2.12	78.000	79.045	76.955	37.681	38.186	37.176	37.681	36.900	36.900	37.395	36.406	36.900
MMA exp	0.1964	0.791	0.796	0.793	0.003	2.22	77.403	78.149	77.701	39.411	39.791	39.563	39.588	38.728	38.554	38.926	38.703	38.728
TMB exp	0.222	0.843	0.874	0.885	0.022	1.95	85.164	89.791	91.433	38.362	40.446	41.186	39.998	39.235	37.630	39.674	40.400	39.235
MMB exp	0.2232	0.856	0.86	0.857	0.002	1.75	87.104	87.701	87.254	39.025	39.293	39.092	39.137	38.465	38.355	38.618	38.421	38.465
TMR Eco art	0.1984	0.57	0.573	0.571	0.002	0.67	44.418	44.866	44.567	22.388	22.614	22.463	22.488	22.339	22.339	22.463	22.314	22.339
MMR Eco art	0.2166	0.47	0.456	0.439	0.016	1.95	29.493	27.403	24.866	34.000	31.629	28.700	31.456	30.855	33.389	31.024	28.151	30.855
TMA Eco art	0.2083	0.595	0.596	0.598	0.002	0.86	48.149	48.299	48.597	23.115	23.187	23.330	23.211	23.012	22.917	22.988	23.130	23.012
MMA Eco art	0.2038	0.682	0.615	0.618	0.038	1.84	61.134	51.134	51.582	29.997	25.090	25.310	26.799	26.315	29.455	24.637	24.853	26.315
TMR mdo art	0.2067	0.6	0.609	0.605	0.005	0.90	48.896	50.239	49.642	23.655	24.305	24.016	23.992	23.777	23.443	24.087	23.801	23.777
MMR Mdo art	0.195	0.676	0.681	0.677	0.003	1.27	60.239	60.985	60.388	30.892	31.274	30.968	31.045	30.656	30.505	30.882	30.580	30.656
TMA Mdo art	0.2219	0.798	0.813	0.816	0.010	0.84	78.448	80.687	81.134	35.353	36.362	36.563	36.093	35.794	35.060	36.		

Tabla 7. Determinación del contenido de almidón (Vía enzimática)

DETERMINACION DE ALMIDÓN FORMA ENZIMÁTICA

Valores de absorbancia para 100 microgramos del estandar de D-glucosa a 510 nm :

Replica 1	Replica 2	Promedio
1.0545	1.0622	1.0584

F= 100 (µg glucosa)/absorción de 100 µg de glucosa) por tanto: **94.4867=F**

MUESTRAS	Peso mtra (mg)	Peso mtra (g)	Abs 510 nm (a)	Abs 510 nm (b)	Promedio de Abs a 540 nm	% Almidón BH	% Humedad	% Almidón BS	Valor corregido %Alm BH	Valor corregido %Alm BS	% Almidón promedio BH	% Almidón promedio Bs	
M A I Z	Maiz azul 1	107.1	0.1071	0.7933	0.7562	0.7748	61.5156	9.57	68.03	61.71	68.25	66.18	73.19
	Maiz azul 2	102.3	0.1023	0.8613	0.866	0.8637	71.7919	9.57	79.39	71.99	79.61		
	Maiz azul 3	104.9	0.1049	0.8157	0.779	0.7974	64.6378	9.57	71.48	64.83	71.70		
	Maiz rojo 1	108.5	0.1085	0.8451	0.9106	0.8779	68.8024	10.12	76.55	69.00	76.77	66.61	74.12
	Maiz rojo 2	103.7	0.1037	0.7341	0.8179	0.7760	63.6350	10.12	70.80	63.83	71.02		
	Maiz rojo 3	104.9	0.1049	0.8146	0.8338	0.8242	66.8144	10.12	74.34	67.01	74.56		
	Maiz blanco 1	101.6	0.1016	0.8552	0.845	0.8501	71.1524	10.58	79.57	71.35	79.79	63.89	71.45
	Maiz blanco 2	100.5	0.1005	0.7128	0.7066	0.7097	60.0512	10.58	67.15	60.25	67.37		
	Maiz blanco 3	105	0.105	0.7308	0.7479	0.7394	59.8789	10.5763	66.96	60.07	67.18		
	Kit de almidon 1	99.8	0.0998	1.0202	1.0469	1.0336	88.0672	12.2449	100.36				
Kit de almidón 2	100.2	0.1002	0.9633	1.0055	0.9844	83.5443	12.24	95.20					
Promedio de % almidon del Kit						85.8058		97.78					
Valor esperado						86		98					
%Error						0.1942		0.22					

18.1 ANEXO II ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Ejemplo de Análisis Estadístico (Contenido de cenizas en muestras de tortillas de maíz azul, rojo y blanco)

1º Detección de valores anómalos

Se realizó el análisis de gráfico de cajas (Box-and-Whisker Plot) para detectar los datos “outliers” alejados del valor medio que pudieran interferir en los análisis posteriores. Un valor anómalo se representa con un cuadrado con una cruz en el centro. En el caso de esta gráfica, no se presento ningún valor anómalo.

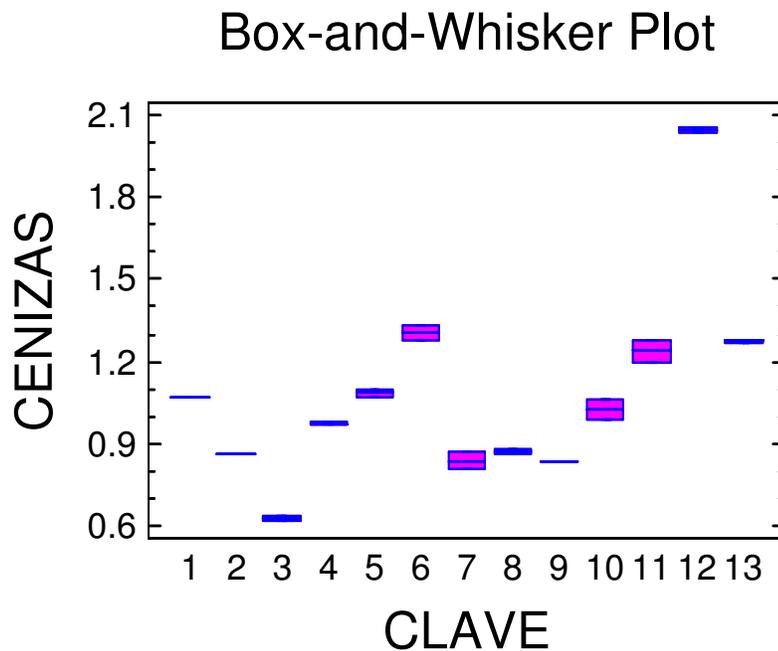


Gráfico 1. Gráfico de cajas (Box-and-Whisker Plot)

1 Tortilla milpa real, 2 Tortilla milpa real nixtamalizada, 3 Tortilla de Wal Mart blanca, 4 Tortilla de Wal Mart azul, 5 Tortilla de Superma, 6 Tortilla de Superama, 7 Tortilla de maíz rojo experimental, 8 Tortilla de maíz azul experimental, 9 Tortilla de maíz blanco experimental, 10 Tortilla de maíz rojo artesanal 1, 11 Tortilla de maíz azul artesanal 1, 12 Tortilla de maíz rojo artesanal 2, 13 Tortilla de maíz azul artesanal 2

Una vez verificado que no existían valores anómalos y que los datos seguían una distribución normal, se llevó a cabo los análisis estadísticos que se describen a continuación.

- Cuadros de los parámetros estadísticos del contenido de cenizas en tortillas de maíz azul, rojo y blanco.

Tabla 1. Parámetros estadísticos

Muestra	Count	Average	Median	Variance	Desviación Estándar	Error Estándar
1	2	1.07	1.07	0	0	0
2	2	0.86	0.86	0	0	0
3	2	0.63	0.63	0.0002	0.0141421	0.01
4	2	0.975	0.975	0.00005	0.00707107	0.005
5	2	1.085	1.085	0.00045	0.0212132	0.015
6	2	1.305	1.305	0.00125	0.0353553	0.025
7	2	0.84	0.84	0.0018	0.0424264	0.03
8	2	0.87	0.87	0.0002	0.014141	0.01
9	2	0.84	0.84	0	0	0
10	2	1.025	1.025	0.00245	0.0494975	0.035
11	2	1.24	1.24	0.0032	0.0565685	0.04
12	2	2.04	2.04	0.0002	0.0141421	0.01
13	2	1.275	1.275	0.00005	0.00707107	0.005
TOTAL	26	1.08115	1.025	0.117211	0.34236	0.0671424

Tabla 2. Parámetros estadísticos

Muestra	Valor Mínimo	Valor Máximo	Rango	Lower quartile	Upper quartile	Coefficiente de variación
1	1.07	1.07	0	1.07	1.07	0.00%
2	0.86	0.86	0	0.86	0.86	0.00%
3	0.62	0.64	0.02	0.62	0.64	2.244780%
4	0.97	0.98	0.01	0.97	0.98	0.725238%
5	1.07	1.1	0.03	1.07	1.1	1.955130%
6	1.28	1.33	0.05	1.28	1.33	2.709220%
7	0.81	0.87	0.06	0.81	0.87	5.050760%
8	0.86	0.88	0.02	0.86	0.88	1.625300%
9	0.84	0.84	0	0.84	0.84	0.00%
10	0.99	1.06	0.07	0.99	1.06	4.829020%
11	1.2	1.28	0.08	1.2	1.28	4.561980%
12	2.03	2.05	0.02	2.03	2.05	0.693242%
13	1.27	1.28	0.01	1.27	1.28	0.554594%
TOTAL	0.62	2.05	1.43	0.86	1.27	31.6662%

➤ **Análisis de varianza**

Se realizó un análisis de varianza a los resultados mediante la aplicación de la F de Snédecor para un factor, y para t niveles, éste se llevó a cabo empleando el Software “STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1 para Windows”, utilizando un nivel de confianza de 99% y $\alpha=0.01$, a una vía, para identificar si existía diferencia entre las muestras en función de las variables en estudio.

Tabla 3. Análisis de Varianza (ANOVA)

Origen	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado de la media	F-Ratio	P-Value
Entre grupos	2.92024	12	0.243368	321.2	0
Intra grupos	0.00985	13	0.0007577		
Total	2.93027	25			

Cuando el P-value es menor que 0.01, **existe diferencia estadísticamente significativa** con un nivel de confianza del 99%

➤ **Prueba de diferencia mínima significativa (LSD)**

En el caso en que el ANOVA mostró diferencia significativa; se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference) para determinar entre que muestras se presentaban diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 4. Prueba de diferencia mínima significativa (LSD)

Metodo: 99.0% LSD

CLAVE	Replicas	Media	Grupos homogeneos
3	2	0.63	X
9	2	0.84	X
7	2	0.84	X
2	2	0.86	X
8	2	0.87	X
4	2	0.975	X
10	2	1.025	XX
1	2	1.07	X
5	2	1.085	X
11	2	1.24	X
13	2	1.275	X
6	2	1.305	X
12	2	2.04	X

Tabla 5. Diferencia mínima significativa entre muestras

Contraste	Diferencia	+/- Limites
1 - 2	*0.21	0.0829167
1 - 3	*0.44	0.0829167
1 - 4	*0.095	0.0829167
1 - 5	-0.015	0.0829167
1 - 6	*-0.235	0.0829167
1 - 7	*0.23	0.0829167
1 - 8	*0.2	0.0829167
1 - 9	*0.23	0.0829167
1 - 10	0.045	0.0829167
1 - 11	*-0.17	0.0829167
1 - 12	*-0.97	0.0829167
1 - 13	*-0.205	0.0829167
2 - 3	*0.23	0.0829167
2 - 4	*-0.115	0.0829167
2 - 5	*-0.225	0.0829167
2 - 6	*-0.445	0.0829167
2 - 7	0.02	0.0829167
2 - 8	-0.01	0.0829167
2 - 9	0.02	0.0829167
2 - 10	*-0.165	0.0829167
2 - 11	*-0.38	0.0829167
2 - 12	*-1.18	0.0829167
2 - 13	*-0.415	0.0829167
3 - 4	*-0.345	0.0829167
3 - 5	*-0.455	0.0829167
3 - 6	*-0.675	0.0829167
3 - 7	*-0.21	0.0829167
3 - 8	*-0.24	0.0829167
3 - 9	*-0.21	0.0829167
3 - 10	*-0.395	0.0829167
3 - 11	*-0.61	0.0829167
3 - 12	*-1.41	0.0829167
3 - 13	*-0.645	0.0829167
4 - 5	*-0.11	0.0829167
4 - 6	*-0.33	0.0829167
4 - 7	*0.135	0.0829167
4 - 8	*0.105	0.0829167
4 - 9	*0.135	0.0829167
4 - 10	-0.05	0.0829167
4 - 11	*-0.265	0.0829167
4 - 12	*-1.065	0.0829167
4 - 13	*-0.3	0.0829167
5 - 6	*-0.22	0.0829167
5 - 7	*0.245	0.0829167
5 - 8	*0.215	0.0829167
5 - 9	*0.245	0.0829167
5 - 10	0.06	0.0829167
5 - 11	*-0.155	0.0829167
5 - 12	*-0.955	0.0829167
5 - 13	*-0.19	0.0829167
6 - 7	*0.465	0.0829167
6 - 8	*0.435	0.0829167
6 - 9	*0.465	0.0829167
6 - 10	*0.28	0.0829167
6 - 11	0.065	0.0829167
6 - 12	*-0.735	0.0829167
6 - 13	0.03	0.0829167
7 - 8	-0.03	0.0829167
7 - 9	0.0	0.0829167
7 - 10	*-0.185	0.0829167
7 - 11	*-0.4	0.0829167
7 - 12	*-1.2	0.0829167
7 - 13	*-0.435	0.0829167
8 - 9	0.03	0.0829167
8 - 10	*-0.155	0.0829167
8 - 11	*-0.37	0.0829167
8 - 12	*-1.17	0.0829167
8 - 13	*-0.405	0.0829167

9 - 10	*-0.185	0.0829167
9 - 11	*-0.4	0.0829167
9 - 12	*-1.2	0.0829167
9 - 13	*-0.435	0.0829167
10 - 11	*-0.215	0.0829167
10 - 12	*-1.015	0.0829167
10 - 13	*-0.25	0.0829167
11 - 12	*-0.8	0.0829167
11 - 13	-0.035	0.0829167
12 - 13	*0.765	0.0829167

* Diferencia estadísticamente significativa.

Análisis Estadístico (Matrices de Correlación de Pearson)

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se realizaron las matrices de correlación para las tortillas de maíz azul, tomando como variable dependiente el atributo de resistencia al corte y como variables independientes los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 6. Matriz de Correlación

	Constante	Humedad	Cenizas	Grasa	Proteína	Carbohidratos	Almidón
Constante	1	-0.9921	0.906	0.643	0.6376	-0.8556	-0.7727
Humedad	-0.9921	1	-0.9258	-0.6877	-0.6849	0.8716	0.8051
Cenizas	0.906	-0.9258	1	0.5253	0.7113	-0.9498	-0.6592
Grasa	0.643	-0.6877	0.5253	1	0.3692	-0.3779	-0.7961
Proteína	0.6376	-0.6849	0.7113	0.3692	1	-0.8581	-0.07834
Carbohidratos	-0.8556	0.8716	-0.9498	-0.3779	-0.8581	1	0.6769
Almidón	-0.7727	0.8051	-0.6592	-0.7961	-0.7834	0.6769	1

*Variable Dependiente Resistencia al corte

*Variables Independientes: humedad, cenizas, grasa, proteína, carbohidratos, almidón.

La tabla muestra las correlaciones entre coeficientes. Esta matriz puede usarse para detectar la correlación entre variables.

18.2 ANEXO III TABLAS ANEXAS

¡TABLA 1.- Especificaciones del maíz.

<u>Parámetros Generales</u>	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Método de prueba véase
Impurezas (%) máximo.	2,0	2,5	3,0	inciso 7.2
Daños por calor (%) máximo.	1,5	2,5	3,5	inciso 7.5
Suma de daños (%) máximo.	5,0	7,0	10,0	inciso 7.5
Granos quebrados (%) máximo.	3,0	3,5	4,0	inciso 7.2
<u>Parámetros de Nixtamalización</u>				
Humedad en Nixtamal (%)	36-42	36-42	36-42	inciso 7.6
Dureza de grano (%) máximo (Índice de flotación).	40	40	40	Inciso 7.6
Pericarpio remanente Método de remoción en solución alcalina. Valor de escala 1-5	Mayor a 2	Mayor a 2	Mayor a 2	Inciso 7.6
Pérdida de materia seca Método por sólidos en agua de nexayote (% máximo)	5	5	5	Inciso 7.6

*Tabla de especificaciones para maíz blanco (NMX-FF-034/1-SCFI-2002)