



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE QUIMICOFARMACOBIOLOGÍA**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
BIOTECNOLOGÍA ALIMENTARIA**

**TESIS**

**“EFECTO DE LA VARIEDAD DE MAÍZ Y LA NIXTAMALIZACIÓN SOBRE EL  
PERFIL AROMÁTICO DE MASA, HARINA Y TORTILLA”**

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**P R E S E N T A:**

**Q.F.B. Liliana García Andrade**

**Directora de Tesis**

**Dra. Berenice Yahuaca Juárez**

**Co-Director:**

**Dr. Pedro A. Vásquez Landaverde**

**Morelia, Michoacán, Marzo 2016**

## DEDICATORIA

A mi padre J. de Jesús por ser mi apoyo,

Mi orgullo, mi motor en la vida

“Gracias Papi por todo”

A mi madre por su apoyo, bendiciones y

Lucha para impulsar mis sueños

“Gracias mami”

A mis hermanos, por su apoyo,

Comprensión y amor incondicional

“Los amo mis bebes”

## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico brindado para alcanzar esta meta.
- Con mucho cariño, admiración y respeto, quiero agradecerle a mi asesora por haberme aceptado y guiado en este importante logro en mi vida, a la Dra. Berenice Yahuaca Juárez, que sin su apoyo y palabras de aliento no hubiera logrado esta meta, porque no fue solo mi asesora, fue mi guía durante estos dos años de mi vida. Mil gracias y también con mucho respeto, admiración y gratitud a mí co-asesor el Dr. Pedro A. Vázquez Landaverde, gracias doctor por todo su apoyo y sabiduría, por haberme abierto las puertas en su laboratorio y sobre todo por el valioso tiempo que siempre me dedicó. Gracias, por todo su apoyo y dedicación, me faltan palabras para expresar todo mi sentir.
- Gracias a quienes formaron parte de mi Comité de Tesis: al Dr. Rafael Salgado Garciglia por todo su apoyo, sabiduría y dedicación, a la Doctora Consuelo de Jesús Cortés Penagos por su apoyo y sabiduría y al Dr. Pedro García Saucedo por su apoyo y dedicación, muchas gracias a todos por recorrer conmigo estos dos años llenos de aprendizaje, conocimiento y un profundo amor por la investigación, han sido mi guía y mi motor.
- Finalmente, un extenso y sentido agradecimiento a mis compañeros y amigos de la UMSNH y de CICATA-Qro., quienes me ayudaron, apoyaron y me dieron su tiempo y sus palabras de aliento.

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	A
AGRADECIMIENTOS .....	B
ÍNDICE GENERAL.....	C
ÍNDICE DE FIGURAS .....	F
ÍNDICE DE TABLAS .....	H
1 RESUMEN .....	1
2 ABSTRACT .....	3
3 INTRODUCCIÓN .....	4
4 ESTADO DEL ARTE .....	5
4.1 Generalidades del maíz .....	5
4.1.1 Estructura del grano .....	5
4.2 Variedades .....	6
4.3 Composición Química .....	7
4.3.1 Compuestos Fenólicos .....	11
4.3.2 Antocianinas .....	12
4.3.3 Carotenos .....	18
5 NIXTAMALIZACIÓN.....	24
5.1 Factores que influyen en el proceso de nixtamalización .....	25
5.1.1 Cambios durante la nixtamalización .....	25
5.1.2 Papel del hidróxido de calcio .....	25

5.1.3	Mejora en la calidad nutricional que aporta la nixtamalización al maíz	26
5.1.4	Pérdidas de nutrientes por la nixtamalización .....	27
5.1.5	Efecto de la nixtamalización sobre antocianinas, polifenoles, carotenos y lípidos .....	27
6	EL OLOR Y AROMA .....	29
6.1	El olor y aroma de los productos nixtamalizados .....	33
7	QDA .....	35
8	HIPÓTESIS .....	37
9	OBJETIVOS .....	37
9.1	Objetivo General .....	37
9.2	Objetivos Específicos .....	37
10	MATERIAL Y MÉTODOS .....	38
10.1	Material biológico .....	38
10.1.1	Nixtamalización.....	38
10.2	Proceso de Nixtamalización .....	39
10.2.1	Caracterización físico-química de la masa, harina y tortilla .....	40
10.3	Extracción total de antocianinas .....	40
10.4	Extracción total de Carotenos .....	43
10.5	Extracción de aceite del maíz y de sus productos nixtamalizados.....	44
10.6	Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases	44
10.6.1	FAMES (Fatty Acids Methyl Esterified).....	45
10.7	Análisis cualitativo de compuestos volátiles aromáticos .....	45
10.8	Diseño experimental y Análisis estadístico .....	46
10.9	QDA (Análisis Descriptivo Cuantitativo) .....	46

11	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
11.1	Caracterización del material biológico .....	49
11.2	Caracterización de los productos nixtamalizados (masa, harina y tortilla) 51	
11.2.1	Determinación de color.....	53
11.3	Extracción de antocianinas totales.....	55
11.3.1	Extracción de antocianinas en maíz .....	55
11.3.2	Extracción de antocianinas en los productos nixtamalizados .....	56
11.3.3	Barrido de antocianinas.....	57
11.4	Extracción de carotenos totales .....	60
11.5	Extracción de aceite del maíz y de sus productos nixtamalizados.....	60
11.6	Análisis de FAMES (Fatty Acids Methyl Esterified).....	61
11.7	QDA (Análisis Descriptivo Cuantitativo).....	63
11.7.1	Descriptores generados.....	64
11.7.2	Medía Geométrica .....	67
11.7.3	Huella aromática.....	70
11.8	Análisis cuantitativo de compuestos volátiles aromáticos .....	76
11.9	Relación entre el QDA y los compuestos volátiles .....	82
12	CONCLUSIONES.....	86
13	REFERENCIAS .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de grano de maíz .....	5
Figura 2. Estructura general de las antocianinas. Fennema (1976). ....	12
Figura 3. Ruta de síntesis de las antocianinas (Delgado-Vargas 2000). ....	15
Figura 4 Antocianinas a diferentes valores de pH .....	16
Figura 5. Estructura de los Carotenos (Mínguez, 1997). ....	19
Figura 6. Ruta mevalónica independiente de los tetraterpenoides .....	21
Figura 7. Olores primarios y su estructura estereoquímica básica correspondiente (Sancho y col. 2002). ....	30
Figura 8 Esquema de la cavidad nasal .....	32
Figura 9. Compuestos fenólicos en el maíz .....	34
Figura 10 Escala de Intensidad. ....	36
Figura 11. Maíz AS900 .....	
Maíz Tziranza .....	
Figura 12. ....	
Figura 13. Método modificado para cuantificación de antocianinas (de Salinas Moreno, 2003): –escribir título acorde a la figura-- .....	41
Figura 14. Método 1 modificado para cuantificación de antocianinas (Fuleki y Francis, 1968). ....	41
Figura 15. Método 2 modificado para cuantificación de antocianinas (Fuleki y Francis, 1968). ....	42
Figura 16. Metodología general del QDA .....	47
Figura 17 Reducción de descriptores. ....	48
Figura 18. Color en los productos del maíz blanco AS900 y Tziranza. ....	53
Figura 19. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en grano de maíz .....	58
Figura 20. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en harina nixtamalizada .....	58
Figura 21. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en tortilla .....	58

Figura 22. QDA de los productos de maíz AS900.....	71
Figura 23. QDA de los productos del maíz Tziranza. ....	72
Figura 24. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de grano de maíz. ....	73
Figura 25. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de masa nixtamalizada. ....	74
Figura 26. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de harina nixtamalizada. ....	75
Figura 27. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de tortilla nixtamalizada. ....	76
Figura 28 QDA de los productos del maíz AS900 .....	84
Figura 29 QDA de los productos del maíz Tziranza .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz .....	6
Tabla 2. Fibra soluble e insoluble del maíz común.....	9
Tabla 3. Tipos de antocianinas de acuerdo al tipo de sustituyente en su estructura .....	13
Tabla 4. Compuestos con los que las antocianinas pueden hacer glicosilaciones y acilaciones.....	13
Tabla 5 Tipos de carotenos en maíz blanco.....	20
Tabla 6. Umbrales de detección de algunos aldehídos en alimentos.....	33
Tabla 7. Relación entre el índice de flotación de granos de maíz y el tiempo de cocción térmico-alcalina (NMX-FF-034/1-SCFI-2002).....	39
Tabla 8. Caracterización físico-química de los productos nixtamalizados.....	40
Tabla 9. Tipos de antocianinas a determinar en el maíz azul.....	42
Tabla 10. Caracterización física del grano de maíz AS900 y maíz Tziranza.....	50
Tabla 11. Caracterización Química del grano de maíz AS900 y maíz Tziranza...	51
Tabla 12. Caracterización de los productos nixtamalizados.....	51
Tabla 13. Relación color y contenido de carotenos y antocianinas en los productos de maíz blanco AS900 y azul Tziranza. ....	53
Tabla 14. Extracción de antocianinas en el grano de maíz azul Tziranza. ....	56
Tabla 15. Extracción de antocianinas en los productos nixtamalizados (masa, harina y tortilla).....	56
Tabla 16. Contenido de antocianinas en grano de maíz, harina y tortilla .....	59
Tabla 17. Contenido de carotenos en maíz AS900 .....	60
Tabla 18. Extracción de aceite de maíz y sus productos nixtamalizados.....	61

Tabla 19. Perfil de ácidos grasos en grano, harina y tortilla de maíz AS900 y Tziranza nixtamalizados.....	62
Tabla 20. Descriptores del maíz blanco AS900.....	64
Tabla 21. Descriptores del maíz azul Tziranza.....	65
Tabla 22. Determinación de Media Geométrica en el maíz AS900 y productos nixtamalizados.....	68
Tabla 23. Determinación de Media Geométrica en el maíz Tziranza y productos nixtamalizados.....	69
Tabla 24. Compuestos volátiles de los productos del maíz AS900.....	78
Tabla 25. Compuesto volátiles de los productos del maíz Tziranza.....	79
Tabla 26. Compuestos volátiles que proporcionan olor.....	83

# 1 RESUMEN

El aroma constituye uno de los atributos sensoriales de mayor relevancia en los productos alimenticios. El maíz es el cultivo más importante de la agricultura mexicana, no sólo por la relevancia que en materia de alimentación representa para la población, sino también por sus múltiples usos como materia prima en la industria, ya sea como insumo directo o los subproductos de éste mediante el proceso de nixtamalización que es el cocimiento alcalino de los granos de maíz, seguido de la molienda del grano cocido (nixtamal) y la obtención de la masa, harina y tortilla. En la nixtamalización, el aroma es el resultado de una compleja combinación de compuestos volátiles que originalmente se encuentran en el maíz o son producidos durante el proceso. Los compuestos volátiles mayoritarios que forman parte del perfil aromático están directamente relacionados con los atributos sensoriales procedentes de maíz blanco y maíz azul. El objetivo de la presente investigación fue determinar el perfil aromático de la masa, harina y tortilla de maíz blanco AS900 y azul Tziranza nixtamalizados. El proceso de nixtamalización consistió en el cocimiento de los granos de maíz (1 Kg) en agua (3 litros) con  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (1%) durante 30 a 45 min a  $95^\circ\text{C}$ , el grano se dejó reposar 12 h en la solución de cocción (nejayote), posteriormente se lavó y molió para la formación de los productos nixtamalizados. Se realizaron pruebas de caracterización al maíz y a sus productos nixtamalizados, así como la determinación del contenido de antocianinas y carotenos y además del uso de técnicas como FAMES cuantificado en Cromatografía de gases para determinar el perfil general de AG (ácidos grasos), también se usó la técnica HS-SPME para determinar los compuestos volátiles presentes en el grano de maíz y sus productos nixtamalizados, así como hacer una relación con el QDA (Análisis Sensorial Descriptivo Cuantitativo) de los descriptores generados y los encontrados por la técnica HS-SPME. Los resultados obtenidos indican que hay una relación entre los compuestos encontrados por HS-

SPME en el AS900 y sus productos nixtamalizados como el nonanal, hexanal, acetona, furan 2-pentil, ácido benzoico, ácido tánico, D-limoneno y ácido acético tienen relación con los descriptores generados en el QDA, al igual con los encontrados en el maíz Tziranza y sus productos nixtamalizados como el heptanal, nonanal, hexanal, ácido benzoico, limoneno, ácido tánico y el furan 2-pentil tienen relación con los descriptores generados en el QDA. En conclusión, la variedad del maíz y el proceso de nixtamalización ejercen un efecto en el perfil aromático de cada producto.

Palabras Clave: Maíz, Nixtamalización, QDA, Olor y Aroma

## 2 ABSTRACT

The aroma is one of the most important sensory attributes in foodstuffs. Corn is the most important crop of Mexican agriculture, not only because of its relevance in food poses to the population, but also for its many uses as a raw material in industry, either as a direct input or by-products thereof by nixtamalized process is the alkaline cooking of corn kernels, followed by milling the cooked grain (masa) and obtaining the mass, flour and tortilla. In nixtamalization, flavor is the results of a complex mix of volatile compounds originally found in corn or are produced during the process. The volatile compounds that make up the flavor profile are directly related to the sensory attributes from white corn and blue corn. The aim of this investigation was to determine the flavor profile of the dough, flour and tortilla white and blue corn nixtamalized AS900 and blue Tziraza. The nixtamalization process consisted of the cooking of corn grains (1 kg) in water (3 liters) with Ca (OH) 2 (1%) for 30 to 45 min at 95 ° C, the grain is allowed to stand 12 h in the cooking solution (nejayote), then washed and ground to form products nixtamalized. characterization tests maize and its nixtamalized products are made and the determination of anthocyanins and carotenoids and also the use of techniques such as FAMES quantified by gas chromatography to determine the general profile of AG (fatty acids), was also used the HS-SPME technique for determining the volatile compounds present in corn grain and nixtamalized products and make a connection with the QDA (Quantitative Descriptive Sensory Analysis) descriptors generated and found by the HS-SPME technique. The results indicate that there is a relationship between the compounds found by HS-SPME in the AS900 and its products nixtamalized as nonanal, hexanal, acetone, 2-pentyl furan, benzoic acid, talic acid, D-limonene and acetic acid are related with descriptors generated in QDA, like those found in corn and nixtamalized Tziranza as heptanal, nonanal, hexanal, benzoic acid, D-limonene, talic acid and 2-pentyl furan relate to products generated descriptors in QDA. In conclusion the variety of maize and nixtamalization have an effect on the flavor profile of each product.

Keywords: Corn, Nixtamalization, QDA, odor and Aroma

### 3 INTRODUCCIÓN

El aroma constituye uno de los atributos sensoriales de mayor relevancia en los productos alimenticios. El olor es la percepción por medio de la nariz de sustancias volátiles liberadas en los alimentos a diferencia del aroma que consiste en la percepción de las sustancias olorosas y aromáticas de un alimento después de haberse puesto en la boca. Dichas sustancias se disuelven en la mucosa del paladar y la faringe, llegando a través del eustaquio a los centros sensores del olfato.

El maíz es el cultivo más importante de la agricultura mexicana, no sólo por la relevancia que en materia de alimentación representa para la población, sino también por sus múltiples usos como materia prima en la industria, ya sea como insumo directo o los subproductos de éste. El proceso mediante el cual se obtienen dichos productos es la nixtamalización, que tradicionalmente involucra: cocimiento alcalino, reposo, lavado y molienda de los granos de maíz para producir masa. La masa es moldeada para formar la tortilla y esta es cocida a  $\approx 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Rendón-Villalobos y col., 2009).

Cuando se lleva a cabo la nixtamalización bajo las mismas condiciones de proceso pero con diferentes variedades de grano de Maíz se obtienen diferentes perfiles aromáticos. De tal forma que el aroma resultante puede variar de acuerdo a la composición química del grano de maíz y las condiciones de nixtamalización. Para el establecimiento del perfil aromático y sensorial en función de las condiciones del proceso de nixtamalización, se realizaron pruebas previas de caracterización del maíz y de sus productos nixtamalizados, determinación de contenido de carotenos y antocianinas, dado a la protección que tienen contra radicales oxido y súper óxido y del contenido de ácidos grasos mediante la técnica FAMES (Metil Esterificación de Ácidos Grasos) para determinar los compuestos presentes se puede efectuar el análisis de los compuestos químicos volátiles mediante HS-SPME, además del establecimiento la relación de estos con los atributos sensoriales apreciados mediante un QDA (Análisis Sensorial Descriptivo Cuantitativo).

## 4 ESTADO DEL ARTE

### 4.1 Generalidades del maíz

México es el cuarto productor de maíz en el mundo con un 3 % de la producción total. El primer lugar lo ocupa Estados Unidos (40 %), seguido por China (19 %) y Brasil (6 %). El consumo per cápita de maíz en México oscila en 349 g/día (Lesotho y Malawi, FAO 2009, Campo Mexicano, 2011). El maíz (*Zea mays* L.) representa el cultivo agrícola más importante en México desde el punto de vista alimentario, industrial, social y político (González-Rojas y col., 2011).

#### 4.1.1 Estructura del grano

El grano de maíz es una cariósida constituida por cuatro estructuras físicas fundamentales (Figura 1: 1. Pericarpio, 2. Cáscara, o salvado; 3. Endospermo; 4. Germen o embrión; y la piloriza que es un tejido inerte que une el grano y el carozo.

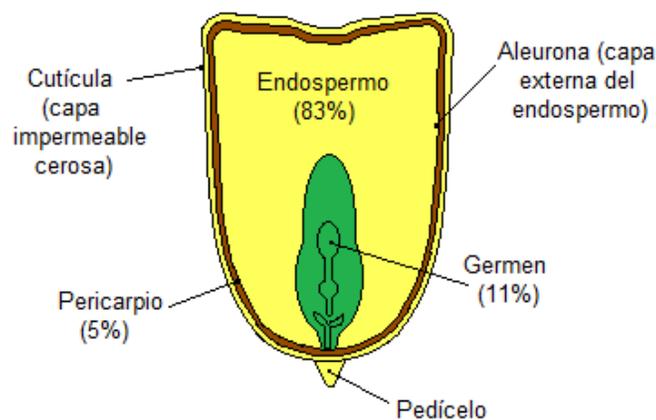


Figura 1. Estructura de grano de maíz

FAO (1993).

Como se muestra en la Figura 1, las partes principales del grano de maíz difieren en su composición química. El peso total del grano corresponde a un 5 % de pericarpio, 83 % de endospermo (con un alto porcentaje de almidón), 11 % de

germen, donde se concentra la grasa cruda (33 %) (FAO, 1993). El pedicelo o capa terminal es la continuación del pericarpio y permite la unión del grano con el olote; representa menos del 0.5 % del grano (Paredes-López y col., 2009). Las partes estructurales del grano, la distribución de su composición química y valor nutritivo, tienen relevancia cuando el maíz se procesa para consumo; a este respecto, y desde la perspectiva sensorial, el aroma juega un papel fundamental.

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

<b>Componente químico</b>	<b>Pericarpio</b>	<b>Endospermo</b>	<b>Germen</b>
<b>Proteínas</b>	3.7	8.0	18.4
<b>Extracto etéreo</b>	1.0	0.8	33.2
<b>Fibra cruda</b>	86.7	2.7	8,8
<b>Cenizas</b>	0.8	0.3	10.5
<b>Almidón</b>	7.3	87.6	8.3
<b>Carbohidratos</b>	0.34	0.62	10.8

En base seca (%) FAO (1993)

## **4.2 Variedades**

En México se cultivan las siguientes principalmente las variedades: blanco y amarillo o forrajero y pigmentado. El maíz blanco y pigmentado son exclusivos para alimentación humana, en virtud de su alto contenido nutricional; en tanto que el maíz amarillo se destina al procesamiento industrial y a la alimentación animal (Campo Mexicano, 2011).

Los tipos de granos de maíz cristalinos, semicristalinos, dentados y semidentados poseen características agronómicas que pueden tener una función importante en el uso de variedades, la industria para nixtamalización prefiere granos con endospermo duro (granos cristalinos) (Martínez-Herrera y Lachance, 2006; Méndez-Montealvo 2005).

### **4.3 Composición Química**

Los principales componentes químicos del maíz son: almidón, proteínas y lípidos, además de contener en menor proporción fibra cruda, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas liposolubles. A continuación se detallan los principales componentes químicos del grano de maíz:

#### **Almidón**

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 por ciento del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 % del almidón. La composición del almidón es determinada genéticamente. En el maíz común, en el endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, sin embargo el gen que produce el maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina (Boyer y Shannon, 1987).

#### **Proteínas**

Las proteínas en las variedades comunes de maíz, el contenido de proteínas oscila entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos de maíz están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico constituyen aproximadamente el 1 al 8 % del total de nitrógeno, con proporciones del 7, 5 y 6 %, respectivamente. La

fracción de prolamina soluble en isopropanol al 55 % y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52 % del nitrógeno del grano; de éstas la prolamina 1 o zeína 1 soluble en isopropanol al 55 % representa aproximadamente el 42 %, y el restante 10 % es prolamina 2 o zeína 2. Una solución alcalina con pH 10 y con 0,6 % de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8 %, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0,5%, en cantidades del 17 % dando un contenido total de globulina del 25 % de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5 %, está constituida por nitrógeno residual (FAO, 1993).

La calidad nutritiva del maíz como alimento está determinada por la composición de aminoácidos de sus proteínas. El maíz común es deficiente en lisina y triptófano, aunque tiene un porcentaje elevado en leucina. Cabe recordar que los aminoácidos esenciales son: lisina, triptófano, fenilalanina, metionina, leucina, isoleucina, treonina y valina (FAO, 1993).

El maíz con alto contenido de proteína o mejor conocido como QPM por sus siglas en inglés, se diferencia del maíz común por la distribución ponderal de las fracciones de proteína mencionadas anteriormente: El cambio radica en el genotipo y las condiciones de cultivo. Se ha determinado que el gen opaco-2 disminuye la concentración de zeína en cerca del 30 % por lo que el contenido de lisina y triptófano es mayor en las variedades de QPM que en el maíz común (FAO, 1993).

### **Aceite y ácidos grasos**

El aceite del grano de maíz está fundamentalmente en el germen, su composición es determinada genéticamente, con valores que van del 3 al 18 % en contenido total. El aceite de maíz tiene una baja proporción de ácidos grasos saturados: ácido palmítico y esteárico, con valores medios del 11 % y el 2 %, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos

grasos insaturados, fundamentalmente ácido oleico, ácido linoleico, con un valor medio de cerca del 24 %. Sólo se han encontrado cantidades reducidas de ácidos linolénico (0,7 %) y araquidónico (FAO, 1993). Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener dichos ácidos grasos insaturados, así como niveles elevados de antioxidantes naturales

### Fibra dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se encuentra en cantidades considerables. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen. El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se indica en la tabla siguiente (FAO, 1993).

**Tabla 2. Fibra soluble e insoluble del maíz común**

Tipo de maíz	Fibra dietética		
	Insoluble	Soluble	Total
<b>De sierra</b>	10.94 ± 1.26	1.25 ± 0.41	12.19 ± 1.30
<b>De tierras bajas</b>	11.15 ± 1.08	1.64 ± 0.73	12.80 ± 1.47
<b>MPC Nutricia</b>	13.77	1.14	14.91

FAO (1993)

### Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1 al 3 %, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11 %, frente a menos del 1 % en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78 % de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fosfato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90 % en el maíz común. Como sucede con la mayoría de

los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos (FAO, 1993).

### **Vitaminas liposolubles**

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E. Los carotenoides se encuentran sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El beta-caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada pues los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como maíz blanco (Squibb, Bressani y Scrimshaw, 1957) determinaron que el beta-caroteno equivalía aproximadamente al 22 %-del total de carotenoides (4-11.3 µg/g) de tres muestras de maíz amarillo. El contenido de criptoxantina equivalía al 51 % del total de carotenoides. La proporción de vitamina A variaba de 1.5 a 2.6 µg/g. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; (Watson, 1962) encontró en el maíz recién cosechado valores de 4.8 mg/kg, que al cabo de 36 meses de almacenamiento habían disminuido a 1.0 mg/kg. Lo mismo sucedió con las xantofilas. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A (Watson, 1962).

La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el tocoferol-alfa; aunque el tocoferol-gamma es probablemente más activo como antioxidante (Squibb y col, 1957).

### **Vitaminas hidrosolubles**

Las vitaminas solubles en agua se encuentran principalmente en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano del

maíz; su contenido está determinado principalmente por el medio ambiente y las prácticas de cultivo, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. El contenido de niacina es distinto según las variedades, con valores medios de aproximadamente 20 µg/g. Una característica propia de la niacina es que está ligada y por lo tanto, el organismo animal no la puede asimilar; sin embargo existen algunas técnicas de elaboración que hidrolizan la niacina, permitiendo su asimilación. El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades de ácido ascórbico. Yen y col, (1976) hallaron un contenido de aproximadamente 2.69 mg/kg de piridoxina asimilable. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñas.

#### **4.3.1 Compuestos Fenólicos**

Los fenoles son compuestos que poseen anillos aromáticos, con grupos sustituyentes hidroxilo, éster, glucósido, etc. Son metabolitos secundarios que constituyen el aroma y el sabor de los alimentos. Son esenciales en el crecimiento y la reproducción del maíz, otorgan resistencia al estrés ocasionado por condiciones ambientales, así como a los daños por plagas (Su y Chen, 2007).

La familia de los fenólicos es grande, existen diversas clasificaciones de estos compuestos. Según su estructura química existen dos grandes grupos: no flavonoides y flavonoides. Los no flavonoides son ácidos fenólicos, así como de más moléculas complejas como los estilbenos y galotaninos. (Seeram y col., 2008).

Las diferentes variedades de maíz poseen contenidos distintos de ácidos fenólicos. El ácido felúrico es el ácido fenólico más importante en todos los tipos de maíz. Los ácidos o-cumárico y p-cumárico también se encuentran en concentraciones considerables. En referencia al maíz azul se han encontrado ocho ácidos fenólicos mayoritarios, entre los que destacan el ácido hidroxibenzoico, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido sinápico, ácido p-cumárico y el ácido o-cumárico (White, 2007).

### 4.3.2 Antocianinas

El término antocianina es derivado de los vocablos griegos anthos (flor) y kyaneos (azul) (Liu, 2004; De Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008). Estos compuestos son los responsables de los colores azul, púrpura y rojo en plantas comestibles, principalmente cereales y frutas (Escribano-Bailón y col., 2004). La forma aglicona de las antocianinas o antocianidina, posee una estructura basada en el ion flavilio o 2-fenilbenzopirilium, que presenta grupos hidroxilo y metoxilo en diferentes posiciones como se muestra en la Figura 2. Consta de un esqueleto carbonado en forma C-6 (anillo A)- C-3 (anillo B)- C-6 (anillo C), cuya estructura forma un anillo cromano unido a un segundo anillo aromático (B) en la posición dos (Horbowicz y col., 2008). El tipo de antocianidina formado depende del grado o nivel de hidroxilación o metoxilación del anillo (B) de la molécula (Garzón, 2008).

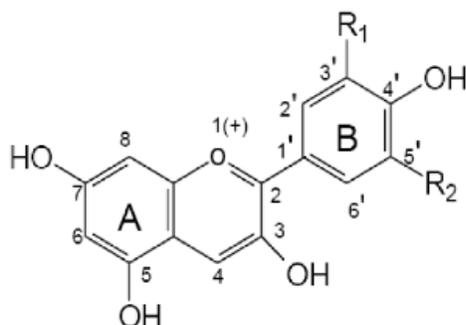


Figura 2. Estructura general de las antocianinas. Fennema (1976).

El color de las antocianinas depende del número y posición de los grupos sustituyentes en la molécula. Un aumento en la cantidad de grupos hidroxilo produce pigmentos de tonos azules, y por el contrario, con predominancia de grupos metoxilo se presenta una tonalidad roja (Stintzing y col., 2002). Se han descrito de 12 a 17 antocianidinas diferentes, pero solo seis de ellas se encuentran comúnmente en frutas, vegetales y cereales como el maíz (Kong y col., 2003; De Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008).

Las antocianinas pueden encontrarse en forma acilada debido a la acilación de los residuos de azúcares con derivados de ácidos orgánicos alifáticos. Las formas no aciladas son menos estables que las antocianinas que presentan uno o más grupos acilo, se ha demostrado que el tipo de sustitución glicosídica y de acilación en carbono 3 producen efectos en el tono de las antocianinas; es así como sustituciones glicosídicas en la posición 5 al igual que acilaciones aromáticas, producen un desplazamiento hacia las tonalidades púrpura como se muestra en la tabla 4 (De Pascual-Teresa y col., 2002)

**Tabla 3. Tipos de antocianinas de acuerdo al tipo de sustituyente en su estructura**

Tipo de antocianina	R1	R2
<b>Cianidina</b>	OH	H
<b>Delfinina</b>	OH	OH
<b>Malvidina</b>	OCH <sub>3</sub>	OCH <sub>3</sub>
<b>Peonidina</b>	OCH <sub>3</sub>	H
<b>Petunidina</b>	OH	OCH <sub>3</sub>

(Pascual-Teresa y Sánchez-Ballesta, 2008)

En el grano de maíz se han encontrado pigmentos en el pericarpio y en la capa de aleurona. En el endospermo del grano de maíz azul, la capa de aleurona contiene los pigmentos de antocianina azul que le confieren su color característico. Estos compuestos derivan principalmente de la cianidina y pelargonidina, la primera identificada en maíces azules provenientes de Bolivia. También se ha sugerido la presencia de antocianinas en el germen de ciertas variedades de maíz (Betrán y col., 2001).

**Tabla 4. Compuestos con los que las antocianinas pueden hacer glicosilaciones y acilaciones**

Sacáridos glicosilantes	Ácidos orgánicos

Glucosa	<b>Alifáticos:</b>
Galactosa	Malónico
xilosa	Acético
Ramnosa	Málico
Arabinosa	Succínico
Rutinosa	<b>Aromáticos:</b>
Soforosa	p-cumárico, cafeico, ferúlico, sinápico, gálico, o p-
Sambubiosa	hidroxibenzoico.
Gentobiosa	

Las antocianinas presentan sustituciones glicosídicas como se muestra en la tabla 5 en las posiciones 3 y/o 5 con mono, di o trisacáridos que incrementan su solubilidad. Otra posible variación en la estructura es la acilación de los residuos de azúcares de la molécula con ácidos orgánicos. (Stintzing y col. (2002) demostraron que el tipo de sustitución glicosídica y de acilación producen efectos en el tono de las antocianinas; es así como sustituciones glicosídicas en la posición 5 al igual que acilaciones aromáticas, producen un desplazamiento hacia las tonalidades púrpura.

### **Biosíntesis de las antocianinas**

Se ha establecido experimentalmente que al anillo A de las antocianinas se sintetiza por la ruta del ácido malónico con la condensación de tres moléculas de malonil-CoA, mientras que el anillo B se sintetiza por la ruta de ácido shikímico. El ácido shikímico da paso a la fenilalanina que por acción de una fenilalanina amonía liasa (PAL), y después de una pérdida de NH<sub>3</sub> se convierte en ácido p-cumárico. El p-cumaril-CoA, posteriormente participa en una reacción de condensación con las tres moléculas de malonilCoA para formar una chalcona de 15 C, reacción propiciada por una chalcona sintetasa. Este compuesto intermedio de 15 C es transformado en una flavonona en una reacción catalizada por una chalcona isomerasa. Finalmente, la flavonona es transformada en la correspondiente antocianidina por una reacción de hidroxilación en el carbono 3

seguida de una deshidratación (Figura 3). La molécula de antocianidina se estabiliza por glicosilación del heterociclo; reacción en la que interviene una glicosil transferasa y posteriores posibles reacciones de metilación de los hidroxilos seguidas de acilaciones.

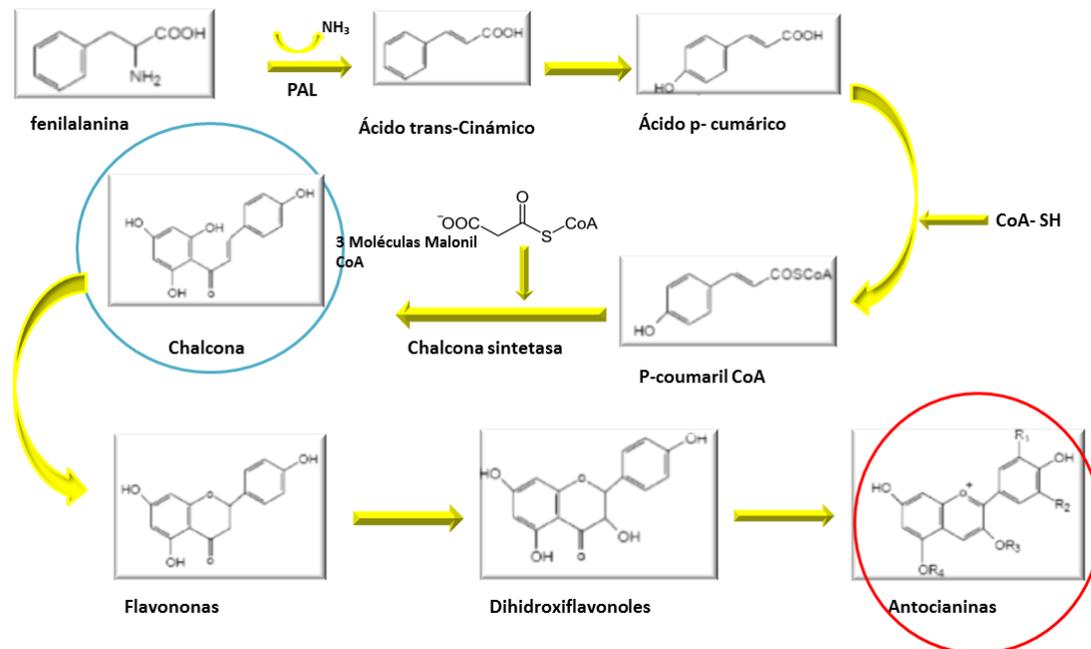


Figura 3. Ruta de síntesis de las antocianinas (Delgado-Vargas 2000).

## Factores que determinan la estabilidad de las antocianinas

Los factores como su estructura química, pH, concentración, temperatura, presencia de oxígeno y ácido ascórbico, y actividad de agua de la matriz determinan la estabilidad de las antocianinas.

### Efecto del pH

El pH tiene efecto en la estructura y la estabilidad de las antocianinas como se presenta en la Figura 4. La acidez tiene un efecto protector sobre la molécula. En soluciones acuosas a valores de pH inferiores a 2.0, básicamente el 100 % del pigmento se encuentra en su forma más estable o de ión oxonio o catión flavilio

(AH<sup>+</sup>) de color rojo intenso. A valores de pH más altos ocurre una pérdida del protón y adición de agua en la posición 2, dando lugar a un equilibrio entre la pseudobase carbinol o hemicetal (B) y la forma chalcona (C), o de cadena abierta. Tanto el hemicetal como la chalcona, son formas incoloras y altamente inestables. A valores de pH superiores a siete se presentan las formas quinoidales (A, A<sup>-</sup>) de color púrpura que se degradan rápidamente por oxidación con el aire (Hutchings, 1999).

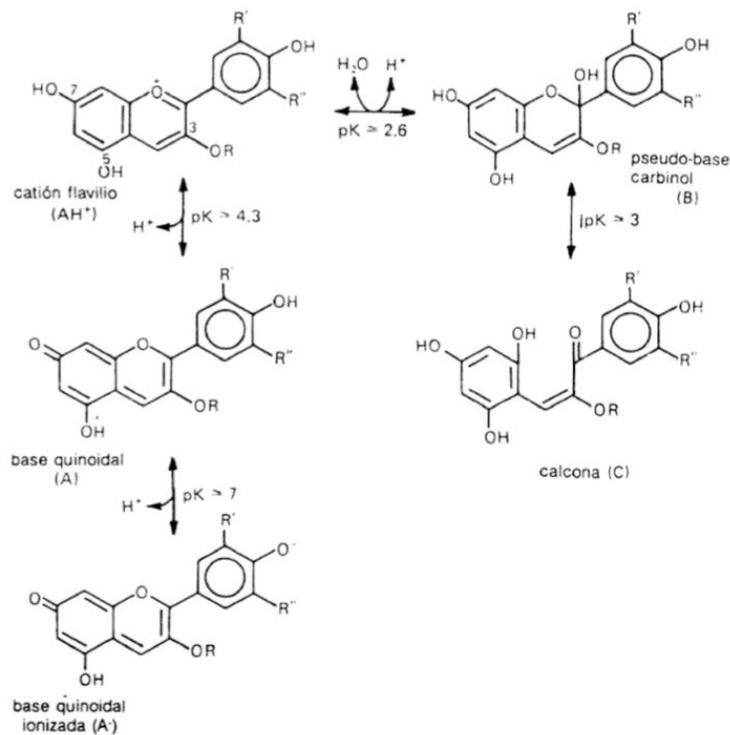


Figura 4 Antocianinas a diferentes valores de pH

(Coulate, 1984)

### Efecto de la temperatura

Incrementos de temperatura resultan en pérdida del azúcar glicosilante en la posición 3 de la molécula y apertura del anillo con la consecuente producción de chalconas incoloras (Timberlake, 1980).

### **Otros efectos**

El efecto degradante del oxígeno y el ácido ascórbico sobre la estabilidad de las antocianinas está relacionado. Estudios indican que las condiciones que favorecen la oxidación aeróbica del ácido ascórbico en jugo de fresa y en sistemas modelo que contenían pelargonidina 3-glucósido proveniente de la fresa causaban pérdidas de antocianinas, sin embargo, cuando el oxígeno era excluido del sistema no se observaba deterioro del color (Sondheimer y Kertesz, 1953). También se ha reportado un efecto sinérgico entre el ácido ascórbico y el oxígeno sobre la degradación de la pelargonidina 3-glucósido en solución (Markakis y col., 1957). La concentración del pigmento y la actividad de agua de la matriz afectan la estabilidad del color. Garzón y Wrolstad, (2002), compararon la estabilidad de la antocianina de fresa (pelargonidina 3-glucósido) con la de la antocianina de la cáscara de rábano (pelargonidina 3-soforósido 5-glucósido acilada con ácidos aromáticos y alifáticos) y encontraron que dicha estabilidad era independiente de la estructura a una misma concentración de pigmento. Hoshino y col. (1982), demostraron que cuando la concentración de antocianinas alcanza valores que presentan fenómenos de autoasociación entre dos cationes flavilio, dos formas hemiacetal, dos bases quinoidales, e inclusive, entre una base quinoidal y un catión flavilio protegiendo la molécula de antocianina. Por otro lado, incrementos en la actividad de agua del medio causan degradación de las antocianinas probablemente debido a una mayor interacción entre el agua y el catión flavilio para formar la pseudobase inestable (Garzón y Wrolstad, 2001; Olaya y col., 2008).

### 4.3.3 Carotenos

Los carotenos son pigmentos naturales de color amarillo a rojo producidos por organismos autótrofos (Farré y col., 2010), estos son relevantes en la nutrición humana y animal (HarvestPlus, 2006).

Los carotenos están involucrados en la fotosíntesis, ya sea como antenas accesorias durante la capta-recepción de luz o como antioxidantes, protegen las membranas contra la foto-oxidación (Demmig-Adams y Adams III, 1996). Estos compuestos afectan el rendimiento de las plantas, ya que en parte determinan la tasa fotosintética y eficiencia en la captura de energía solar (Parry y col., 2010). Además, son precursores de moléculas de señalización en la respuesta de estrés biótico y abiótico, como el ácido abscísico (ABA) (North y col., 2007).

#### **Clasificación y nomenclatura**

Químicamente los carotenos son terpenoides, formados por ocho unidades de isopreno, de tal forma que la unión de cada unidad se interviene en el centro de la molécula. En los carotenoides naturales sólo se encuentran tres elementos: C, H y O. El oxígeno puede estar presente como grupo hidroxilo, metoxilo, epoxi, carboxilo o carbonilo. Dentro de los carotenoides se distinguen dos grupos: los carotenos que son hidrocarburos y las xantofilas, que poseen oxígeno en sus moléculas (Meléndez- Martínez y col., 2004; Faulks y Southon, 2005). Generalmente se les denomina con nombres comunes que incluyen las variaciones estructurales de los anillos laterales, en especial la posición del doble enlace. En general, para los carotenos se usa el sufijo caroteno y para las xantofilas el sufijo “ina”, como se muestra en la figura 5 (Martínez, 2003)

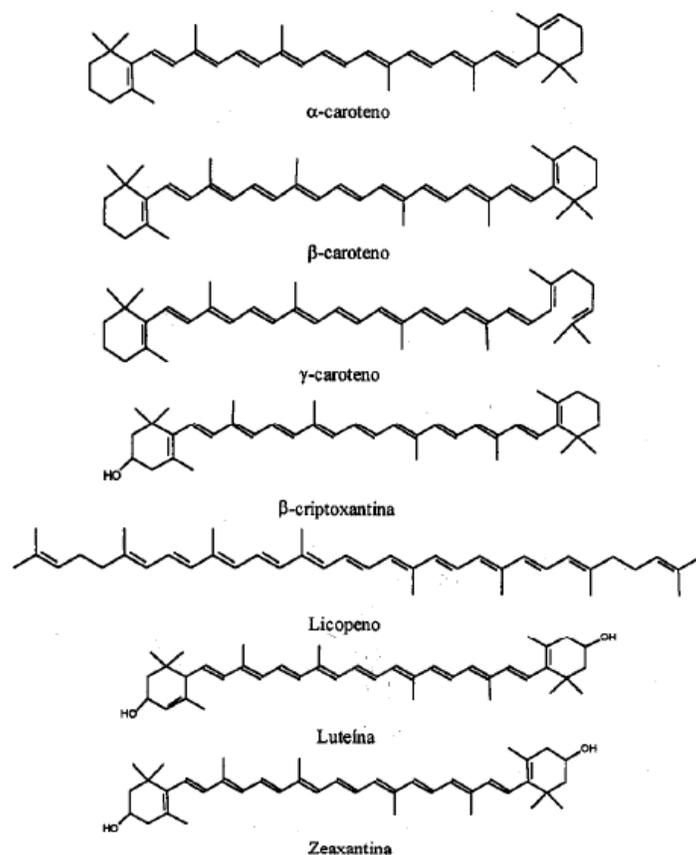


Figura 5. Estructura de los Carotenos (Mínguez, 1997).

A partir del licopeno todos los demás carotenoides se pueden considerar formalmente derivados, ya sea por hidroxilación, ciclación u oxidación, o bien por combinación de estas reacciones. El oxígeno puede estar presente como grupo hidroxilo, metoxilo, epoxi, carboxilo o carbonilo (Faulks y Southon, 2005; Salinas y col., 2008). Los derivados hidroxilos pueden existir en estado libre o esterificado con ácidos grasos.

Exceptuando los apocarotenos ácidos, los cuales forman sales solubles en agua en condiciones alcalinas, los carotenos sólo son solubles en solventes orgánicos apolares. Tanto los vegetales como las bacterias, la función principal de estos pigmentos es servir de captadores de energía luminosa, que luego transfieren a las clorofilas que se encargan de translucirla en el proceso fotosintético. Los dobles enlaces conjugados presentes en los carotenoides son los responsables de

la intensa coloración de los alimentos que contienen estos pigmentos. Así, por ejemplo, el color naranja de la zanahoria y rojo del tomate, se deben a la presencia de  $\beta$ - caroteno y licopeno (Meléndez- Martínez y col., 2004).

En el maíz, principalmente de variedades criollas, los carotenoides precursores de la provitamina A contienen  $\alpha$ -caroteno,  $\beta$ -caroteno y  $\beta$ -criptoxantina, en concentraciones bajas, con rangos que van de 0 - 1.3, 0.13 - 2.7 y 0.13 - 1.9 nmol/g, respectivamente como se presenta en la tabla 6.

**Tabla 5 Tipos de carotenos en maíz blanco**

Takkar y Failla 2008

Harina de maíz	Luteína	Zeaxantina	$\beta$ -Criptoxantina	$\beta$ -Caroteno
Blanco	0.06 $\pm$ 0.005	0.05 $\pm$ 0.001	ND**	0.04 $\pm$ 0.001
Amarillo	9.7 $\pm$ 0.33	3.8 $\pm$ 0.12	1.3 $\pm$ 0.09	0.7 $\pm$ 0.08
Naranja claro	10.0 $\pm$ 0.29	8.1 $\pm$ 0.21	2.8 $\pm$ 0.07	4.9 $\pm$ 0.09
Naranja obscuro	13.2 $\pm$ 0.23	7.9 $\pm$ 0.51	2.4 $\pm$ 0.05	3.0 $\pm$ 0.12

Concentraciones en  $\mu$ g/g, \*\* ND, no detectados

## Biosíntesis de los carotenos

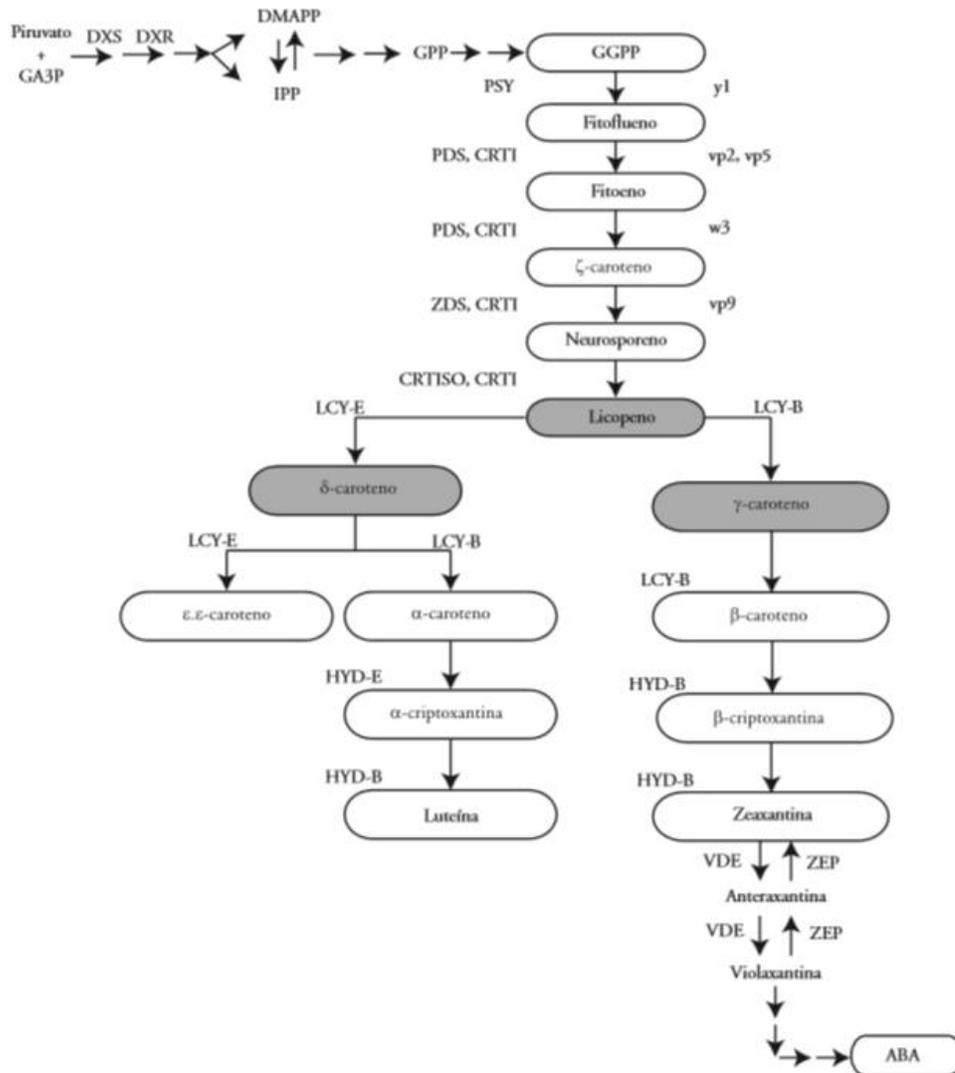
Los carotenoides son tetraterpenoides que se derivan biosintéticamente del ácido mevalónico a través de dos unidades C20 de geranyl-geranylpirofosfato (GGPP), llamada biogénesis de los terpenoides como se muestra en la figura 6, la cual se puede dividir en cuatro etapas generales (Martínez, 2003), que son:

Etapa I: Síntesis de isopentenilpirofosfato (IPP): Vía ácido mevalónico (MVA) o vía de 1-desoxi-D-xilosa-5-fosfato (DOXP).

Etapa II: Isomerización del IPP a dimetilalilpirofosfato (DMAPP), adición respectiva de IIP y DMAPP

Etapa III: Elaboración de moléculas de prenilpirofosfato

Etapa IV: Modificaciones enzimáticas de los esqueletos



**Figura 6. Ruta mevalónica independiente de los tetraterpenoides**

Que da lugar a los diferentes carotenos de las plantas y la hormona ABA. GA3P: D-gliceraldehido-3-fosfato; DXS: 1-deoxi-D-xilulosa 5-fosfato sintasa; DXR: reductoisomerasa; DMAPP: dimetilalil pirofosfato; IPP: isopentenil bifosfato; GPP: geranyl pirofosfato; GGPP: geranyl geranyl pirofosfato; PSY: fitoeno sintasa; PDS: fitoeno desaturasa; CRTI, ZDS: z-caroteno desaturasa; CRTISO: caroteno isomerasa; LCY-E: e-licopeno ciclasa; LCY-B: b-licopeno ciclasa; HYD-E: e-hidroxilasa; HYD-B: b-hidroxilasa; VDE: violaxantina deepoxidasa; ZEP: zeaxantina epoxidasa; ABA: ácido abscísico. Enzimas asociadas a mutantes en maíz: yellow 1 (y1), viviparous 2 (vp2), viviparous 5 (vp5), white seedling (w3) viviparous 9 (vp9). (Li y col., 1996; Fraser y Bramley, 2004; Wong y col., 2004).

## Factores que influyen en la degradación de los carotenos

## **Oxidación**

La degradación de los carotenoides se debe fundamentalmente a reacciones de oxidación (Mínguez, 1997), ya sea no enzimáticas o debido a enzimas como las lipooxigenasas, y se presenta generalmente durante el secado de frutas y vegetales. La interacción de los carotenoides con algunos constituyentes de los alimentos ejerce un efecto protector contra dichas reacciones, de tal forma que se oxidan más rápidamente cuando se extraen del fruto o se purifican (Meléndez-Martínez y col.,2004). Al igual que con los lípidos, la oxidación de los carotenoides se acelera por la temperatura, la presencia de metales, luz y enzimas (Mínguez, 1997). El mecanismo de oxidación de los carotenoides, a diferencia de los lípidos, no está totalmente claro. Al parecer estos procesos oxidativos implican reacciones de epoxidación, formación de apocarotenoides (carotenoides de menos de 40 átomos de carbono) e hidroxilación, obteniéndose finalmente compuestos de bajo peso molecular similares a los que aparecen como consecuencia de la oxidación de los ácidos grasos.

## **Efecto de la estructura**

La diferencia de la estabilidad entre los distintos carotenoides es influenciada por su estructura individual. La reactividad de estos pigmentos en reacciones de captación “scavenging” de radicales, en general, disminuye al disminuir el número de dobles enlaces coplanares y debido a la presencia de grupos hidroxilos y carbonilos. La reactividad, por tanto, disminuye al disminuir el número de dobles enlaces coplanares y debido a la presencia de los grupos hidroxilos y carbonilos. La reactividad, disminuye de los carotenos a los hidroxicarotenoides y de estos a los cetocarotenoides, (Mínguez, 1997)

## **Efecto de la temperatura**

Los carotenos con mayor actividad biológica son aquellos que tienen sus dobles enlaces en forma de isómero trans, que se transforma parcialmente en forma cis durante tratamientos térmicos en ausencia de oxígeno. Estudios revelan que la degradación del  $\beta$ -caroteno y licopeno se debe a diferentes condiciones de calentamiento siguiendo una cinética de primer orden. En cuanto al  $\alpha$  caroteno, parece ser que su degradación es consecuencia de la acción de la luz o el calor, siguiendo también una cinética de primer orden (Mínguez, 1997). Con respecto al licopeno, un estudio demostró que en el calentamiento de disoluciones modelo de este pigmento a 50, 100 y 150°C se forman hasta seis isómeros distintos (Rodríguez-Amaya, 1999).

### **Efecto de la luz**

La exposición a la luz de los carotenos induce su ruptura con la formación de compuestos incoloros de bajo peso molecular. Se ha estudiado la relación que existe entre la pérdida de pigmento, la exposición de luz y la presencia de ácidos grasos, encontrándose que la insaturación de los ácidos grasos protege en estas condiciones a los pigmentos (Mínguez, 1997).

### **Efecto del pH**

Los medios ácidos y alcalis pueden provocar isomerizaciones cis/trans de ciertos dobles enlaces, reagrupamientos y desesterificaciones. Los epoxicarotenoides son altamente inestables en medio ácido, lo cual tiene una gran importancia debido a la acidez inherente de algunos alimentos en particular (Meléndez- Martínez 2004).

## 5 NIXTAMALIZACIÓN

La palabra nixtamalización viene del náhuatl nixtli, cenizas, y tamalli, masa, el proceso de la nixtamalización le da un alto valor nutritivo dado a las características fisicoquímicas y nutricionales del maíz descritas con anterioridad y a los cambios que suceden durante el proceso de nixtamalización; este proceso es la clave en la elaboración de diversos productos como la tortilla, el alimento principal de la dieta de la población mexicana desde hace más de 3,500 años.

La nixtamalización inicia con el cocimiento alcalino de los granos de maíz, seguido de la molienda del grano cocido (nixtamal) y la obtención de la masa que es deshidratada, cernida, clasificada y envasada. La técnica se basa en el cocimiento de los granos de maíz (1 Kg) en agua (2-3 litros) con álcali, preferentemente  $\text{Ca(OH)}_2$  (1-2 %) durante 10-40 min a 85-100 °C. El grano se deja reposar entre 8-24 h en la solución de cocción (nejayote), posteriormente se lava de 2 a 4 veces con agua para eliminar el nejayote constituido por cal y componentes del grano (5.11 % proteína, 19.29 % fibra cruda, 52.45 % extracto libre de nitrógeno, y 23.15 % de cenizas del cual el calcio representa el 56.4 %); finalmente es obtenido el maíz nixtamalizado o nixtamal que llega a tener hasta un 45 % de humedad. El nixtamal es molido en un molino de piedras para obtener masa, el proceso de molienda requiere, para llevarse a cabo con buen término, la adición de agua llegando a tener la masa de 48 a 55 % de humedad (Nogueira-Terrones y col., 2004; Sefa-Dedeh y col., 2004; y Paredes-López y col., 2009; Ruiz-Gutiérrez y col., 2010; Valderrama-Bravo y col., 2010). La masa que resulta de la molienda, consiste en segmentos de germen, residuos de pericarpio y endospermo unidos por el almidón parcialmente gelatinizado, y por proteínas y lípidos emulsificados.

## **5.1 Factores que influyen en el proceso de nixtamalización**

Los factores que influyen en el proceso de nixtamalización son tiempo y temperatura de cocimiento, tipo y concentración de cal, características físicas y químicas del maíz como tipo de endospermo, estructura del grano, dureza, homogeneidad en tamaño, porcentaje de grano dañado, relación amilosa-amilopectina, frecuencia de agitación durante el cocimiento, así como procedimientos de lavado y reposo (FAO,1993; Plascencia-González, 1998; Castillo y col., 2009).

### **5.1.1 Cambios durante la nixtamalización**

Los principales cambios que ocurren durante la nixtamalización del maíz se dan en la región del pericarpio, endospermo y en el germen. Se distinguen: cambios en la estructura del grano, en su composición química, en sus propiedades de funcionalidad y en valor nutritivo (Rodríguez-García y col., 2008).

### **5.1.2 Papel del hidróxido de calcio**

La difusión del calcio al interior de los granos de maíz es un proceso dependiente de la temperatura y por consecuencia ocurren cambios fisicoquímicos en la estructura del maíz, entre estos cambios se involucran el incremento en el tamaño del grano, absorción de agua y ablandamiento (Laria y col., 2007).

La absorción de agua y calcio, producto de la interacción de la solución alcalina con los componentes del grano de maíz, dando como resultado el ablandamiento y suavización del pericarpio (Ruiz-Gutiérrez y col., 2010). Durante la cocción térmico-alcalina de los granos de maíz, la estructura externa enlaza casi inmediatamente al calcio (Zazueta y col., 2002), alterando la microestructura del pericarpio (Quintanar-Guzmán y col., 2011) solubilizando parcialmente la capa aleurona, compuesta por hemicelulosas del tipo A y B (Núñez-Santiago y col., 2003). El reblandecimiento del pericarpio además de facilitar la incorporación de la solución alcalina al interior del grano (Fernández-Muñoz y col., 2002), que este a su vez permite su eliminación durante el lavado del nixtamal. Una vez que el

pericarpio es removido, la difusión de agua y calcio incrementa en el grano de maíz a un nivel en el cual pueden ocurrir cambios físicos y químicos, que se asocian con la calidad final de los productos (Ruiz-Gutiérrez y col., 2010).

El tiempo de reposo hace que haya un incremento en la velocidad de absorción de agua y por lo tanto de cal al grano en las primeras 8 h de reposo, atribuyéndose a la remoción de aproximadamente el 90 % del pericarpio seguido de una difusión acelerada hasta llegar a un equilibrio asintótico (Ruiz-Gutiérrez y col., 2010). El ingreso de la solución alcalina al endospermo promueve la gelatinización parcial o total del almidón (Gómez y col., 1989) modificando la dureza del endospermo. En el interior del grano se promueve la interacción calcio-almidón inhibiendo la absorción del agua en los gránulos de almidón disminuyendo su gelatinización y retrogradación al cargarse eléctricamente las cadenas de almidón por efecto del pH alcalino (Lara-Menchaca, 2004), lo que ayuda a disminuir la retrogradación y la pérdida de frescura de las tortillas (Rooney y Suhendro, 1999).

### **5.1.3 Mejora en la calidad nutricional que aporta la nixtamalización al maíz**

En la nixtamalización se presenta la desnaturalización de la matriz proteica liberando niacina y solubilizando algunas de las proteínas encontradas alrededor de los gránulos de almidón, así como la saponificación de parte de los lípidos (NúñezSantiago y col., 2003) estos se encuentran principalmente en el germen. Análisis químicos demostraron que el proceso de nixtamalización hace que se pierdan nutrientes en el maíz, pero debido a este proceso hace que las tortillas tengan mayor calidad nutricional en cuanto a su aporte proteico y calcio (García-Méndez, 2004).

El proceso de nixtamalización mejora el contenido de calcio, almidón, proteínas y fibra. La nixtamalización aumenta el balance de aminoácidos esenciales; el calcio controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, color, vida de anaquel, (García-Méndez, 2004).

En los lípidos del maíz nixtamalizado, los ácidos grasos insaturados Omega 6 y Omega 3, se forman sales de ácidos grasos por efecto de la nixtamalización. Es conocido que la nixtamalización favorece la neutralización de los AG libres formando sales de calcio. Los AG son uno de los responsables de la fijación de  $\text{Ca}^{+2}$  en el grano de maíz. Las especies alifáticas presentes en el grano son especies químicas saponificables (Valor-Reed, 2002).

#### **5.1.4 Pérdidas de nutrientes por la nixtamalización**

La nixtamalización ocasiona la pérdida de componentes químicos del grano, estas pérdidas se incrementan con el tiempo de cocimiento, alta concentración de cal y durante el reposo (García-Méndez, 2004). Fragmentos de pericarpio, almidón, proteína, germen y cal, constituyen la mayor proporción de materia seca en el agua de cocimiento. Existe también una disminución importante de algunas vitaminas y proteínas que son solubles en condiciones térmico-alcálicas como es el caso de las gluteninas. De los carbohidratos, incluida la fibra cruda, se pierde el 41.5 % (García-Méndez, 2004; Yáñez-Ortega, 2005). De los lípidos se sabe de una pérdida de sustancias extraíbles con éter del 33 % en maíz amarillo y 43 % en maíz blanco (Bressani y col., 1958).

#### **5.1.5 Efecto de la nixtamalización sobre antocianinas, polifenoles, carotenos y lípidos**

Durante el procesamiento de nixtamalización, el maíz es sometido a condiciones de alto contenido humedad, calor (80 a 105 °C) y un pH alcalino (11 a 12). La nixtamalización reduce significativamente el contenido de antocianinas en los maíces pigmentados, pérdida que se debe a que gran cantidad de estos compuestos se solubilizan en el agua de cocción a pH alcalino y temperatura alta, degradando a los compuestos. Además de que, otras estructuras químicas derivadas de los polifenoles son afectadas por el rompimiento de enlaces éster, y como consecuencia se liberan fenoles a la solución de cocción. La mayor parte de estos compuestos se encuentran en el pericarpio del grano, y son eliminados durante el lavado del nixtamal (De la Parra y col., 2007).

(Salinas-Moreno y col. (2003) evaluaron el efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas en granos de variedades de maíz de colores rojo y azul cultivados en ciertas regiones de México. Los autores reportaron que los maíces con pigmentos en el pericarpio, presentaron mayores pérdidas (73 y 100 %), en contraste con los granos con pigmentos ubicados en la capa de aleurona (19.5 y 50.2 %), posiblemente por el efecto de protección del pericarpio a la capa de aleurona la cual mostró escaso daño. Además, los autores registraron un incremento en el contenido de cianidina 3-glucósido en harinas nixtamalizadas de maíz azul, y un cambio en el perfil de antocianinas de maíces de ambos colores, por una degradación de compuestos acilados que da lugar a la formación de nuevas estructuras químicas como antocianinas simples. Otros compuestos son prácticamente destruidos en su totalidad por efecto del pH alcalino.

Posteriormente, (Salinas-Moreno y col. (2007) reportaron mayores contenidos de fenoles totales y libres en muestras de masas y tortillas nixtamalizadas mediante el método tradicional, comparados con los valores encontrados en el grano crudo, también describieron algunos de los efectos de la nixtamalización en el oscurecimiento de masas y tortillas elaboradas con maíces comerciales.

En investigaciones de (Bressani y col. (1958) se mostró que la pérdida de lípidos se atribuye a partes del grano que contienen sustancias lipídicas extraíbles con éter como la pérdida parcial del pericarpio, la capa de aleurona, la piloriza y una porción del germen.

Con respecto al contenido de carotenos maíz amarillo, se pierde del 15 % al 28 % del caroteno (precursor de la vitamina A, considerado como lípido) (Bressani y col., 1958). Se han comprobado pérdidas del 11.8 % al 18.1 % de lípidos e indicaron que podían deberse parcialmente a la enérgica manipulación del maíz cocido durante la etapa de lavado, mencionan además que del 25 % al 50 % de los lípidos de la masa se encuentran en estado libre y parcialmente emulsionados (Pflugfelder y col., 1988). Según Bedolla y col. (1983), los valores de extracto etéreo ascendían a 5.0 %, 3.1 % y 3.6 % en el maíz crudo, el maíz cocido y las tortillas, respectivamente. Estudios desarrollados por (Palacios Fonseca y col.,

2009) indican una disminución de 4.13 % a 3.89 % en harinas de maíz nixtamalizadas debido a un incremento en el tiempo de reposo durante el proceso promoviendo la pérdida de materia seca (pericarpio y germen). (Paredes-López y col. (2009) mencionan que los lípidos del grano de maíz disminuyen considerablemente, hasta por 3.4 % en tortilla de maíz amarillo y por 2.5 % en la de maíz blanco.

## **6 EL OLOR Y AROMA**

El olor es una sustancia volátil percibida por el sentido del olfato y por la acción de inhalar y el aroma son las sensaciones percibidas por el órgano olfativo, por vía nasal indirecta posterior, cuando se realiza la degustación de un alimento o bebida (Sancho y col., 2002). El aroma juega un papel indiscutible en la aceptación y elección de alimentos, si un aroma indeseable es percibido o no corresponde a las expectativas del consumidor, el producto será rechazado (G. López, 2001).

Para que pueda percibirse algún olor, la molécula estimulante debe ser volátil de bajo peso molecular y además, se requiere de una corriente de aire para que la transporte a los centros olfativos de la nariz; éstos son muy sensibles, tienen un alto poder discriminatorio, son capaces de captar aproximadamente 10,000 compuestos diferentes en 20 niveles de concentración y con un umbral mínimo de 10<sup>18</sup> molar. Además de que la cantidad del agente activo es muy importante para captar un determinado olor, la velocidad de flujo a través del conducto nasal influye en forma decisiva; por esta razón, el umbral de percepción puede ser modificado hasta 100 veces, al estimular el sistema nervioso simpático, ya que éste controla el tamaño de los vasos sanguíneos y por tanto el volumen de aire que circula en la nariz. Debido a que este sistema depende a su vez de los estados de salud y psicológico del individuo, la sensibilidad para captar un olor puede cambiar de un día a otro, o incluso durante el mismo día. Además, el

cerebro no sólo puede captar y reconocer los miles de compuestos odoríferos, también puede almacenar la información y recordarla después de largos periodos de tiempo. Los conocimientos sobre la fisiología del olor son un tanto fragmentarios (Sancho y col., 2002).

Existen hipótesis sobre los procesos físico químicos que se producen entre la sustancia aromática y el receptor olfativo, siendo la más aceptada la estereoquímica de Moncrieff y Amoore, ésta dice que según la forma y el tamaño de una sustancia odorífera son las principales responsables de la sensación olfativa, la forma y tamaño de los receptores están conformados de tal modo que las sustancias odoríferas encajan en ellos como una llave en una cerradura. Se postulan 9 formas distintas de receptores y paralelamente de 9 categorías primarias de olores (Figura 7).

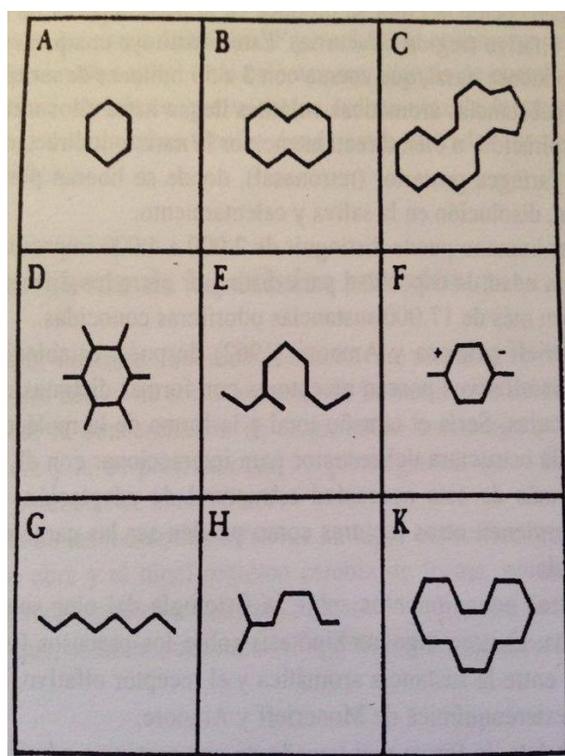


Figura 7. Olores primarios y su estructura estereoquímica básica correspondiente (Sancho y col. 2002).

A= Dulce, B= Naftalínico, C= Almizclado, D=Alcanforado, E= Jazmínico, F= Anisado, G= Graso, H= Floral, K=Leñoso

En las moléculas pequeñas, que apenas se diferencian entre sí en cuanto a forma y tamaño, los grupos funcionales desempeñan un papel importante respecto a la categoría del olor, por ejemplo en el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ; grupo funcional:  $-\text{NH}_2$ ; penetrante), el ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ; grupo funcional:  $-\text{SH}$ ; a huevos podridos) y el metil-mercaptano ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ; grupos funcionales:  $\text{CH}_3-$  y  $\text{SH}$ ; a col podrida) Al aumentar el tamaño de las moléculas y el tamaño moleculares determinan en gran medida la categoría del olor (Sancho y col., 2002).

El ser humano tiene de 10 a 20 millones de receptores olfativos localizados en una superficie de  $10 \text{ cm}^2$  de la región posterior de la nariz. Cuando un compuesto volátil llega al epitelio olfativo situado en el techo de la cavidad nasal, se acopla a receptores específicos, la unión o acoplamiento entre el compuesto odorífero con el receptor se produce por afinidad química, al igual que en la percepción del sabor, ésta depende de la estructura química de la sustancia en cuestión, generando una señal nerviosa que puede procesar el cerebro. Cada olor se caracteriza por la activación de varios receptores, la combinación de estos receptores es propia de cada olor y permite que el cerebro lo reconozca (Sancho y col., 2002).

Una molécula volátil es capaz de acoplarse a varios receptores, y a su vez, un mismo receptor interviene en olores distintos. Por lo que, cuando el compuesto activo llega al epitelio olfativo como se muestra en la figura 8, genera un patrón de activación específico que se transmite al bulbo olfativo, donde la información es reorganizada para crear un mapa exclusivo del olor que se está percibiendo y que permite al cerebro reconocer la naturaleza de cada aroma (Zozula y col. 2001). (Zozula S., Echeverri. F y Trieu N., 2001)

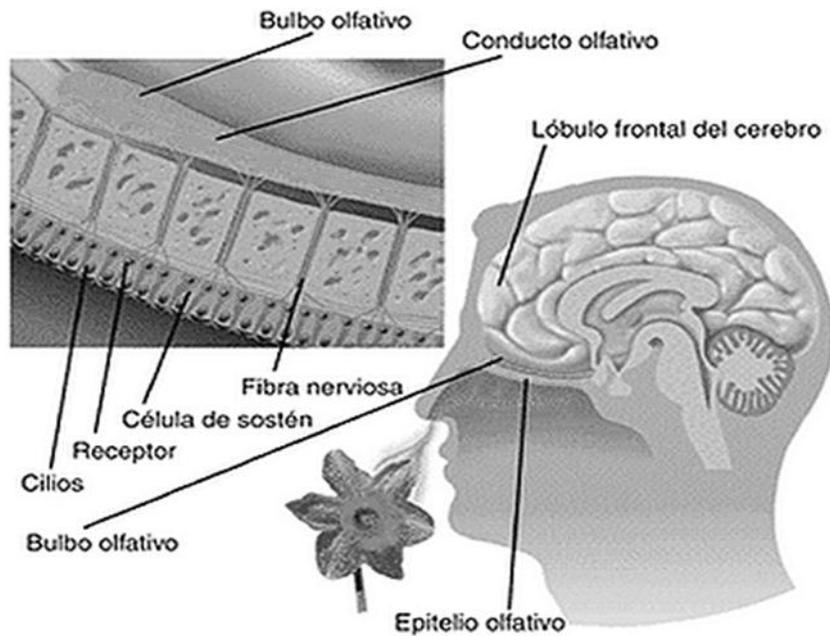
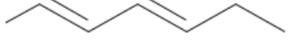
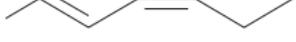
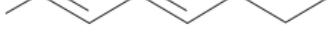
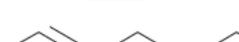


Figura 8 Esquema de la cavidad nasal

w.w.w.surameris.blogspot.mx/

Cambios aún muy pequeños en la calidad y la concentración en la composición del olor pueden modificar el patrón de percepción y modificar la calidad del olor percibido. Por ejemplo, el trans-2-enal, por encima de su límite de percepción (0.1 mg/kg), tiene un olor a madera, por arriba de 8 mg/kg tiene un olor a grasa y a 30 mg/kg el olor se vuelve desagradable. Asimismo, en el caso de los aldehídos, el tamaño de la cadena es determinante para que se produzca una percepción sensorial específica, así como los umbrales mínimos de detección de varias de estas sustancias como se muestra en la tabla 7 (Keeper y col. 1977)

**Tabla 6. Umbrales de detección de algunos aldehídos en alimentos**

Aldehído	Descripción	Umbral ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	
		Olor	Sabor
O=C 	Plátano	0.3	0.04
O=C 	Rancio	10	0.5
O=C 	Manzanas podridas	4	0.055
O=C 	Nuez	1	0.15
O=C 	Grasa de pollo	2	0.25
O=C 	Pepino	2.5	0.35
O=C 	Manzana	2.5	0.35
O=C 	Tomate	0.15	0.15
O=C 	Naranja	34	5.5
O=C 	Melón	5	1

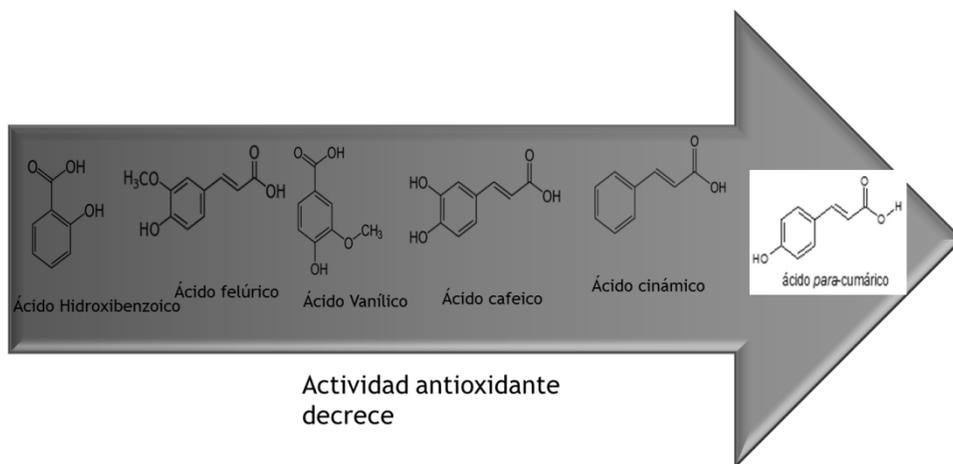
(Keepler y col. 1977)

## 6.1 El olor y aroma de los productos nixtamalizados

El aroma constituye uno de los atributos sensoriales de mayor relevancia en los productos alimenticios. En la nixtamalización, el aroma es el resultado de una compleja combinación de compuestos volátiles que originalmente se encuentran en el maíz o son producidos durante el proceso, en sí la propia adición de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  provoca la generación de notas muy peculiares en los productos, aunado al proceso de nixtamalización, posteriormente el molido del nixtamal para la formación de masa y esta a su vez para la elaboración de tortilla en comal de hierro a  $270^\circ\text{C}$  y del proceso de secado que se le da a la masa para la formación de harina nixtamalizada genera una serie de compuestos volátiles (Su y Chen, 2007).

Los compuestos fenólicos que poseen anillos aromáticos, con grupos sustituyentes hidroxilo, éster, glucósido, etc., estos metabolitos secundarios que

constituyen el aroma y el sabor de los alimentos. Estos compuestos fenólicos presentes en el maíz como se muestra en la Figura 9 son precursores de compuestos volátiles que se generan en la nixtamalización (Su y Chen, 2007).



**Figura 9. Compuestos fenólicos en el maíz**

La oxidación de los aceites y la naturaleza y proporción de los productos primarios y secundarios de oxidación formados dependen de la naturaleza del aceite y de las condiciones bajo las cuales se efectúe la oxidación que estos a su vez generan compuestos volátiles. El aceite vegetal contiene de forma natural lípidos polares, tales como mono y diacilglicerol, fosfolípidos, esteroides, tocoferoles y ácidos grasos libres. Cuando los ácidos grasos poliinsaturados son oxidados, se producen hidroperóxidos, aldehídos, cetonas, alcoholes (Chaiyasit y col., 2007), además de hidrocarburos, furanonas y lactonas (Mildner-Szkudlarz y col., 2003).

Papadopoulou y Roussis (2008) reportaron aldehídos volátiles como el pentanal, hexanal, octanal, nonanal y decanal, son productos de la oxidación secundaria del aceite otros estudios sobre la oxidación de aceite de maíz a 70 °C con aireación muestran la formación predominante de aldehídos, alcanales, (E)-2-alquenales, 4-hidroperoxy-(E)-2-alquenales y 4hidróxi-(E)-2-alquenales mientras

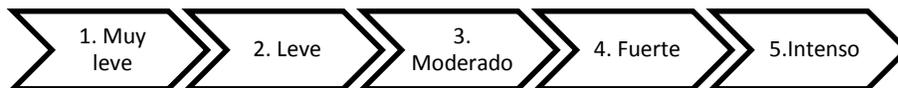
que en menor proporción se encontraron (E,E)-2,4alcadienales y 4,5-epoxi-2(E)-alquenaes (Guillen y Goicoechea, 2009).

Compuestos volátiles procedentes de la degradación de los ácidos grasos, así como productos de precursores de fenoles presentes en el maíz fueron reportados Buttery y Ling (1995) encontraron que en compuestos volátiles en maíz blanco en harina de masa nixtamalizada y incluían al hexanal, pentanol, 4-vinilguaiacol, 2-aminoacetofenona y vainillina y en tortilla incluían 3-hidroxi-2-butanona, hexanal, 2-aminoacetofenona y 4-vinilguaiacol. Encontraron que algunos compuestos que con mayor probabilidad de contribuir con el aroma en las tortillas son 2-aminoacetofenona,  $\beta$ -ionona, 3-metilbutanal, 4-vinilguaiacol, hexanal y 1-octen-3-ol.

## **7 QDA**

El análisis sensorial descriptivo cuantitativo (QDA) puede ser considerado como el primer paso en la caracterización de un producto. En el análisis sensorial, la fase olfativa o descriptiva de aromas es una fase importante, fue desarrollado por Stone y Sidel en 1993.

Este análisis sensorial se ha sido definido como un método científico utilizado para medir, analizar e interpretar respuestas a productos como las percepciones por medio de los sentidos: vista, olfato, gusto, tacto y oído (Stone y Sidel., 1993) con un panel entrenado para la generación de descriptores mediante una escala de intensidad, para finalmente generar la media geométrica para la formación de graficas de araña que representan el perfil sensorial de cada producto analizado, descrito por la norma ISO 11035 e ISO 8589



**Figura 10 Escala de Intensidad.**

ISO 11035

La escala de intensidad en el QDA va del 1 al 5, siendo 5 el valor máximo en la escala

En la actualidad el QDA es utilizado principalmente en bebidas alcohólicas como vinos y cervezas, hasta hace poco surgió el interés de desarrollar esta técnica en otros productos como en productos nixtamalizados, (Vázquez-Carrillo y col., 2011) realizaron una evaluación sensorial general de tortillas de maíz blanco recién elaboradas y empacadas analizaron aroma a nixtamal, astringencia, no grumosisidad, pH, humedad, Luminosidad y Hue<sup>o</sup> de lo cual obtuvieron que la tortillas empacadas tuvieron aroma a ácido acético, no fueron astringentes, fueron grumosas, con elevada humedad (48.6 y 49%), brillantez (L= 90%) y de tono crema (95.1-94.6o). Estos son aspectos relacionados con un pH ácido (5.3-5.8). Los atributos identificados en las tortillas recién elaboradas son intrínsecos de este alimento, en tanto que las tortillas empacas presentaron atributos sensoriales diferentes a las tortillas tradicionales, con estos resultados se observa que es una herramienta sensorial eficaz para caracterizar, evaluar y comparar productos.

## **8 HIPÓTESIS**

La variedad del maíz y el proceso de nixtamalización definen el perfil aromático y sensorial en la masa, harina y tortilla.

## **9 OBJETIVOS**

### **9.1 Objetivo General**

Determinar el perfil aromático de la masa, harina y tortilla de maíz blanco y azul nixtamalizados.

### **9.2 Objetivos Específicos**

1. Caracterizar fisicoquímicamente las variedades de maíz blanco y azul y de sus productos nixtamalizados
2. Determinar el QDA del maíz blanco y azul y de sus productos nixtamalizados
3. Determinar el contenido de antocianinas y carotenos en el maíz blanco y azul y de sus productos nixtamalizados
4. Determinar el perfil aromático de las variedades de maíz blanco y azul y de sus productos nixtamalizados (masa, harina y tortilla)

## 10 MATERIAL Y MÉTODOS

### 10.1 Material biológico.

Se utilizó una variedad de granos de maíz blanco y una variedad de pigmentado de calidad nixtamalera. Se adquirió maíz blanco mejorado AS900 del estado de Durango de la empresa Aspros y Maíz azul criollo en el municipio de Paracho, Michoacán.



Figura 11. Maíz AS900



Figura 12. Maíz Tziranza

Las dos variedades de maíz se caracterizaron mediante un análisis químico proximal, que consistió en la determinación de humedad, proteína, ceniza, extracto etéreo, fibra dietaria y carbohidratos totales, además de la determinación del tamaño del grano, índice de flotación, dureza y peso hectolítrico, todo ello conforme a lo dispuesto en la NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Finalmente se realizó la valoración de color por el método de triestímulo Hunter Lab,

#### 10.1.1 Nixtamalización

Antes de proceder a la cocción alcalina del maíz, se determinó la dureza de los granos de ambas variedades, la dureza, de acuerdo a la Norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 establece una relación directa con el Índice de Flotación, indicando por consecuencia el tiempo óptimo de cocción (Tabla 6).

**Tabla 7. Relación entre el índice de flotación de granos de maíz y el tiempo de cocción térmico-alcalina (NMX-FF-034/1-SCFI-2002).**

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

De lo anterior, los resultados obtenidos para maíz blanco AS900 fueron 2 granos flotantes, correspondiendo a granos muy duros, requiriendo un tiempo de cocción de 45 min, para el maíz azul Tziranza se presentaron un total de 87 granos flotantes, indicando que se trata de un grano suaves por lo que su tiempo de cocción se estableció en 30 min.

## **10.2 Proceso de Nixtamalización**

La cocción del maíz se realizó en una solución alcalina en una relación 1:3 (maíz/agua), a 94 °C por 45 min para el maíz AS900 y 30 min para el maíz azul Tziranza. Con una concentración de hidróxido de sodio al 1% y un tiempo de reposo de 12 horas. El nixtamal se lavó a chorro de agua por 5 min, para eliminar los residuos de nejayote. Posteriormente, el nixtamal se molió en un molino de piedra (marca FUMASA) para la obtención de la masa, fue moldeada para formar la tortilla y fue cocida a  $\approx 250$  °C en comal de hierro. La harina se obtuvo por medio de secado al aire durante dos días, se molió en molino y licuadora.

Los productos nixtamalizados, masa, harina y tortilla, fueron molidos cernidos en malla de 300 micras y se congelaron a -20°C para las posteriores determinaciones.

### 10.2.1 Caracterización físico-química de la masa, harina y tortilla

Se llevó a cabo el análisis químico proximal de los tres productos derivados de la nixtamalización, masa, harina y tortilla. A cada producto se le realizaron las siguientes pruebas de caracterización:

Tabla 8. Caracterización físico-química de los productos nixtamalizados

### 10.3 Extracción total de antocianinas

Producto	Prueba
Masa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>fuerza de adhesión y cohesión</b></li> <li>• <b>color</b> método triestímulo Hunter L,a,b</li> <li>• <b>humedad.</b> <i>método 44-19 de la AACC (1983).</i></li> </ul>
Harina Nixtamalizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Índice de tamaño de partícula</b> Bedolla y Rooney, (1984)</li> <li>• <b>densidad aparente</b> <i>el método de Koeppe y col., (1987)</i></li> <li>• <b>Color</b> método triestímulo Hunter L,a,b</li> <li>• <b>capacidad de absorción de agua</b> <i>acuerdo a Bedolla, (1983)</i></li> <li>• <b>pH</b> <i>método 02-52 de la AACC (1983)</i></li> <li>• <b>índice de absorción de agua</b> <i>método descrito por Anderson y col. (1969)</i></li> <li>• <b>índice de solubilidad en agua</b> <i>método reportado por Anderson y col. (1969).</i></li> <li>• <b>Humedad</b> <i>método 44-19 de la AACC (1983)</i></li> </ul>
Tortilla	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Capacidad de enrollamiento</b> Suhendro <i>et al.</i> (1998)</li> <li>• <b>Color</b> método triestímulo Hunter L,a,b</li> <li>• <b>Grado de inflado</b></li> <li>• <b>humedad</b></li> <li>• <b>pérdida de peso durante la cocción.</b></li> </ul>

La extracción total de antocianinas se determinó en muestras frescas mediante 3 metodologías, se desarrollaron dos metodologías de Fuleki, T. y F.J. Francis modificado (figura 11 y 12 ) y una metodología de Salinas Moreno modificado (figura 10), se determinó cuál de las la metodología óptima para la extracción total, mediante una análisis estadístico, con una prueba T de Tukey y un Anova. De los resultados obtenidos se decidió utilizar el método de Fuleki, T. y F.J. Francis

modificado con 0.05g de muestra, con extracciones 1 ml de solvente, 3 min de vortex y 10 min se centrifugación a 7000 rpm para cada extracción, hasta extracción completa. Se determinaron las absorbancias en un espectrofotómetro a 535 nm correspondiente a la cianidina, siendo esta la encontrada en mayor concentración en el maíz.

A los extractos de muestra seca obtenidos por el método de Fuleki, T. y F.J. Francis modificado con solvente MOH/HCl 99:1 Se les hizo un barrido de 200 a 800 nm para determinar el contenido de las principales tipos de antocianinas

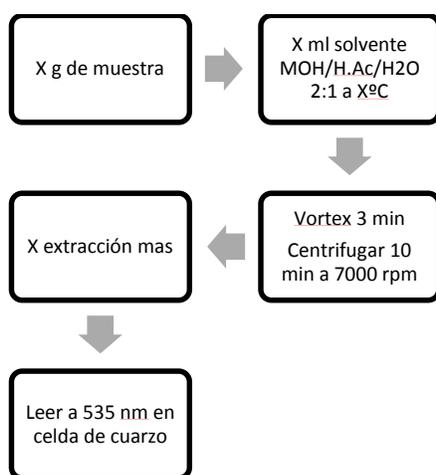


Figura 13. Método modificado para cuantificación de antocianinas (de Salinas Moreno, 2003): --escribir título acorde a la figura--

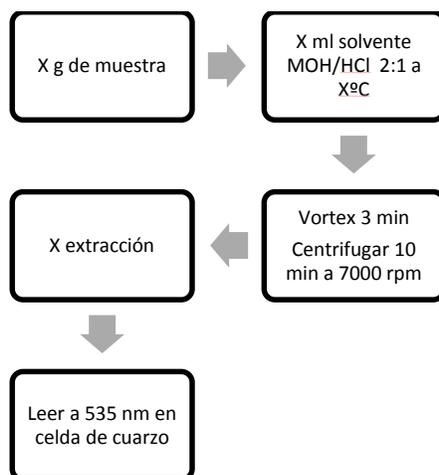


Figura 14. Método 1 modificado para cuantificación de antocianinas (Fuleki y Francis, 1968).

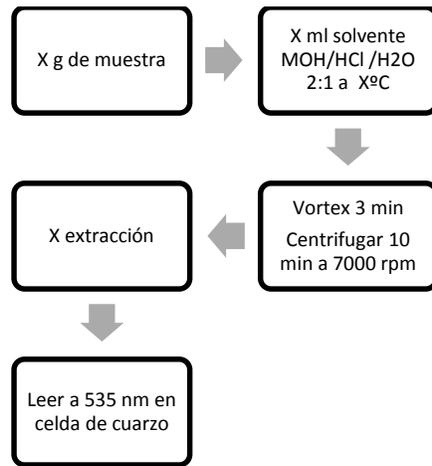


Figura 15. Método 2 modificado para cuantificación de antocianinas (Fuleki y Francis, 1968).

Con los siguientes datos se determinó el contenido de antocianinas:

Tabla 9. Tipos de antocianinas a determinar en el maíz azul.

Antocianina	Peso Molecular	Longitud de onda	Coeficiente de Extinción
Cianidiana	287.24	535	32000
Pelargodinida	494	494	32000
Cianidina-3-glucosilado	449.2	525	26900
Pelargodina-3-glucosilado	443.39	515	13000

Para determinar el peso (g) de antocianinas por litro de solvente se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Gramos de antocianinas por Litro de solvente

$$\frac{g}{L} = \frac{A(\lambda)(PM)(F)}{\epsilon}$$

Giusti y Wrolstad

Donde:

A= Absorbancia

$\lambda$ = Longitud de onda

PM= Peso molecular de la molécula

F= Factor de dilución

$\epsilon$ = Coeficiente de extinción de la molécula

Para determinar el contenido de miligramos antocianinas totales por kilogramos de muestra se empleó la siguiente ecuación:

**Ecuación 2. Miligramos de antocianinas por Kilogramos de muestra**

$$AT = (A|\epsilon)(V|1000)(PM)(1|W)(10^3)$$

Abdel y Hucl (1999)

Donde:

A= Absorbancia del extracto

$\epsilon$ = Coeficiente de extinción molecular

V= Volumen total de extracto (ml)

PM= Peso molecular

W= Peso de la muestra (g)

## 10.4 Extracción total de Carotenos

La extracción total de carotenos se realizó mediante el método modificado de Minguez y Garrido (1989). La determinación se hizo con 5g de muestra, adicionándole 100 ml de dimetil formamida (DFM) saturada con  $MgCO_3$ , agitar en vortex 5 min, filtrar en papel filtro Whatman No. 42, se realizan 2 extracciones más, pasar a embudo de separación y adicionarle 70 ml de Hexano, agitar

vigorosamente y esperar separación de fases, extraer la fase orgánica, medir en espectro a 470 nm correspondiente a Luteína.

Para calcular el contenido de carotenos se calculó con la siguiente ecuación:

**Ecuación 3. Contenido de carotenos**

$$\frac{mg}{Kg} = \frac{(A)(\lambda)(10^6)}{(2000)(1000)(F)}$$

Donde:

A= Absorbancia de extracto

$\lambda$  = Longitud de onda de la luteína

F= Factor de dilución

$\epsilon$ = Coeficiente de extinción de luteína (2000)

## **10.5 Extracción de aceite del maíz y de sus productos nixtamalizados**

La extracción de aceite se hizo en soxhlet en cartuchos de papel filtro con muestra de 50g, cubiertos con algodón, por triplicado, una vez montado el equipo y usando como solvente el hexano grado reactivo, se esperó primer reflujó, la velocidad del goteo debe ser dos gotas por segundo, reposar durante 24h, al día siguiente se esperó el primer reflujó y se contaron 5 horas, se concentró el aceite en un equipo rotavapor Yamato, modelo BM100, el aceite se mantuvo en congelación para posteriores pruebas.

## **10.6 Determinación de la composición de ácidos grasos por cromatografía de gases**

La composición de los ácidos grasos en las muestras de aceite de maíz, masa, harina nixtamalizada y tortilla fueron determinados por cromatografía de gases previa conversión de los ácidos grasos a ácidos grasos metil esterificados a través de la técnica FAMES (Fatty Acids Methyl Esterified). Los FAMES se analizaron subsecuentemente por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas de impacto electrónico y analizador de cuadrupolo.

#### **10.6.1 FAMES (Fatty Acids Methyl Esterified)**

La metil esterificación de los ácidos grasos se realizó con 0.5g de muestra de aceite, se le adicionó 8 mL de solución 0.5 N de NaOH en metanol, se conectó el matraz al condensador y se dejó en ebullición 15 min, se le adicionó a través del condensador 9 mL de  $\text{BF}_3$ , se continuó ebullición 2 min, agregar 2 ml de hexano por el condensador y se dejó ebullición 1 min, se detuvo calentamiento y se dejó enfriar, agregando 10 ml de solución saturada de NaCl, se agitó vigorosamente durante 15 segundos, se agregó solución saturada de NaCl suficiente para que la fase orgánica llegue al cuello del matraz, se retiró con una pipeta la fase orgánica y transfirió a un vial con 0.1g de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , y finalmente se transfirió el líquido seco a un vial ámbar de 1 ml y guardar en congelación hasta ser analizado en el cromatógrafo de gases.

#### **10.7 Análisis cualitativo de compuestos volátiles aromáticos**

Los compuestos volátiles aromáticos fueron extraídos a través de la técnica modificada de HS-SPME y analizados por Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas de impacto electrónico y analizador de cuadrupolo (García-Esteban y col., 2004; Majcher y Jelen, 2009). Se preparó vial con 5g de muestra al 10% en agua, se preparó solución patrón etil caproato en metanol a 100 ppm, 10 ppm y 1 ppm, los viales fueron colocados en baño a  $50^\circ\text{C}$  durante 50 min con agitación 1 min y 120 min de extracción, se absorbió con fibra SPME divinilbenceno, carboxen, polimetilsiloxano (2cm-50/30 $\mu$ ) y se desorbió

térmicamente 2 min en puerto de inyección. La identificación de espectros se realizó por comparación de espectros de masas con biblioteca NIST tomando como identificación positiva un porcentaje de parecido mínimo de 80 %. El equipo utilizado fue un Cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 7890 A, Espectrómetro de Masas Cuadrupolar con impacto electrónico marca Agilent Technologies modelo 5975 C, automuestreador marca Gerstel modelo MPS2.

### **10.8 Diseño experimental y Análisis estadístico**

Se estableció un diseño estadístico unifactorial, con dos tratamientos: maíz blanco y maíz azul, teniendo como constantes la concentración de hidróxido de calcio al 1% y el tiempo de reposo de 12h. El análisis estadístico de los datos se realizará usando el paquete estadístico JMP versión 6 con el que se realizará una prueba de T para determinar si hay diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ).

### **10.9 QDA (Análisis Descriptivo Cuantitativo)**

Se realizó el Análisis Descriptivo Cuantitativo en el maíz y los productos nixtamalizados, siguiendo el ISO 11035 y el ISO 8586 para la conformación de jueces entrenados y la generación de descriptores.

En primera instancia las instalaciones deben contar con un cubículo o mesa de preferencia de color blanco que tenga una superficie, sobre dicha mesa se colocan las muestras y el cuestionario, la iluminación debe ser en colores claros, debe haber buena ventilación y el área de preparación e instalación debe estar por separado.

El entrenamiento se llevó a cabo durante una hora diaria a la 10 am, 11 am, 3 am, esto después de comer con una hora de reposo, la muestra se presentó en fresco, del mismo tamaño, con un máximo a analizar de dos muestras por días, debido a que la nariz se satura.



**Figura 16. Metodología general del QDA**

En la figura anterior se presenta la metodología general del QDA la cual consiste en 6 pasos,

1. Selección de panelistas: Estos deben tener disponibilidad y deseo de participar, salud, los panelistas no deben usar cosméticos olorosos, lavarse las manos con jabones perfumados, no fumar. El número máximo de panelistas es de 8 y el mínimo es de 5.
2. Generación de descriptores: Esta se hace de tres formas, por lluvia de ideas, individual o la combinación de ambas
3. Reducción de descriptores: Como se muestra en la figura 17 la reducción se realiza en tres pasos

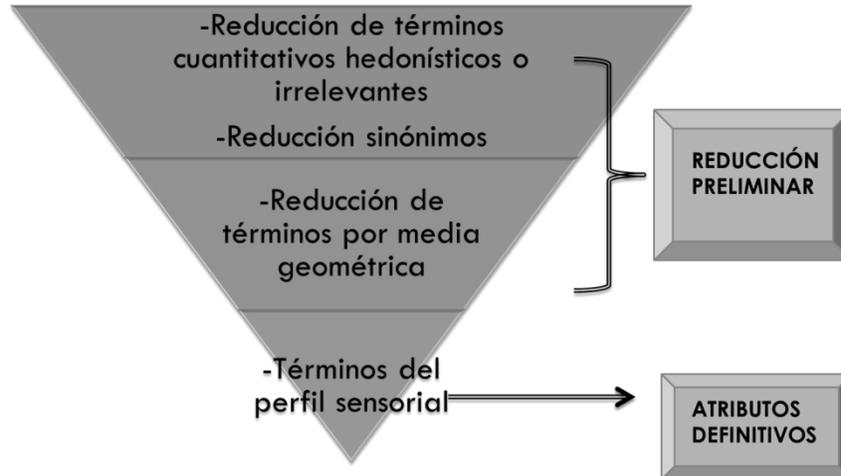


Figura 17 Reducción de descriptores.

4. Determinación de media geométrica se calcula con la raíz de los productos de la frecuencia por la intensidad ver Ecuación 4.

**Ecuación 4. Determinación de Media Geométrica**

$$M = \sqrt{(F * I)}$$

M= Media Geométrica

F= Frecuencia

I= Intensidad

Para calcular la frecuencia e intensidad se realiza de la siguiente manera:

F: es la frecuencia del no. De veces mencionado entre el número de veces que es posible mencionar

I: es la intensidad máxima de la escala (5) por la intensidad del producto por el número de evaluadores

5. Se grafican histogramas para la formación de la huella aromática de cada producto.

## **11 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A continuación se presentan los resultados derivados de la metodología descrita anteriormente. Presentó en primera instancia la caracterización del maíz y de sus productos nixtamalizados en la sección 11.1 y 11.2, después la extracción de antocianinas y carotenos en la sección 11.3 y 11.4, posteriormente la extracción de aceite del maíz y el análisis de FAMES en la sección 11.5 y 11.6 y finalmente el Análisis Descriptivo Cuantitativo y el análisis cuantitativo de compuestos volátiles, así como la relación que hay entre ellos en la sección 11.7, 11.8 y 11.9

### **11.1 Caracterización del material biológico**

#### **Caracterización Física**

Se realizó la caracterización física de las dos variedades de maíz

Se caracterizó físicamente del maíz blanco AS900 y el maíz azul Tziranza bajo la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002

En la tabla 11 se muestra un comparativo de las propiedades del maíz blanco AS900 y el Maíz azul Tziranza en la que se observan diferencias significativas en tamaño, siendo más grande el maíz blanco que el maíz azul. En dureza se observó que el maíz blanco es más duro que el maíz azul.

**Tabla 10. Caracterización física del grano de maíz AS900 y maíz Tziranza.**

	<b>Maíz Blanco AS900</b>	<b>Maíz Tziranza</b>
<b>Tamaño del grano</b>	Largo: 1.38cm ± 0.20	Largo: 1.108cm ± 0.20
	Ancho: 0.812cm ± 0.97	Ancho: 0.9146cm ±0.8
	Espesor: 0.4066cm ± 0.97	Espesor: 0.528cm ±0.8
<b>Peso 100 granos</b>	36.5554g ± 0.001	36.7166g ±0.7522
<b>Peso hectolitrito</b>	0.7729g/ml ± 0.006	0.6855g/ml ±0.0004
<b>Dureza</b>	4525.68g	1415.66g
<b>Color</b>	DL:57.08 ± 0.05	DL: 40.01 ±0.05
	Hueº: 98	Hueº: 179.24º
	Croma: 1.4833	Croma: 6
<b>Índice de flotación</b>	45 min	30 min
	2/100 (granos muy duros)	87/100 (granos suaves)

Como se observa en la tabla 11 el índice de flotación que determina el tiempo de cocción del nixtamal dio como resultado que en ambas variedades es diferente, solo 2 granos flotaron de 100, siendo granos muy duros por lo que su tiempo de cocción es de 45 min para el maíz blanco AS900, en cambio para el maíz azul Tziranza flotaron 87 granos de 100, siendo granos suaves con un tiempo de cocción recomendado de 30 min.

### **Caracterización Química**

Se caracterizó químicamente el maíz blanco AS900 y el maíz azul Tziranza bajo la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002

En la tabla 12 se observan diferencias en el contenido de Proteína, cenizas y carbohidratos, en las dos variedades de maíz, los resultados obtenidos concuerdan con los reportados por la FAO.

**Tabla 11. Caracterización Química del grano de maíz AS900 y maíz Tziranza.**

	<b>MAÍZ BLANCO AS900</b>	<b>MAÍZ AZUL TZIRANZA</b>
Humedad g%	10.75	10.75
Materia seca g%	89.25	89.25
Extracto etéreo g%	4.59	4.55
Fibra cruda g%	11.15	11.31
Proteína cruda g%	10.06	7.44
Cenizas g%	1.64	1.43
Carbohidratos g%	72.56	75.27

Como se observa en la tabla 12 existen diferencias en algunos componente químicos, de los componentes que tuvieron importancia en él estudio de esta investigación fue extracto etéreo y carbohidratos.

## **11.2 Caracterización de los productos nixtamalizados (masa, harina y tortilla)**

Se realizó la caracterización para cada uno de los productos nixtamalizados

En la tabla 13 se observa como tanto la masa, harina y tortilla presentan buenas propiedades físicas, se observan diferencias significativas entre ambas variedades con respecto al color en todos los productos y la variedad

**Tabla 12. Caracterización de los productos nixtamalizados.**

<b>Prueba</b>	<b>Blanco</b>	<b>Azul</b>
<b>MASA</b>		
Consistencia	Buena	Buena
Adhesión y cohesión	92,56g ± 6,5	92,1g ± 9,6
Color	DL: 1,17    C: 1,15 HUEº: 88º	DL: 1,36    C:1,64 HUEº: 209,22º
<b>HARINA</b>		
Densidad aparente	1,659g7ml ± 0,01	1,582g ± 0,004

Índice de absorción de agua	0,96g gel /g muestra ± 0,05	0,906g gel/g muestra ± 0,05
Capacidad de absorción de agua	0,76ml/g ± 0,2	0,66ml/g ± 0,005
pH	6,97 ± 0,015	5,61 ± 0,01
Color	DL: 1      C:0,1 HUE°: 45°	DL: 45,26      C: 0,84 HUE°: 143,69°
<b>TORTILLA</b>		
Rolabilidad	1 ± 0,05	1 ± 0,05
Grado de inflado	1 ± 0,05	1 ± 0,05
Pérdida de peso por cocción	28,78% ± 1,2	20,95% ± 1,6
Color	DL: 1,03      C:0,85 HUE°: 63°	DL: 0,98      C:1,16 HUE°: 191,89

De las propiedades de la harina la densidad aparente, índice de absorción agua es igual para ambas harinas, aunque el pH como la capacidad de absorción de agua es menor en la harina azul, en la tortilla azul la pérdida de peso por el cocimiento es menor, ambas tortillas presentaron igual rolabilidad y grado de inflado, propiedades importantes para ser considerado una tortilla de calidad según lo reportado por Méndez y Albores (2004).

### 11.2.1 Determinación de color

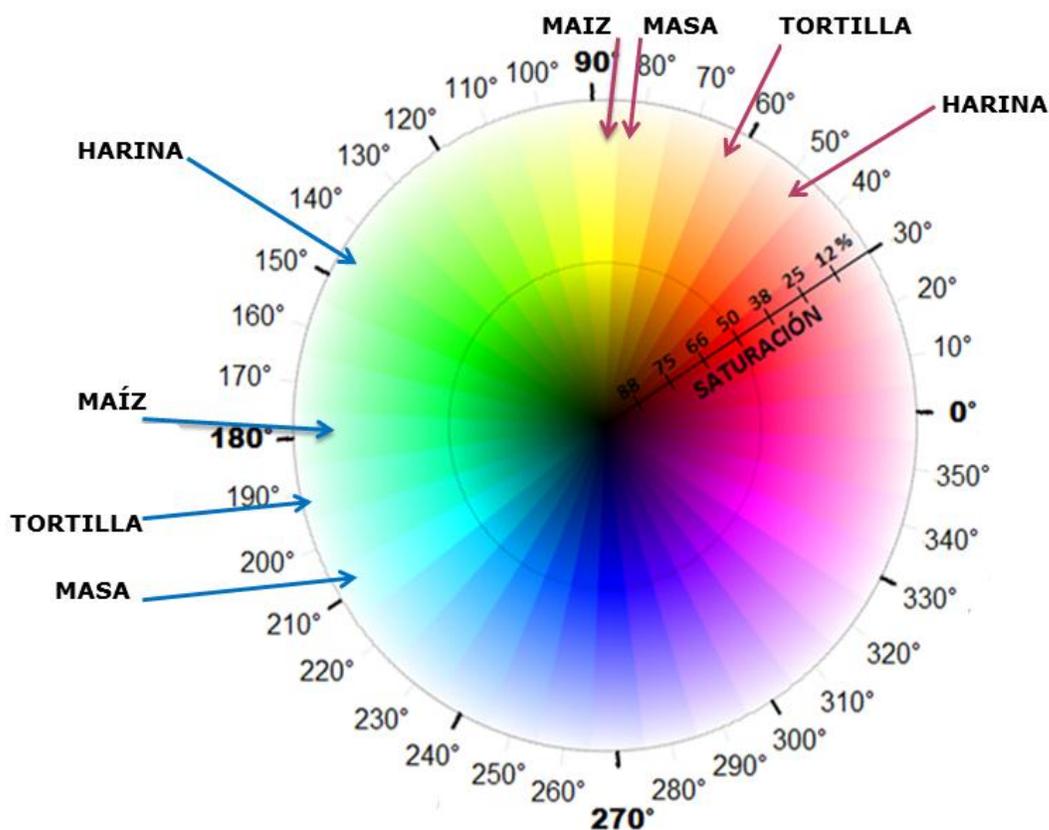


Figura 18. Color en los productos del maíz blanco AS900 y Tziranza.

Como se observa en la figura 18, los grados Hue° para las dos variedades están en las regiones correspondientes al color, también se observa como cada producto tiene un grado distinto

Tabla 13. Relación color y contenido de carotenos y antocianinas en los productos de maíz blanco AS900 y azul Tziranza.

	Blanco		Azul	
Producto	Hue°	Carotenos mg/Kg	Hue°	Antocianinas g/Kg
Grano	88°	0.068	179°	0.71
Masa	87°		209.2°	

Harina	45°	0.059	146.69°	0.28
Tortilla	63°	0.040	191.89°	0.08

Como se observa en la tabla 14 el contenido de carotenos es menor con respecto al contenido de antocianinas, en los dos se observa como tienden a disminuir el contenido de estos pigmentos con el proceso de nixtamalización secado en la harina y calentamiento en comal a 270°C para la formación de tortilla. La relación al color se observa como la harina en los dos casos tiene un corrimiento en la longitud de onda con respecto a los demás productos.

Se ha reportado en investigaciones de la doctora (Salinas-Moreno, 2003-2007) que en las harinas del maíz azul se observaron un tinte verdoso, que se atribuye al proceso de nixtamalización. Considerando el color de la tortilla, los mejores maíces azules para la elaboración de productos nixtamalizados teñidos naturalmente son aquellos que presentan menor cambio en el valor de (a) una vez nixtamalizados, en la masa se observa un color azul verdoso poco atractivo.

La nixtamalización genera una tonalidad amarilla en la masa o la harina; la intensidad de esta tonalidad depende del porcentaje del pigmento en el pericarpio que el grano retiene después de la nixtamalización. Si retiene más pericarpio, la tonalidad amarilla es más intensa que si retiene poco. Posiblemente en las muestras cuya harina nixtamalizada fue menos amarilla que la harina cruda, el porcentaje de pericarpio retenido fue muy bajo.

Markakis, 1982 reportó que el pH durante la nixtamalización es de entre 11 y 12, y la temperatura de cocimiento supera 90°C, de manera que en este proceso se conjugan dos de los factores a los que las antocianinas son más susceptibles y aunque el tiempo es corto, las condiciones son muy drásticas, y suficientes para destruir el pigmento del pericarpio del grano.

Brouillard, 1982 reportó que con pH alcalino, el anillo de piridium de la antocianina se rompe, y el color azul desaparece para dar paso a una coloración amarillo pálida, que es representativa de la chalcona ionizada. Esta etapa no es muy

estable y el color amarillo desaparece más o menos rápido, dependiendo del pH. Una vez que se alcanza este estado, aun cuando se acidifique el medio, ya no es posible regenerar la estructura de la antocianina, y entonces se puede decir que el pigmento se ha destruido.

Otros factores en cambio de color son las reacciones de maillard, así como la liberación de fenoles en el medio después de la nixtamalización, esto reportado por Salinas-Moreno (2007). La mayor concentración de fenoles libres y fenoles totales se presentó en el pericarpio del grano, sin diferencias significativas entre las muestras con oscurecimiento (MQO) y las muestras sin oscurecimiento (MQSO); en el endospermo se encontró una mayor concentración de estos compuestos en las MQO con relación a las MQNO. Esta misma tendencia se observó para masa y tortilla, donde el contenido de fenoles totales en esta última fue 39 % mayor en las MQO que en las MQNO. En el pericarpio y endospermo del grano crudo de los dos grupos de muestras se observaron los ácidos p-cumárico, ferúlico y sinápico, con mayor proporción del ferúlico. Estos mismos ácidos se encontraron en el extracto de fenoles libres de masa de ambos grupos de muestras.

### **11.3 Extracción de antocianinas totales**

En la extracción de antocianinas totales se siguieron dos metodologías modificadas de las cuales la metodología modificada de (Fuleki y Francis, 1968) presento mejores extracciones. A continuación se presenta el proceso de extracción de antocianinas en grano de maíz y sus productos nixtamalizados.

#### **11.3.1 Extracción de antocianinas en maíz**

En la extracción de antocianinas totales se siguieron dos metodologías el método modificado (Fuleki y Francis, 1968), usando como solvente MOH/HCl 99:1 y MOH/HCl/H<sub>2</sub>O 2:1 y el método modificado de Salinas Moreno (2003) como solvente MOH/H. Ac/H<sub>2</sub>O 2:1.

**Tabla 14. Extracción de antocianinas en el grano de maíz azul Tziranza**

Solvente	Antocianinas (g/L)	
MOH/HCl	9.8853	a
MOH/HCl/H <sub>2</sub> O	9.6605	ab
MOH/H. Ac/ H <sub>2</sub> O	5.2657	b

\*P 0.0316      R<sub>2</sub> 0.87

Como se observa en la tabla 15, los solventes que extraen la mayor cantidad de antocianinas son el MOH/HCl y MOH/HCl/H<sub>2</sub>O, por lo cual se siguieron utilizando para lograr la mayor extracción de antocianinas.

### 11.3.2 Extracción de antocianinas en los productos nixtamalizados

En la extracción de antocianinas en los productos nixtamalizados el mejor solvente para la extracción es el MOH/HCl, extrayendo hasta 6.1830 g/L en harina, 4.5051 g/L en tortilla y 3.3375 g/L.

**Tabla 15. Extracción de antocianinas en los productos nixtamalizados (masa, harina y tortilla)**

Condiciones		R <sup>2</sup> 0,82	F ≤ 0,001
		Antocianinas (g/l)	
Harina-0,05-MOH/HCl-1-4-0-25-3	A	6,1830*	
Harina-0,05-MOH/HCl/H <sub>2</sub> O-1-4-24-4-12	AB	5,4055	
Harina-0,05-MOH/HCl-1-3-24-4-9	ABC	4,8790	
Tortilla-0,05-MOH/HCl-1-4-0-25-3	ABCD	4,5051*	
Tortilla-0,05-MOH/HCl-1-3-24-4-9	BCD	4,0242	
Harina-0,1-MOH/HCl-5-1-0-4-180	BCD	3,6497	
Masa-0,1-MOH/HCl-5-1-0-4-180	CD	3,3375*	
Harina-0,1-MOH/HCl-5-1-0-4-180	BCD	3,3375	
Masa-0,05-MOH/HCl-1-4-0-25-3	CD	3,3093	
Tortilla-0,05-MOH/HCl-5-1-0-4-180	CD	3,0654	
Masa-0,05-MOH/HCl-1-3-24-4-9	CD	3,0350	
Masa-0,05-MOH/HCl/H <sub>2</sub> O-1-3-24-4-9	D	2,7036	
Tortilla-0,05-MOH/HCl/H <sub>2</sub> O-1-3-24-4-9	D	2,3986	

Se utilizaron pesos de muestras de 0.05g a 0.1 g, dos solventes MOH/HCl y MOH/HCl/H<sub>2</sub>O, 1ml y 5 ml de solvente en cada extracción hasta que el extracto fuera incoloro, reposo de 24h y 0h y tiempo en vortex por cada agitación de 3 min y agitación mecánica de 180 min.

Se realizó un anova y una prueba de t de tukey de los cuales se obtuvieron la mejor extracción para la harina nixtamalizada con 0.05g de muestra, 1 ml de solvente, 4 extracciones, sin tiempo de reposo a 25°C con agitación vortex de 3 min, para tortilla con 0.05g de muestra, 1 de solvente, 4 extracciones sin reposo a 25°C con agitación vortex de 3 min y para masa 0.1g de muestra, 5 ml de solvente, una extracción, sin reposo a 25°C con agitación mecánica de 180 min. Se observa en los resultados que la extracción de antocianinas es mayor en harina después en tortilla y al final en masa. Esto es debido al contenido de agua que tienen los productos nixtamalizados, por tanto el porcentaje de peso en seco es diferente y se observa una mayor extracción directamente proporcional al contenido de agua en los productos nixtamalizados.

### 11.3.3 Barrido de antocianinas

Para eliminar el error del contenido del contenido de antocianinas en los productos, se deshidrato la masa obteniéndose harina y también se secó tortilla; se molió y cernió. Se utilizó la extracción de antocianinas totales usando como solvente MOH/HCl 99:1

Se hizo un barrido de 200 a 800 nm, se determinó el contenido de cianidina, cianidina-3-glucosilado, pelargonidina, pelargonidina-3-glucosilado y el contenido total de antocianinas por gramos de muestra.

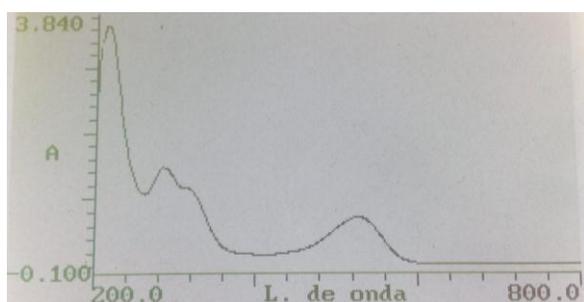


Figura 19. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en grano de maíz

Se observa en la Figura 19 como hay un pico de absorción correspondiente a longitud de onda en la que absorben las antocianinas

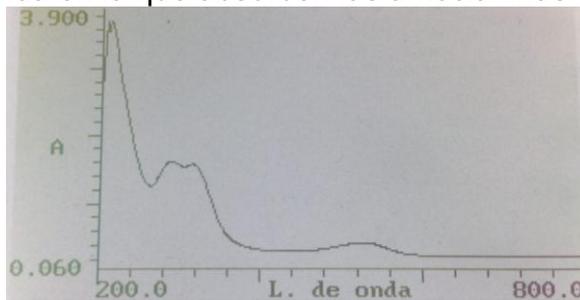


Figura 20. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en harina nixtamalizada

Se observa como en la Figura 20 el pico absorción correspondiente a longitud de onda en la que absorben las antocianinas se ve disminuida

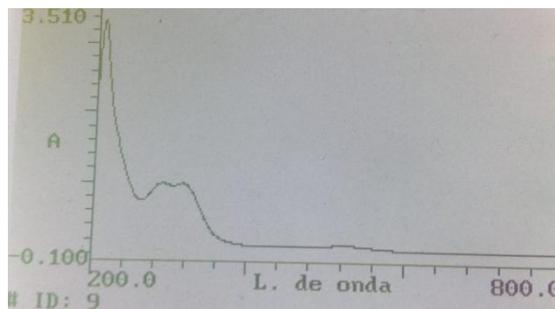


Figura 21. Barrido de antocianinas de 200 a 800 nm en tortilla

Se observa como en la Figura 21 el pico absorción correspondiente a longitud de onda en la que absorben las antocianinas se ve disminuida

Con las Figuras 19, 20 y 21 como existe una pérdida de antocianinas de grano de maíz a harina por el efecto de la nixtamalización y al procesamiento que lleva cada producto para su elaboración.

**Tabla 16. Contenido de antocianinas en grano de maíz, harina y tortilla**

	Cianidina g/L		Cianidina-3- glucosilado g/L		Pelargonidina g/L		Pelargonidina-3-glucosilado g/L		AT g/Kg
MAÍZ	10.2	a	18.57	a	4.22	a	5.6	a	0.7183 a
HARINA	2.78	b	6.23	b	1.859	b	5.9	a	0.2824 b
TORTILLA	1.227	c	2.34	c	0.9965	c	4.56	a	0.0895 c

\* P 0,0001\* R2 1

En la tabla 17 se observa como el contenido de antocianinas (cianidina, cianidina-3-glucosido, pelargonidina, pelargonidina-3-glucosido) en el maíz es mayor y va disminuyendo en harina y finalmente en tortilla, el porcentaje de pérdida de cianidina de maíz a harina es del 72.75% y a tortilla es del 87.93%, en cianidina -3-glucosido el porcentaje de pérdida de maíz a harina es del 66.45% y a tortilla es del 87.40%, en pelargonidina el porcentaje de pérdida de maíz a harina es del 56.12% y a tortilla es del 76.55%, en pelargonidina-3-glucósido no hay un porcentaje de pérdida, si no de ganancia de 5.3%, aunque de maíz a tortilla si hay un porcentaje de pérdida de 18.57%, esto debido al proceso de nixtamalización y a los procesos de secado y calentamiento de los productos. Se ha reportado en investigaciones de Salinas-Moreno (2003) que la pérdida de antocianinas que se encuentran en el pericarpio puede de ser del 73% al 100% debido a la nixtamalización, los maíces con pigmento sólo en la capa de aleurona, el porcentaje de pérdida puede ser entre 19.5 y 50.2%. y que puede haber un incremento de la antocianina cianidina a cianidina-3-glucósido, esto por el incremento de la proporción de la cianidina-3-glucósido en la harina nixtamalizada de los maíces de grano azul podría estar relacionado con la degradación de las antocianinas 6 y 8, que son de tipo acilado, y de acuerdo con los reportes de Fossen y col. (2001) y de Pascual-Teresa y col. (2002), corresponden a cianidina 3-(6"-malonilglucósido) y cianidina 3-(3",6" dimalonilglucósido), en ese orden. Ambas son derivados de la cianidina y posiblemente el enlace éster con el que está unido el radical malonil al azúcar, sea sumamente inestable a las condiciones

de temperatura y pH que se dan durante el proceso de nixtamalización, y sean degradadas a Cianidina-3-glucósido, en el caso de maíz Tziranza no se ve el incremento de cianidina si no en pelargonidina a pelargonidina-3-glucósido pero ésta es la posible explicación del incremento.

#### 11.4 Extracción de carotenos totales

La extracción de carotenos totales se realizó mediante el método modificado de Minguez y Garrido (1989).

En la tabla 18 se observa como el contenido de carotenos al igual que el de antocianinas se ve disminuido de maíz a harina y posterior a tortilla, esto debido al proceso de nixtamalización y posterior tratamiento a cada producto. El contenido de carotenos en el grano de maíz blanco AS900 concuerda con lo reportado en publicaciones (Takkar y Failla, 2008).

Tabla 17. Contenido de carotenos en maíz AS900

Producto	Mg/Kg	
Maíz	0.68	a
Harina	0.59	ab
Tortilla	0.40	b

\*P 0.0395 R<sub>2</sub> 0.65

En la tabla 18 se observa como la pérdida de carotenos de maíz a harina es del 13.23% y de maíz a tortilla es de 41.17% de pérdida de carotenos, lo que indica que el proceso de nixtamalización como el posterior procesamiento para elaboración de los productos ocasiona la pérdida de los carotenos.

#### 11.5 Extracción de aceite del maíz y de sus productos nixtamalizados

Se realizó la extracción en Soxhlet, cada muestra de 60 g por triplicado con reposo de 24h después del primer reflujo, al día siguiente se continuó con reflujo durante

5h más, se recuperó en rotavapor y se almacenó en refrigeración y frasco ámbar el aceite extraído.

**Tabla 18. Extracción de aceite de maíz y sus productos nixtamalizados.**

<b>Gramos de muestra</b>	<b>ml extraídos</b>
<b>60g</b>	3 ml
<b>60g</b>	3 ml
<b>60g</b>	3ml
<b>Total</b>	9 ml

Se obtuvo por cada 60g de muestra de maíz 3ml de aceite de maíz, esto representa el 5% de la muestra, esto concuerda con lo reportado por la FAO 1993 que el contenido de aceite de maíz es del 5%. Este aceite fue utilizado para la FAMES.

### **11.6 Análisis de FAMES (Fatty Acids Methyl Esterified)**

En la Tabla 20 se presentan los resultados del perfil de ácidos grasos en el maíz AS900 y Tziranza y de sus productos nixtamalizados, se observa como el contenido de ácidos grasos insaturados en mayor en ambas variedades como productos nixtamalizados; en el maíz AS900 el grano de maíz presenta el 81.82%, la harina presenta el 81.93 y la tortilla el 83.84%, con respecto a los ácidos grasos saturados en el grano de maíz AS900 se presentó en menor porcentaje con el 15.54%, en la harina el 15.88% y en la tortilla el 14.04%. En el maíz Tziranza los ácidos grasos insaturados al igual que en el AS900 se presentaron en mayor porcentaje, en el grano de maíz se presenta el 81.96% en la harina el 82.23% y en la tortilla el 81.86%, con respecto a los ácidos grasos saturados se presentan en menor porcentaje, en el grano de maíz se obtuvo el 15.59%, en la harina el 15.73% y en la tortilla el 16.12%.

Tabla 19. Perfil de ácidos grasos en grano, harina y tortilla de maíz AS900 y Tziranza nixtamalizados.

COMPONENTE	AS900			TZIRANZA		
	GRANO	HARINA	TORTILLA	GRANO	HARINA	TORTILLA
Ácido Oleico	31.00 b	25.97 b	29,54 b	44,06 a	43,22 a	42,60 a
Ácido Linoleico	50.81 a	55.95 a	54,30 a	37,89 b	38,98 b	39,26 b
Ácido- $\alpha$ -Linolenico	0.01 b	0.01 b	0,00 c	0,01 a	0,03 b	0,00 c
Ácido Arachidico	0.55 a	0.51 a	0,46 a	0,69 a	0,65 a	0,64 a
Ácido- $\gamma$ -Linoleico	1.08 a	1.09 a	1,22 a	0,85 a	0,82 a	0,81 a
Ácido-Cis-11-Eicosenoico	0.29 b	0.28 c	0,27 d	0,31 a	0,25 e	0,25 e
Ácido Heneicosanoico	0.04 a	0.03 a	0,00 a	0,01 a	0,00 a	0,00 a
Ácido-Cis-11,14-Eicosadienoico	0.20 a	0.15 a	0,15 a	0,18 a	0,13 a	0,15 a
Ácido-Cis-11,14,17-Eicosatrienoico	0.00 a	0.00 a	0,00 a	0,10 a	0,06 a	0,00 a
Ácido Tricosanoico	0.23 a	0.12 b	0,02 c	0,01 d	0,00 e	0,00 e
Ácido-Cis-13,16-Docosadienoico	0.24 a	0.00 a	0,00 a	0,20 a	0,13 a	0,15 a
Ácido Palmítico	12.34 b	12.99 a	11,60 d	11,32 f	11,47 e	11,80 c
Ácido Palmitoleico	0,17 a	0,15 b	0,11 c	0,08 e	0,09 d	0,15 b
Ácido Heptadecanoico	0,13 a	0,09 c	0,09 c	0,02 d	0,09 c	0,10 b
Ácido Estearico	2,9 a	2,65 a	2,24 a	4,27 a	4,08 a	4,07 a

\*R<sub>2</sub> 1 P 0,0001\* En sombreado los ácidos graso insaturados

En la tabla 20 se observa el perfil de ácidos grasos en las dos variedades del maíz AS900 y Tziranza y de sus productos nixtamalizados donde el mayor contenido de ácidos grasos es el ácido oleico, linoleico y palmítico, esto corresponde a lo citado en trabajos anteriores de Yahuca y col, 2013.

Se muestran que hay diferencias significativas entre el maíz AS900 y el maíz Tziranza y sus productos nixtamalizados principalmente en los ácidos grasos saturados como en el ácido palmítico, palmitoleico y heptadecanoico, en los ácidos grasos insaturados como en el ácido oleico, linoleico y  $\alpha$  linolénico.

En el maíz AS900 y el maíz Tziranza, la pérdida se da por igual del maíz a los productos nixtamalizados, en cuanto a los ácidos grasos saturados si hay diferencia entre el ácido palmítico, palmitoleico y heptadecanoico.

Como se observa en la tabla anterior el contenido de ácidos grasos como en el caso del ácido graso oleico y linoleico aumenta en el porcentaje relativo, al llevarse a cabo el proceso de nixtamalización, esto es debido a que algunos ácidos grasos se pierden, debido a su bajo porcentaje en que se encuentra, otra razón es por la degradación de ácidos grasos de cadena larga, generando ácidos grasos de cadena corta. Se ha reportado que en el proceso de nixtamalización se degradan triglicéridos y diglicéridos a monoglicéridos y estos a ácidos grasos libres.

### **11.7 QDA (Análisis Descriptivo Cuantitativo)**

Se realizó el Análisis Descriptivo Cuantitativo en el maíz y los productos nixtamalizados, siguiendo el ISO 11035 y el ISO 8586

En las primeras sesiones del entrenamiento, se obtuvieron los descriptores iniciales de forma individual y con lluvia de ideas posteriormente.

Se descartaron descriptores hedonísticos y sinónimos, se comenzó a trabajar con la frecuencia de los descriptores; es decir, cuántos de ellos estaban presentes, ya que en ocasiones un descriptor solo era propuesto por un panelista, se realizó un análisis estadístico discriminante para finalmente obtener los descriptores finales y comenzar a trabajar con cada uno en la intensidad percibida en cada producto.

Una vez que todo el panel entrenado tenía el mismo nivel, logrando identificar la misma intensidad en cada descriptor propuesto, se procedió a realizar las pruebas finales.

Teniendo la intensidades, frecuencias para cada descriptor se graficaron telas de araña para observar la huella aromática de cada producto

Cada producto generó sus propios descriptores, algunos productos comparten descriptores no tienen la misma medía geométrica.

A continuación se presentan los descriptores obtenidos

## 11.7.1 Descriptores generados

Tabla 20. Descriptores del maíz blanco AS900

PRODUCTO	ATRIBUTO	DEFINICIÓN	SUSTANCIA REFEREDIA
<b>Maíz</b>	1. Tierra	Olor a tierra seca	Tierra seca
	2. Aceite de maíz	Olor aceite de maíz	Olor aceite de maíz de cocina
	3. Almendra	Olor a almendras dulces	Almendras dulces
	4. Arroz	Olor a arroz crudo	Arroz crudo blanco
	5. Pasto	Olor a pasto de jardín.	Pasto de jardín
	6. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	7. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	tierra húmeda
	8. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña
<b>Masa</b>	1. Vainilla	Olor a vainilla	Concentrado de vainilla
	2. Aceite de maíz	Olor aceite de maíz	Olor aceite de maíz de cocina
	3. Almendra	Olor a almendras dulces	Almendras dulces
	4. Arroz	Olor a arroz crudo	Arroz crudo blanco
	5. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	tierra húmeda
	6. Nuez	Olor a nuez dulce	Nuez dulce
	7. Cal	Olor a cal nixtamalera	Cal para nixtamal
	8. Semillas	Olor a semilla de calabaza crudas	pepitas de calabaza cruda
	9. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña
<b>Harina</b>	1. Tierra	Olor a tierra seca	Tierra seca
	2. Aceite requemado	Olor a aceite requemado	Aceite requemado de cocina de 3h a 100
	3. Maicena	Olor a maicena	Maicena marca comercial

	4. Arroz	Olor a arroz crudo	Arroz crudo blanco
	5. Pasto	Olor a pasto de jardín.	Pasto de jardín
	6. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	7. Cal	Olor a cal nixtamalera	Cal para nixtamal
	8. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña
<b>Tortilla</b>	1. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	tierra húmeda
	2. Aceite requemado	Olor a aceite requemado	Aceite requemado de cocina de 3h a 100
	3. Almendra	Olor a almendras dulces	Almendras dulces
	4. Arroz	Olor a arroz crudo	Arroz crudo blanco
	5. Pasto	Olor a pasto de jardín.	Pasto de jardín
	6. Alpiste	Olor a alpiste	Alpiste para pájaros
	7. Cal	Olor a cal nixtamalera	Cal para nixtamal
	8. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña

En tabla 21 se observan los descriptores del maíz AS900 y de sus productos nixtamalizados, se obtuvieron un total de 33 descriptores, cada con su definición y sustancia referenciada.

A continuación se presentan los descriptores generados para el maíz Tziranza y sus productos nixtamalizados

### Descriptores Tziranza

**Tabla 21. Descriptores del maíz azul Tziranza**

PRODUCTO	ATRIBUTO	DEFINICIÓN	SUSTANCIA REFERIDA
<b>Maíz</b>	1. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	Tierra húmeda
	2. Pasto	Olor a pasto de jardín.	Pasto de jardín

---

	3. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	4. Nuez	Olor a nuez dulce	Nuez dulce
	5. Aceite de maíz	Olor aceite de maíz	Olor aceite de maíz de cocina
	6. Alpiste	Olor a alpiste	Alpiste para pájaros
	7. Maicena	Olor a maicena	Maicena marca comercial
	8. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña
<b>Masa</b>	1. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	Tierra húmeda
	2. Cal	Olor a cal nixtamalera	Cal para nixtamal
	3. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	4. Nuez	Olor a nuez dulce	Nuez dulce
	5. Aceite de maíz	Olor aceite de maíz	Olor aceite de maíz de cocina
	6. Almendra	Olor a almendras dulces	Almendras dulces
	7. Maicena	Olor a maicena	Maicena marca comercial
	8. Avena	Olor a avena cruda	Avena cruda
	9. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña
<b>Harina</b>	1. Tierra mojada	Olor a tierra mojada	Tierra mojada
	2. Cal	Olor a cal para nixtamalizar	Cal para nixtamalizar
	3. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	4. Lentejas	Olor a lentejas crudas	Lentejas crudas
	5. Aceite requemado	Olor a aceite requemado	Aceite requemado de cocina de 3h a 100
	6. Almendra vieja	Olor a almendras viejas	almendras viejas
	7. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña

---

Tortilla			
	1. Tierra húmeda	Olor a tierra húmeda	Tierra húmeda
	2. Cal	Olor a cal nixtamalera	Cal para nixtamal
	3. Rastrojo	Olor a alfalfa, trigo y centeno	Rastrojo para vacas
	4. Lentejas	Olor a lentejas crudas	Lentejas crudas
	5. Aceite de maíz	Olor aceite de maíz	Olor aceite de maíz de cocina
	6. Almendra	Olor a almendras dulces	Almendras dulces
	7. Alpiste	Olor a alpiste	Alpiste para pájaros
	8. Vainilla	Olor a vainilla	Concentrado de vainilla
	9. Garbanzo	Olor a garbanzo crudo	Garbanzo
	10. SABOR A DULCE	Sabor a azúcar	Sabor azúcar de caña

En tabla 22 se observan los descriptores del maíz Tziranza y de sus productos nixtamalizados, se obtuvieron un total de 34 descriptores, cada uno con su definición y su sustancia referenciada.

### 11.7.2 Medía Geométrica

Se determinaron las medias geométricas para cada producto, para esto se estuvo trabajando la intensidad de los productos en una escala del 1 al 5, siendo 5 el valor máximo de olor percibido con respecto a la sustancia referenciada. El número total de jueces entrenados fue de 5.

Calculando el valor máximo de la media geométrica

$$M = \sqrt{(F * I)}$$

$$F = 5/5 = 1$$

$$I = 5 \times 5 \times 5 = 125$$

$$M = \sqrt{(1 * 125)}$$

$$M = 11.18$$

**Tabla 22. Determinación de Media Geométrica en el maíz AS900 y productos nixtamalizados**

AS900						
	Descriptor	Intensidad	Intensidad obtenida	Frecuencia	Frecuencia obtenida	Media Geométrica
GRANO	Tierra	3	75	5	1	8,66
	aceite de maíz	2	50	5	1	7,07
	Almendra	1	25	5	1	5
	Arroz	1	25	5	1	5
	Pasto	2	50	5	1	7,07
	Rastrojo	4	100	5	1	10
	tierra húmeda	1	25	5	1	5
	SABOR DULCE	2	50	5	1	7,07
	vainilla	2	50	5	1	7,07
	aceite de maíz	2	50	5	1	7,07
MASA	Almendra	2	50	5	1	7,07
	Arroz	1	25	5	1	5
	tierra húmeda	2	50	5	1	7,07
	Nuez	1	25	5	1	5
	Cal	2	50	5	1	7,07
	Semilla	2	50	5	1	7,07
	SABOR DULCE	3	75	5	1	8,66
	Tierra	2	50	5	1	7,07
	aceite requemado	4	100	5	1	10
	Maicena	2	50	5	1	7,07
HARINA	Arroz	2	50	5	1	7,07
	Pasto	2	50	5	1	7,07
	Rastrojo	3	75	5	1	8,66
	Cal	4	100	5	1	10
	SABOR DULCE	1	25	5	1	5
	tierra húmeda	2	50	5	1	7,07
	aceite de maíz	3	75	5	1	8,66
	Almendra	1	25	5	1	5
	Arroz	1	25	5	1	5
	Pasto	1	25	5	1	5
TORTILLA	Alpiste	1	25	5	1	5
	Cal	3	75	5	1	8,66
	SABOR DULCE	2	50	5	1	7,07

Como se observa en la tabla 23 las medias geométricas altas en grano son para el descriptor Rastrojo, en la masa se observa como los descriptores tienden a tener los mismos valores, en la harina se presentan valores altos en los descriptores aceite quemado y cal y en la tortilla se presentan valores altos en los descriptores de aceite de maíz y cal

**Tabla 23. Determinación de Media Geométrica en el maíz Tziranza y productos nixtamalizados**

TZIRANZA						
	Descriptor	Intensidad	Intensidad obtenida	Frecuencia	Frecuencia obtenida	Media Geométrica
GRANO	tierra húmeda	3	75	5	1	8,66
	Pasto	3	75	5	1	8,66
	Rastrojo	1	25	5	1	5
	Nuez	1	25	5	1	5
	Aceite	1	25	5	1	5
	Alpiste	2	50	5	1	7,07
	maicena	2	50	5	1	7,07
	SABOR A DULCE	1	25	5	1	5
	tierra húmeda	3	75	5	1	8,66
	Cal	2	50	5	1	7,07
MASA	Rastrojo	2	50	5	1	7,07
	Nuez	4	100	5	1	10
	Aceite	2	50	5	1	7,07
	Almendras	3	75	5	1	8,66
	Maicena	1	25	5	1	5
	Avena	2	50	5	1	7,07
	SABOR A DULCE	3	75	5	1	8,66
	tierra	3	75	5	1	8,66
	Cal	1	25	5	1	5
	Rastrojo	3	75	5	1	8,66
HARINA	Lentejas	1	25	5	1	5
	Aceite	2	50	5	1	7,07
	almendras vieja	2	50	5	1	7,07
	SABOR A DULCE	1	25	5	1	5
	tierra húmeda	3	75	5	1	8,66
	Cal	2	50	5	1	7,07
	Rastrojo	2	50	5	1	7,07
	Lentejas	3	75	5	1	8,66
	Aceite	2	50	5	1	7,07
	Almendras	2	50	5	1	7,07
TORTILLA	Alpiste	1	25	5	1	5

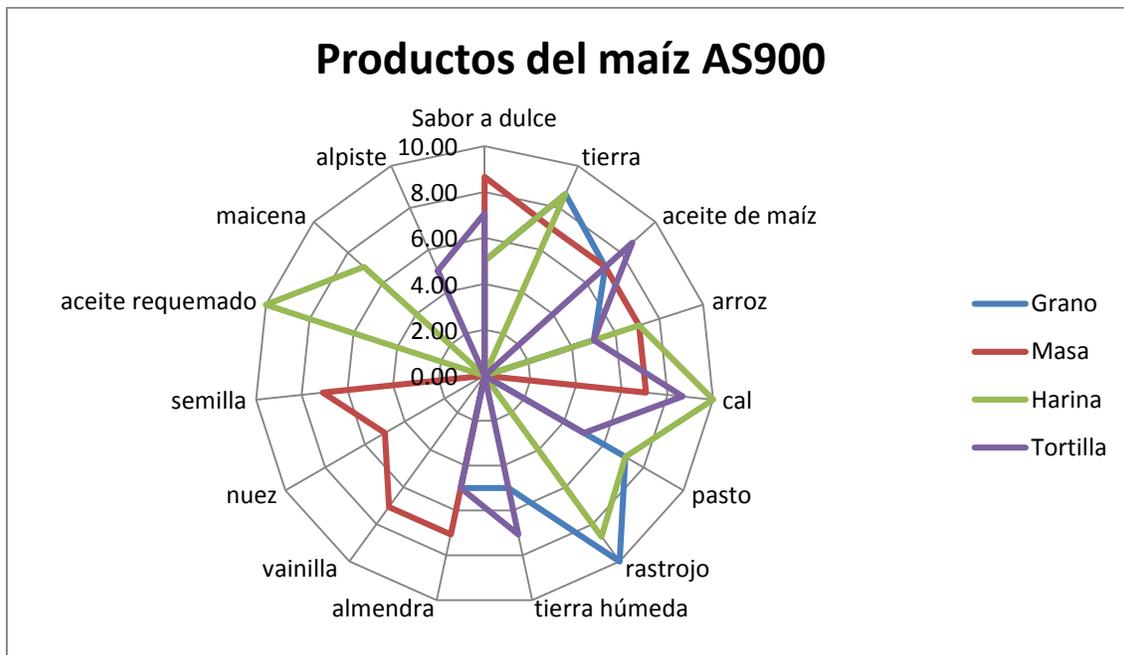
Vainilla	1	25	5	1	5
Garbanzo	1	25	5	1	5
SABOR A DULCE	2	50	5	1	7,07

Como se observa en la tabla 24 las medias geométricas altas en grano son para los descriptores tierra húmeda y pasto, en la masa se presenta un valor alto en el descriptor nuez, en la harina se presentan valores altos en los descriptores tierra, rastrojo y cal y en la tortilla se presentan valores altos en los descriptores de tierra húmeda y lentejas

Estos valores altos en las medias geométricas que presentan estos descriptores nos dan notas muy fuertes a estos olores percibidos de manera diferente, aunado con todas las notas de olor para cada variedad de maíz y productos nixtamalizados.

### 11.7.3 Huella aromática

Como se observa en la Figura 22 cada producto tiene una huella aromática única, aunque comparten descriptores, en cada producto se presenta una media diferente, es decir que el panelista aunque hace mención de él descriptor, este no se encuentra en la misma intensidad.



**Figura 22. QDA de los productos de maíz AS900.**

Se observa en la figura 22 el grano maíz y la harina nixtamalizada comparten notas a rastrojo, pasto (notas herbales) y arroz, también se observa como los descriptores de rastrojo no se encuentran presente en la masa y tortilla, estos comparten notas a tierra húmeda, aceite de maíz, almendra y arroz. Como es evidente el olor a cal aparece en los productos después del proceso de nixtamalización, se aprecia en las figura anterior el sabor a dulce aumenta de maíz a masa y disminuye de masa a harina y es mayor el sabor a dulce de tortilla con respecto a harina, se observa como esta diferencia en las notas de olor y sabor se debe a que los productos de maíz y harina a diferencia de los productos de masa y tortilla tiene un menor contenido de agua, siendo este como el vehículo principal y afectando la percepción para los productos con menor contenido de agua, otro factor importante es el proceso que llevo cada producto para su elaboración, de maíz a masa hubo un proceso de nixtamalización y molienda, que esta masa a su vez fue procesada para la elaboración de tortillas en comal de hierro a 270°C, también la masa se procesó para la elaboración de harina nixtamalizada secando al aire; como se observa los productos adquirieron olores y sabores muy

característicos propios de cada uno determinando así con esto su huella aromática.

Como se observa en la Figura 23 cada producto tiene una huella aromática única, en el maíz y la harina nixtamalizada comparten notas a rastrojo, pasto (notas herbales) y maicena, también se observa como la nota de almendra no se encuentran presente en la maíz y harina, tanto masa como tortilla comparten notas de tierra húmeda, aceite, cal y almendra.

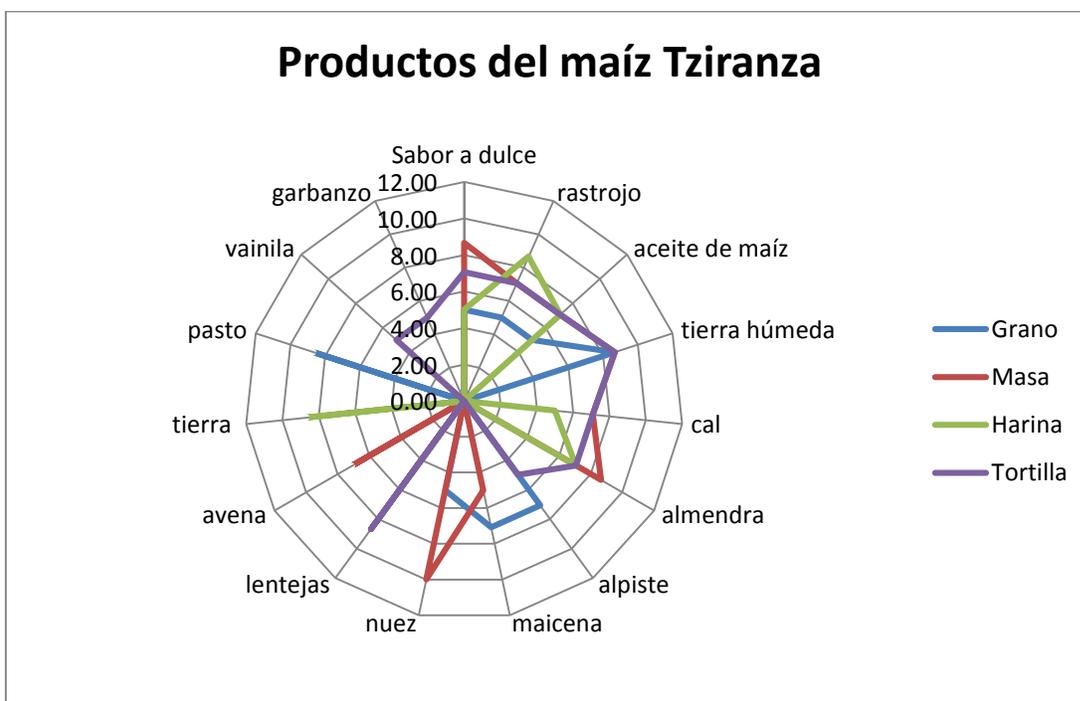
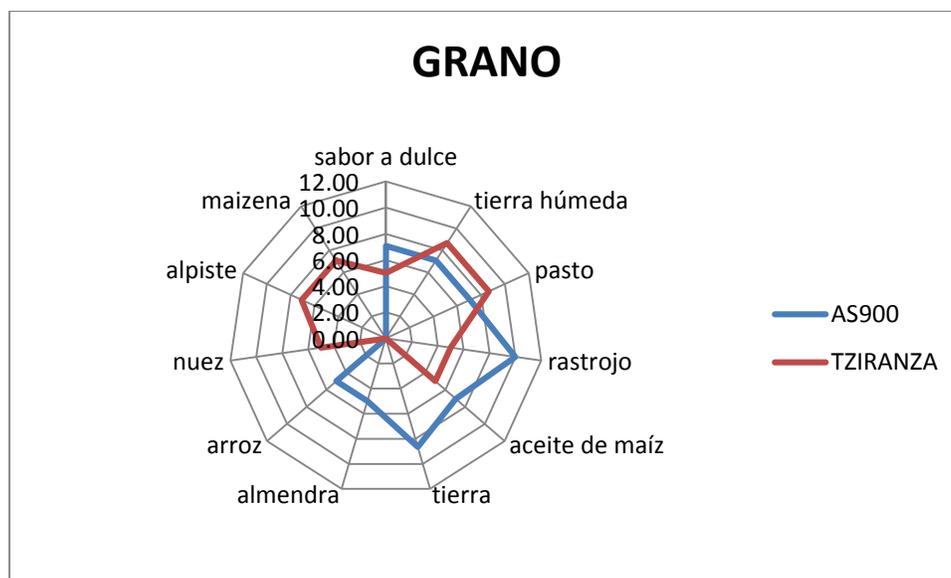


Figura 23. QDA de los productos del maíz Tziranza.

Como es evidente la nota a cal aparece después del proceso de nixtamalización en los productos de masa, harina y tortilla. Se observa en la figura anterior el sabor a dulce aumenta de maíz a masa y disminuye de masa a harina y es mayor el sabor a dulce de tortilla con respecto a harina, esta diferencia en las notas de olor y sabor se debe a que los productos de maíz y harina a diferencia de los productos de masa y tortilla tiene un menor contenido de agua, siendo este como

el vehículo principal y afectando la percepción para los productos con menor contenido de agua, otro factor importante es el proceso que llevo cada producto para su elaboración, de maíz a masa hubo un proceso de nixtamalización y molienda, que esta masa a su vez fue procesada para la elaboración de tortillas en comal de hierro a 270°C, también la masa se procesó para la elaboración de harina nixtamalizada secando al aire; como se observa los productos adquirieron olores y sabores muy característicos propios de cada uno determinando así con esto su huella aromática.

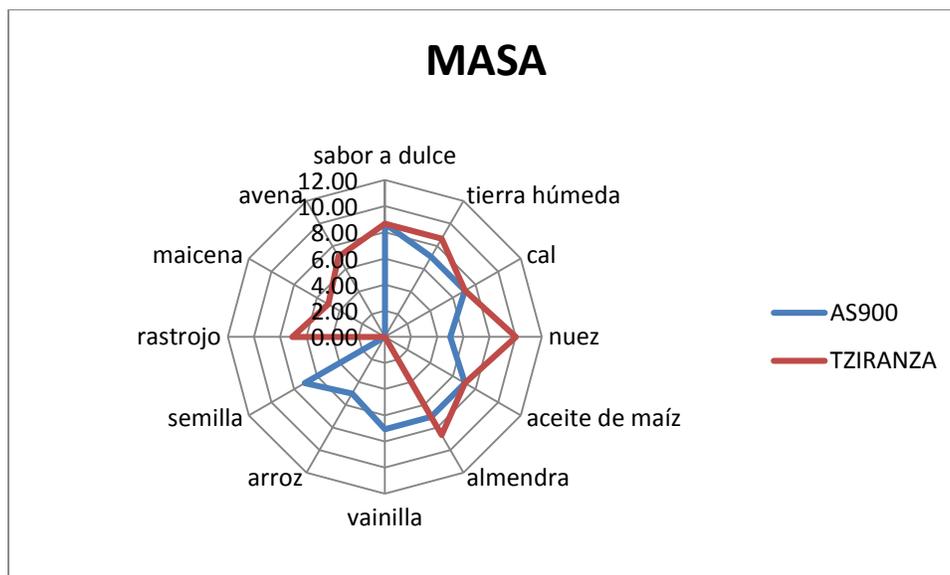
Como se muestra en la figura 24 las dos variedades presentan diferencias significativas aun en sus descriptores que comparten, marcando diferencia en ambos productos.



**Figura 24. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de grano de maíz.**

Como se observa en la figura 24 el olor a aceite y sabor a dulce es mayor en el maíz blanco, en cambio en la nota herbal a olor a pasto es mayor en el maíz azul y en la nota a olor a tierra es igual para ambas variedades de grano de maíz.

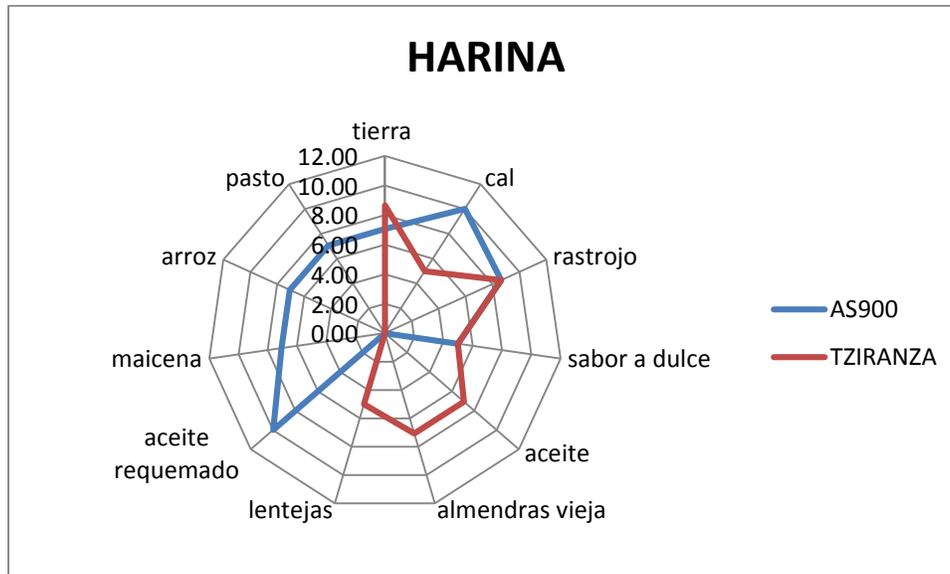
Como se muestra en la figura 25 las dos variedades presentan diferencias significativas aun en sus descriptores que comparten, marcando diferencia en ambos productos.



**Figura 25. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de masa nixtamalizada.**

Como se observa en la figura 25 el olor a nuez y almendra es mayor en el maíz azul, en las notas a olor a aceite, cal y sabor a dulce es igual para ambas variedades de grano de maíz.

Como se observa en la figura 26 el olor a aceite y cal es mayor en el maíz blanco, en cambio el olor a tierra es mayor en el maíz azul y en la nota a olor a rastrojo y sabor a dulce es igual para ambas variedades de grano de maíz



**Figura 26. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de harina nixtamalizada.**

Como se muestra en la figura 26 las dos variedades presentan diferencias significativas aun en sus descriptores que comparten, marcando diferencia en ambos productos.

Como se observa en la figura 27 el olor a aceite y cal es mayor en el maíz blanco, en cambio en la notas de olor a tierra y aceite es mayor en el maíz azul y en la nota a olor a alpiste y sabor a dulce es igual para ambas variedades de grano de maíz

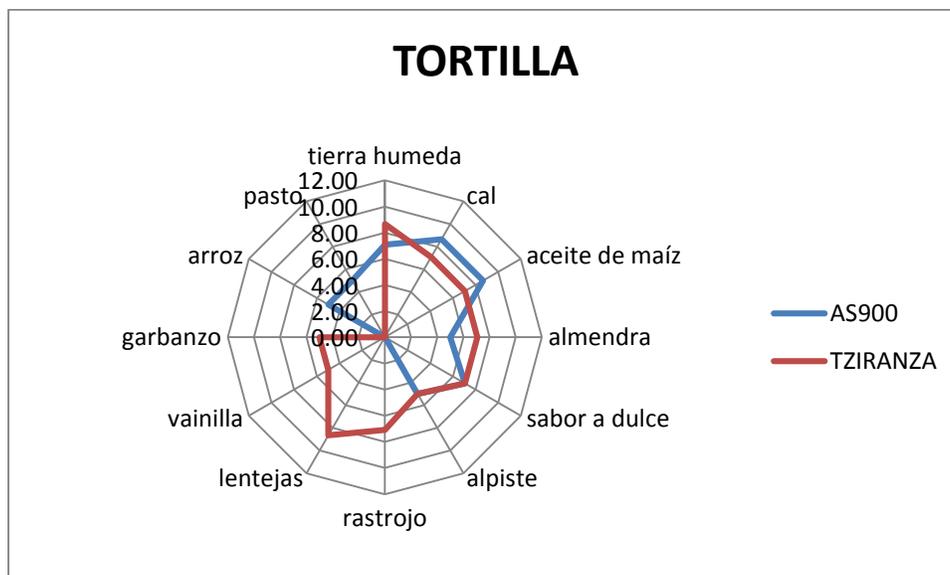


Figura 27. Comparativo de la huella aromática entre las dos variedades de tortilla nixtamalizada.

Como se muestra en la figura 27 las dos variedades presentan diferencias significativas aun en sus descriptores que comparten, marcando diferencia en ambos productos.

En este comparativo de las dos variedades se observó la tendencia a que después de la nixtamalización los productos de ambas variedades de maíz presentaban igual sabor a dulce, erróneamente es expresado el sabor a dulce con notas correspondientes a nuez, almendra, por este motivo se realizó solo la degustación de sabor a dulce, demostrando que la presencia de estas notas no tienen relación directa con el sabor a dulce propiamente dicho. También se observó como una constante entre ambas variedades la presencia del descriptor aceite y cal en los productos de la nixtamalización, por lo cual es de esperar que en el análisis de volátiles compuestos químicos relacionados a estas notas de olor estén presentes.

### 11.8 Análisis cuantitativo de compuestos volátiles aromáticos

A continuación se presentan la tabla con los compuestos volátiles de los productos del maíz AS900

Se obtuvieron un total de 71 compuestos volátiles para los productos del maíz AS900 (grano, masa, harina y tortilla), de los cuales 48 compuestos volátiles se presentan en grano de maíz, 34 en masa, 47 en harina y 42 en tortilla.

**Tabla 24. Compuestos volátiles de los productos del maíz AS900**

Compuestos	AS900			
	MAIZ	MASA	HARINA	TORTILLA
<b>Alcoholes alifáticos</b>				
1-Hexanol	44,73	0,00	89,86	0,00
Cyclohexanol, 2-(1,1-dimethylethyl)-	0,00	0,00	56,01	0,00
2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol	0,00	0,00	13,38	19,26
<b>Aldehídos y Cetonas</b>				
Heptanal	80,34	32,77	18,67	53,43
2-Heptenal, (E)-	18,82	0,00	11,94	0,00
2-Nonanone	9,45	30,74	12,49	22,55
Nonanal	83,23	296,64	349,24	625,55
2-Nonenal, (E)-	80,21	24,85	112,66	63,13
Decanal	7,61	72,55	66,13	125,71
2,4-Nonadienal, (E,E)-	7,08	0,00	0,00	0,00
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	14,66	5,48	23,51	12,68
Hexanal	399,58	232,26	159,79	391,91
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	32,04	76,32	0,00	23,19
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0,00	81,80	42,95	63,79
Acetone	0,00	167,71	0,00	0,00
2-Nonenal, (Z)-	0,00	0,00	89,44	50,98
2-Undecanone	0,00	0,00	5,24	0,00
Lilial	0,00	0,00	5,20	7,66
Octanal	0,00	0,00	0,00	57,95
Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methoxyphenyl)-	0,00	0,00	0,00	14,74
Butanal, 3-methyl-	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>compuestos nitrogenados</b>				
1,3,5-Triazin-2-amine, 4-(2-furyl)-6-(1-piperidyl)-	30,07	0,00	22,28	166,19
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	14,50	12,72	8,21	10,07
Ethanone, 1-(2-aminophenyl)-	0,00	45,13	24,87	29,42
<b>Furanos y compuestos aromáticos</b>				
Furan, 2-methyl-	29,15	0,00	0,00	0,00
Furan, 2-pentyl-	94,63	243,39	46,22	171,00
Benzoic acid, methyl ester	22,14	0,00	0,00	0,00
Benzene, 1-ethyl-4-methoxy-	31,78	37,34	0,00	18,10
Naphthalene	7,61	10,76	9,72	0,00
Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethoxy-	18,66	20,94	0,00	0,00
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	21,81	72,65	15,70	42,68
Phthalic acid, decyl isobutyl ester	67,96	0,00	0,00	0,00
Dibutyl phthalate	177,76	315,22	55,68	273,21
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	28,50	40,31	4,15	0,00
Benzeneacetic acid, methyl ester	5,60	0,00	0,00	13,46
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	153,57	0,00	0,00	247,26
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	13,92	0,00	20,02	30,31
Azulene	4,61	14,34	0,00	30,31
Phthalic acid, isobutyl octyl ester	147,78	160,87	0,00	205,25
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	21,81	72,65	15,70	42,68
Methyl tetradecanoate	21,42	0,00	0,00	25,27
Phthalic acid, decyl isobutyl ester	67,96	0,00	0,00	0,00
Benzaldehyde	0,00	82,34	33,99	60,43
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,00	18,79	4,04	0,00
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	0,00	17,85	7,55	9,29
Benzene, 1,3-dimethyl-	0,00	107,19	5,95	42,08
Acetophenone	0,00	12,33	23,18	12,48
Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	0,00	0,00	10,82	12,25
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	0,00	0,00	9,86	9,48
1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,00	0,00	4,44	0,00
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	0,00	0,00	4,20	0,00
Naphthalene, 2-methyl-	0,00	0,00	2,54	0,00
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	13,92	0,00	20,02	30,31
2-Methoxy-4-vinylphenol	0,00	0,00	63,85	0,00
Diethyl Phthalate	0,00	0,00	39,82	0,00
Vanillin	0,00	0,00	14,04	0,00
2-Ethylhexyl salicylate	0,00	0,00	0,00	0,00
Phenol, 4-ethyl-3-methyl-	0,00	0,00	0,00	0,00
1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-	0,00	0,00	0,00	0,00
Tonalid	0,00	0,00	0,00	0,00
alpha.-Cubebene	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Isoprenoides</b>				
D-Limonene	132,01	125,70	224,89	167,10
Limonene	0,00	39,53	101,99	0,00

ácidos grasos				
Hexanoic acid, methyl ester	29,13	0,00	0,00	0,00
Hexanoic acid, ethyl ester	27,07	0,00	0,00	0,00
Heptanoic acid, methyl ester	<b>349,27</b>	<b>249,43</b>	36,32	<b>106,75</b>
Octanoic acid, methyl ester	54,45	0,00	0,00	0,00
Nonanoic acid, methyl ester	55,18	0,00	7,53	5,91
Methyl tetradecanoate (Ácido mirístico)	21,42	0,00	0,00	25,27
9-Hexadecenoic acid, methyl ester,(Z)-	29,32	0,00	0,00	0,00
Hexadecanoic acid, methyl ester	<b>349,27</b>	<b>249,43</b>	36,32	<b>106,75</b>
Hexadecanoic acid, ethyl ester	27,07	0,00	0,00	0,00
9-Octadecenoic acid, methyl ester,(E)-	<b>408,88</b>	<b>291,00</b>	0,00	0,00
Octadecanoic acid, methyl ester	34,73	77,89	0,00	0,00
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester	<b>137,61</b>	<b>216,53</b>	43,24	0,00
9-Hexadecenoic acid, methyl ester,(Z)-	29,32	0,00	0,00	0,00
Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	0,00	0,00	10,82	12,25
9,15-Octadecadienoic acid, methylester, (Z,Z)-	0,00	0,00	0,00	54,70
Propanoic acid, 2-methyl-, 2-ethyl=3-hydroxyhexyl ester	0,00	0,00	0,00	0,00
8-Octadecenoic acid, methyl ester,(E)-	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros				
Acetic acid	36,32	45,28	<b>123,98</b>	44,02
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7-dimethyl-7-(4-methyl-3-penten-2-yl)-	4,00	0,00	0,00	0,00
1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	0,00	0,00	0,00	0,00

\*Unidades presentadas en ppb, en verde los compuestos presentes y en negritas los de mayor concentración

La tabla 25 se dividió por grupos funcionales, en los alcoholes alifáticos se observa que la harina presenta la mayor cantidad de estos compuestos, en aldehídos y cetonas hay una cantidad mayor en harina y tortilla, de los compuestos como furanos y compuestos aromáticos se presenta la mayor cantidad de compuestos en harina, en los compuestos isoprenoides el D-limoneno está presente en todos los productos y el limoneno solo está presente en masa y harina, se observa como hay compuestos que se mantienen presentes algunos compuestos en todos los productos, aunque las concentraciones varían, otros compuestos como el ácido acético se encuentra presente en todos los productos.

Se obtuvieron un total de 66 compuestos volátiles para los productos del maíz Tziranza (grano, masa, harina y tortilla), de los cuales 42 compuestos volátiles se presentan en grano de maíz, 37 en masa, 42 en harina y 36 en tortilla.

**Tabla 25. Compuesto volátiles de los productos del maíz Tziranza.**

Compuestos	TZIRANZA			
	MAIZ	MASA	HARINA	TORTILLA
<b>Alcoholes alifáticos</b>				
1-Hexanol	0,00	0,00	22,36	0,00
Cyclohexanol, 2-(1,1-dimethylethyl)-	0,00	0,00	33,09	0,00
2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Aldehídos y Cetonas</b>				
Heptanal	186,48	13,60	20,69	28,40
2-Heptenal, (E)-	26,30	0,00	0,00	0,00
2-Nonanone	0,00	4,13	13,13	6,20
Nonanal	117,32	93,37	380,74	335,66
2-Nonenal, (E)-	63,75	7,32	0,00	20,45
Decanal	22,30	17,55	49,80	67,03
2,4-Nonadienal, (E,E)-	7,06	0,00	0,00	0,00
5,9-Undecadien-2-one, 6,10-dimethyl-, (E)-	5,41	12,19	16,95	19,01
Hexanal	448,64	67,24	117,17	140,33
7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione	16,93	0,00	23,01	23,24
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0,00	20,87	0,00	0,00
Acetone	0,00	37,37	0,00	57,75
2-Nonenal, (Z)-	47,82	0,00	68,01	0,00
2-Undecanone	0,00	0,00	6,35	0,00
Lilial	0,00	0,00	4,61	0,00
Octanal	61,28	17,45	25,35	43,91
Ethanone, 1-(2-hydroxy-5-methoxyphenyl)-	0,00	0,00	0,00	0,00
Butanal, 3-methyl-	8,21	4,04	3,94	7,19
<b>compuestos nitrogenados</b>				
1,3,5-Triazin-2-amine, 4-(2-furyl)-6-(1-piperidyl)-	13,36	0,00	0,00	12,54
2,5-Cyclohexadiene-1,4-dione, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-	0,00	3,94	7,64	2,44
Ethanone, 1-(2-aminophenyl)-	0,00	22,25	29,25	28,03
<b>Furanos y compuestos aromáticos</b>				
Furan, 2-methyl-	17,25	4,69	0,00	0,00
Furan, 2-pentyl-	72,11	44,09	71,50	80,66
Benzoic acid, methyl ester	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzene, 1-ethyl-4-methoxy-	0,00	2,20	0,00	0,00
Naphthalene	0,00	0,00	6,73	3,51
Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethoxy-	0,00	0,00	0,00	0,00
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	12,37	23,18	26,06	52,52
Phthalic acid, decyl isobutyl ester	0,00	0,00	0,00	42,33
Dibutyl phthalate	79,15	60,46	0,00	113,57
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	11,95	0,00	25,46	0,00
Benzeneacetic acid, methyl ester	5,67	19,82	0,00	24,90
1,2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	72,45	26,37	124,19	107,35
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	0,00	9,68	8,50	19,65
Azulene	0,00	0,00	0,00	0,00
Phthalic acid, isobutyl octyl ester	64,14	0,00	93,51	65,18
Phenol, 2,4-bis(1,1-dimethylethyl)	12,37	23,18	26,06	52,52
Methyl tetradecanoate	12,94	0,00	0,00	0,00
Phthalic acid, decyl isobutyl ester	0,00	0,00	0,00	42,33
Benzaldehyde	0,00	24,06	0,00	47,27
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	4,16	4,32	6,54	0,00
Phenol, 4-ethyl-2-methoxy-	11,19	5,40	6,40	7,11
Benzene, 1,3-dimethyl-	0,00	5,24	33,82	35,96
Acetophenone	0,00	0,00	10,16	0,00
Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	4,47	4,39	10,03	8,80
1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-	0,00	0,00	0,00	0,00
Naphthalene, 2-methyl-	0,00	0,00	2,51	0,00
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	0,00	9,68	8,50	19,65
2-Methoxy-4-vinylphenol	0,00	0,00	0,00	0,00
Diethyl Phthalate	34,77	11,87	39,40	0,00
Vanillin	33,58	0,00	0,00	0,00
2-Ethylhexyl salicylate	8,21	12,89	0,00	0,00
Phenol, 4-ethyl-3-methyl-	8,21	4,20	0,00	0,00
1H-Cyclopenta[1,3]cyclopropa[1,2]benzene, octahydro-7-methyl-	0,00	0,00	5,24	11,29
Tonalid	0,00	0,00	13,02	0,00
alpha.-Cubebene	0,00	0,00	5,25	0,00
<b>Isoprenoides</b>				
D-Limonene	24,85	0,00	74,87	56,53
Limonene	0,00	0,00	0,00	0,00

ácidos grasos				0,00
Hexanoic acid, methyl ester	0,00	0,00	0,00	0,00
Hexanoic acid, ethyl ester	16,01	0,00	0,00	0,00
Heptanoic acid, methyl ester	86,36	36,46	27,53	13,91
Octanoic acid, methyl ester	6,13	0,00	0,00	0,00
Nonanoic acid, methyl ester	5,78	0,00	0,00	0,00
Methyl tetradecanoate (Ácido mirístico)	12,94	0,00	0,00	0,00
9-Hexadecenoic acid, methyl ester,(Z)-	0,00	0,00	0,00	0,00
Hexadecanoic acid, methyl ester	86,36	36,46	27,53	13,91
Hexadecanoic acid, ethyl ester	16,01	0,00	0,00	0,00
9-Octadecenoic acid, methyl ester,(E)-	111,49	103,26	0,00	0,00
Octadecanoic acid, methyl ester	0,00	0,00	0,00	32,43
9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-,methyl ester	25,73	0,00	0,00	0,00
9-Hexadecenoic acid, methyl ester,(Z)-	0,00	0,00	0,00	0,00
Butanoic acid, 2-methyl-, ethyl ester	0,00	0,00	0,00	0,00
9,15-Octadecadienoic acid, methylester, (Z,Z)-	0,00	0,00	42,78	0,00
Propanoic acid, 2-methyl-, 2-ethyl=3-hydroxyhexyl ester	0,00	0,00	7,84	0,00
8-Octadecenoic acid, methyl ester,(E)-	0,00	0,00	51,50	0,00
Otros				
Acetic acid	25,27	17,83	67,75	9,36
Tricyclo[2.2.1.0(2,6)]heptane, 1,7-dimethyl-7-(4-methyl-3-p	0,00	0,00	0,00	0,00
1,3-Hexadiene, 3-ethyl-2-methyl-	130,93	0,00	0,00	0,00

\* Unidades presentadas en ppb, en verde los compuestos presentes y en negritas los de mayor concentración

La tabla 26 se dividió por grupos funcionales, en los alcoholes alifáticos se observa que solo la harina se presentan 1-hexanol y ciclohexanol-2-(1,1-dimetiletil), en aldehídos y cetonas se presentan la mayor cantidad de compuesto volátiles en harina y tortilla, en los compuestos nitrogenados se presentan la mayor cantidad de compuestos en tortilla, de los compuesto isoprenoides se encuentran solo el D-Limoneno en grano, harina y tortilla, de los compuestos de ácidos grasos se presentan en mayor cantidad en grano y menor cantidad en masa y harina, se observa como hay compuestos que se mantienen presentes algunos compuestos en todos los productos, aunque las concentraciones varían, otros compuestos como el ácido acético se encuentra presente en todos los productos.

Buttery y Ling (1995) encontraron que en compuestos volátiles en maíz blanco en harina de masa nixtamalizada y tortilla, por GC-MS encontraron 54 compuestos de los cuales 17 fueron encontrados por HS-SPME en esta investigación estos fueron: 1-octen-3-ol, hexanal, 2-heptanona, heptanal, 2-heptanal (E), nonanal, 2-nonanal (E), 2-undecanona, furfural, benzaldehído, fenilacetoaldehído, acetofenona, metil salicilato, ácido benzoico, vainillina, limoneno, D-limoneno y 3-metilpropanal.

Papadopoulou y Roussis (2008) reportaron aldehídos volátiles como el pentanal, hexanal, octanal, nonanal y decanal, son productos de la oxidación secundaria del aceite de maíz, estos compuestos fueron reportados en HS-SPME

Como se puede apreciar en las tablas anteriores la cantidad de compuestos volátiles es menor en el maíz Tziranza, tanto en el grano de maíz como en sus productos nixtamalizados en comparación del maíz AS900; Como se demostró con anterioridad el contenido de antocianinas en grano de maíz 9.8 g/L de solvente disminuye en el proceso de nixtamalización y por cada proceso que se le da a los productos, como se ha reportado en investigaciones anteriores de Salina Moreno (2007) las antocianinas son antioxidantes que protegen contra radicales oxido y súper oxido, radicales que oxidan a los ácidos grasos. Se observó también que el perfil general de ácidos grasos no se ve tan modificado de grano de maíz a productos nixtamalizados; aunque el maíz blanco AS900 tiene carotenos su contenido es bajo siendo de 0.6 mg/Kg en grano de maíz, esto reportado por Mínguez en 1989, en el proceso de nixtamalización existe pérdida de carotenos y después por el proceso que lleva cada producto, dado a la cantidad de carotenos a su estructura y a la pérdida que sufren la protección que ejercen contra radicales óxido y súper óxido no es la misma que las antocianinas.

### **11.9 Relación entre el QDA y los compuestos volátiles**

Como se mostrará a continuación tanto el contenido de compuestos volátiles como los descriptores generados por el panel tienen relación directa

En la tabla 27 se observan algunos de los compuestos volátiles que presentan olor, entre los compuestos con mayor concentración encontrados con anterioridad están el nonal, 2-nonanal, el decanal, el hexanal, la acetona, el 1,3,5-Triazin-2-amina-4-(2-furil)-6-(1-piperidil), el 2-furano-pentil, el ácido talico, el benzeno, el D-Limoneno y el ácido acético, estos presentan olores muy característicos y determinantes en el perfil aromático

**Tabla 26. Compuestos volátiles que proporcionan olor.**

<b>Compuestos</b>	<b>Olor</b>
1-Hexanol	césped recién cortado
Ciclohexanol, 2-(1,1-dimetiletil)-	Alcanfor
Heptanal	Frutal
2-Heptenal, (E)-	Frutal
2-Nonanone	floral y afrutado
Nonanal	Rosa
Decanal	Trigo
2,4-Nonadienal, (E,E)-	Pepino
Hexanal	hierba segada
Acetona	Manzana
2-Nonenal, (Z)-	Rancio
2-Undecanona	herbáceo, afrutado, dulce
Octanal	Frutas
Butanal, 3-metil	Acre
1,3,5-Triazin-2-amina, 4-(2-furil)-6-(1-piperidil)	Tierra, especias, pimienta verde,
Etanona, 1-(2-aminofenil)	Tierra, especias, pimienta verde
Furan, 2-metil	Cloroformo
Ácido Benzoico, metil ester	ligero a dulce
Benzeno, 1-etil-4-metoxi-	ligero a agrio
Naftaleno	Alquitrán
Fenol, 2,4-bis(1,1-dimetiletil)	humo de madera y alquitrán
Ácido Talico, decil isobutil ester	caustico
Dibutil Talato	ligero olor a solvente
Azuleno	Camomila
Metil tetradecanoato	débil, oleoso, miel
Benzaldeido	almendras amargas
Acetofenona	Naranja
Ácido Butanoico, 2-metil-, etil ester	Rancio
Naftaleno, 2-metil-	Olor alquitrán
Vanillina	Vainilla
alfa.-Cubebeno	clavo de olor

<b>D-Limoneno</b>	Cítrico
<b>Limoneno</b>	Olor a cítrico
<b>Ácido acético</b>	Agrio, Vinagre

En la tabla 27 se muestra algunos de los compuestos volátiles que generan olores particulares en cada producto del maíz.

Aunque no todos compuestos son volátiles aromáticos, se encuentran compuesto de bajo peso molecular, que debido a su estructura pueden conferir un olor característico a cada producto, como lo son los compuestos cetoaldehídicos.

En la Figura 28 se presenta la huella aromática de cada uno de los productos del maíz AS900

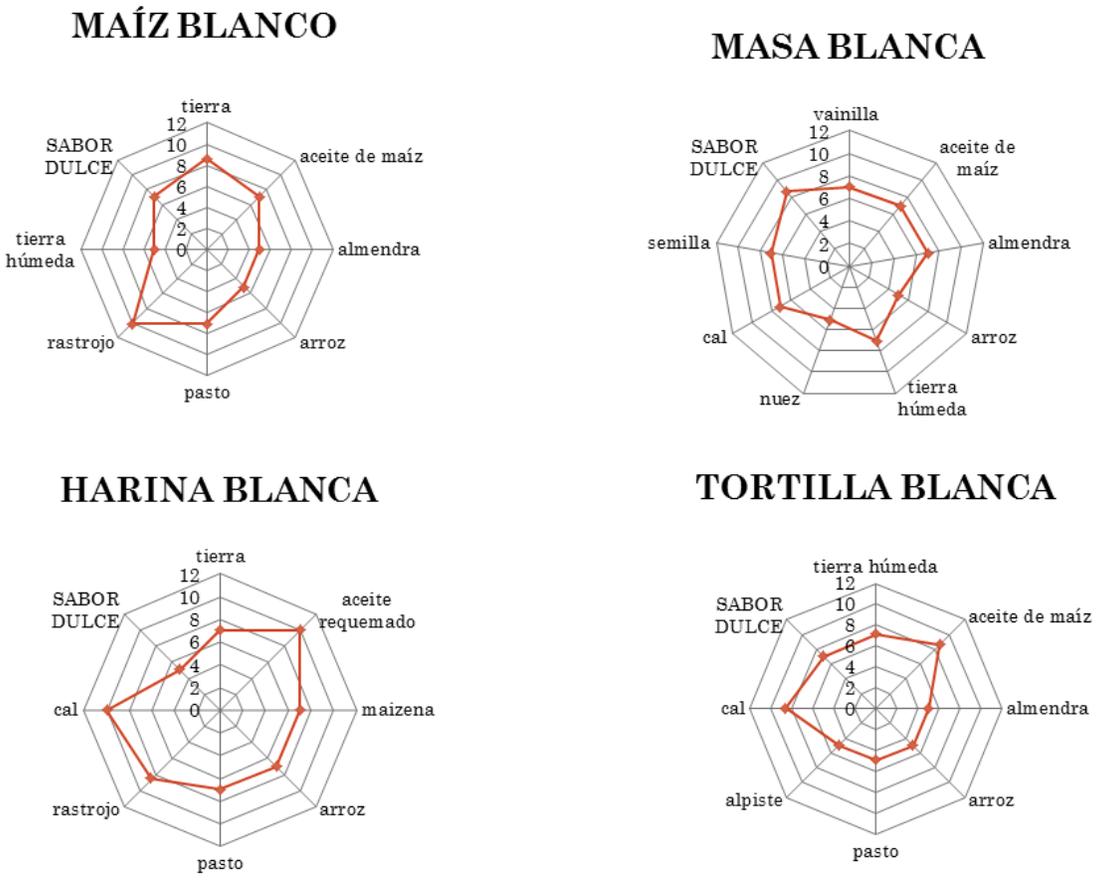


Figura 28 QDA de los productos del maíz AS900

En la figura 28 se observa las huellas aromáticas de los productos del maíz blanco AS900, se observa como existe una relación compuestos volátiles presentados en la tabla 25 con descriptores generados. Se ha observado una relación directa con la concentración alta, con el olor descrito por los panelista en compuestos volátiles como el nonanal y hexanal con concentraciones elevadas, la Acetona, 1,3,5-Triazin-2-amina, 4-(2-furil)-6-(1-piperidil), Furan 2-pentil, dibutil Talato, D-limoneno y el ácido acético en concentraciones menores pero importantes al ser mayores a 100 ppb.

En la Figura 29 se presentan las huellas aromáticas de cada uno de los productos del maíz Tziranza

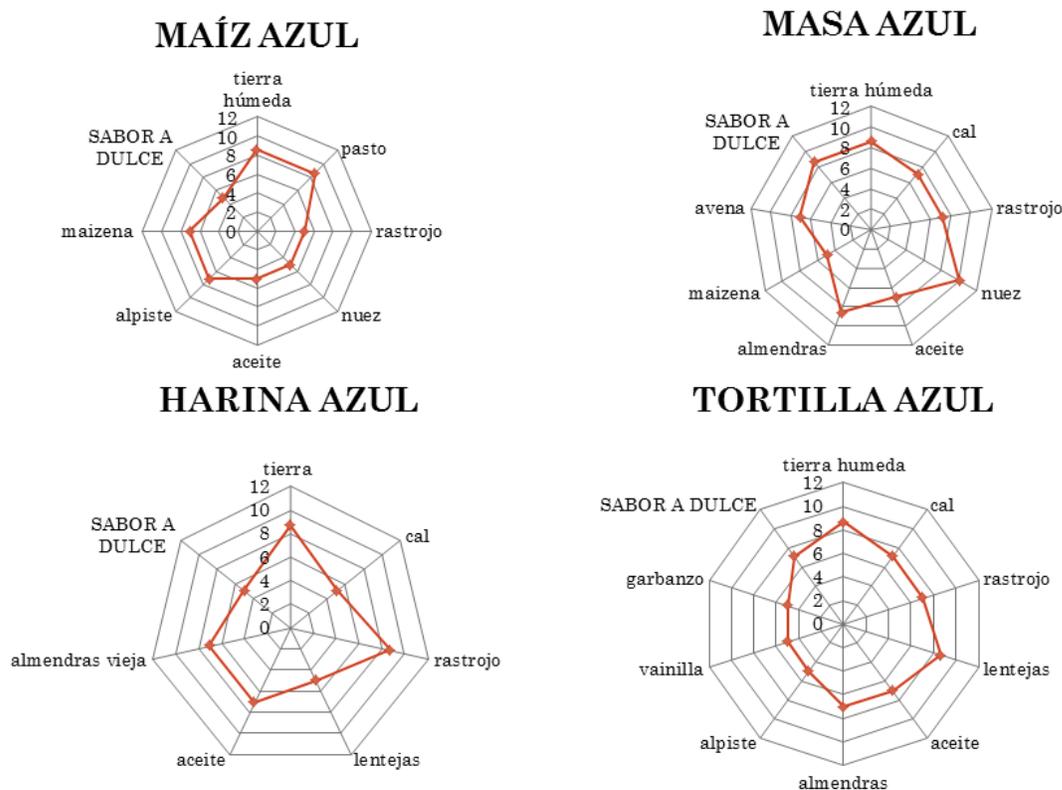


Figura 29 QDA de los productos del maíz Tziranza

En la figura 29 se observa las huellas aromáticas de los productos del maíz blanco azul Tziranza, se observa como existe una relación compuestos volátiles presentados en la tabla 26 con descriptores generados.

Se ha observado una relación directa con la concentración alta, con el olor descrito por los panelista en compuestos volátiles como el heptanal, nonanal y hexanal con concentraciones superiores a 100 ppb, aunque se observó que las concentraciones son menores que las presentadas por los productos del maíz AS900, se encontraron compuestos volátiles en concentraciones menores a 100 ppb pero representativos al ser mayores a 70 ppb como el D-limoneno, el ácido tánico y el furano 2-pentil.

## **12CONCLUSIONES**

En la presente investigación se trabajó con dos variedades de maíz, el maíz azul Tziranza y blanco AS900 y el proceso de nixtamalización para la formación de los productos nixtamalizados, masa, harina y tortilla para la descripción del perfil aromático de cada variedad de maíz y producto nixtamalizado. De los resultados obtenidos se concluye que:

La nixtamalización ejerce un efecto de degradación en el contenido de antocianinas y carotenos en el maíz nixtamalizado y posterior procesamiento de los productos (secado y elaboración de tortilla)

Los resultados de FAMES del perfil de ácidos grasos indica que es diferente en cada variedad de maíz y en sus productos nixtamalizados aunque existe degradación de ácidos grasos su perfil se mantiene, es decir que la degradación es igual para todos los ácidos grasos en cada producto, por cual la variación en su perfil es mínima

Se obtuvieron las huellas aromáticas del QDA de los productos, aunque algunos productos comparten descriptores, su huella aromática es diferente y característica para cada variedad de maíz y producto nixtamalizado.

Con la técnica HS-SPME se obtuvieron los compuestos volátiles para cada producto, cada variedad de maíz así como producto nixtamalizado presentan

perfiles específicos, aunque comparten algunos compuestos del grano de maíz pasando por la nixtamalización hasta formación de masa, harina y tortilla, no mantienen la misma concentración.

Los resultados obtenidos indican que hay una relación entre los compuestos encontrados por HS-SPME en el AS900 y sus productos nixtamalizados como el nonanal, hexanal, acetona, furan 2-pentil, ácido benzoico, ácido tánico, D-limoneno y ácido acético tienen relación con los descriptores generados en el QDA, al igual con los encontrados en el maíz Tziranza y sus productos nixtamalizados como el heptanal, nonanal, hexanal, ácido benzoico, D-limoneno, ácido tánico y el furan 2-pentil tienen relación con los descriptores generados en el QDA. En conclusión la variedad del maíz y el proceso de nixtamalización ejercen un efecto en el perfil aromático de cada producto.

## 13REFERENCIAS

- A, Garzón G. (2008). Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds. *A review Acta Biol. Colomb*, 13:27-36.
- Betrán F J, A J Bockholt, L W Rooney . (2001). Blue corn. In: Specialty Corns. A R Hallauer (ed). Iowa State University, Ames Iowa, USA, 293-337.
- Campo- Mexicano. (1996). Recuperado el 12 de 11 de 2015, de Situación actual y perspectivas del maíz en México: [http://www.campomexicano.gob.mx/portal\\_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf](http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf)
- Castillo V.K.C., Ochoa M.L.A., Figueroa C.J.D., Delgado L.E., Gallegos I.J.A., Morales C.J. (2009). Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* , 59(4):425-432.
- CF, T. (1980). Antocyanins\_Occurrence, Extraction and Chemistry . *Food Chem*, 5(1):69-80.
- De la Parra C, S O Serna S, R Hai L. (2007). Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production masa, tortillas, and tortilla chips. *Journal Agric. Food Chem.*, 55:4177-4183.
- De Pascual-Teresa S, C Santos- Buelga, J. C. Rivas-Gonzalo. (2002). LCMS analysis of anthocyanins from purple corn cob. *Journal Sci. Food Agric.*, 82:1003-1006.
- De Pascual-Teresa S, M T Sánchez-Ballesta. (2008). Anthocyanins: from plant to health . *Phytochem Rev.*, 7:281-299.

- Delgado-Vargas F, Jiménez Ar, Paredes-López O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains-Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 40(3):173-289.
- E, M. A. (2007). Effect of storage time and container type on the quality of extra-virgin olive. *Food control. Journal of Food Science* , 18:521-529.
- Escribano-Bailón M T, C Santos-Buelga, J C Rivas-Gozalo . (2004). Anthocyanins in cereals . *Journal Chromatogr.*, 105:129-141.
- FAO. (1993). *El maíz en la nutrición humana. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO: Alimentación y nutrición, N°25.* Recuperado el 12 de 11 de 2015, de <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S00.htm> ISBN 92-5-303013-5
- Farré G., Sanahuaja, G., Naqui, S., Bai, Ch., Capell, T., Zu, Ch., Christas, P. (2010). Travel advice on the road to carotenoids in plants. *Plant Science* , 179:28-48.
- Faulks, R. M. Y Southon, S. (2005). Challenges to understanding and measuring. *Biochemical et Biophysica*, 1740: 95-100.
- G, P.-G. (1998). Comportamiento de maíz pigmentado en la elaboración de frituras, empleando el método de nixtamalización tradicional y harina preparada por un proceso hidrotérmico. *Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial.*
- G., K. J. (1977). Twenty-five years of flavor research in a food industry . *J. Am. Oil Chem Soc*, 54:474.
- G., L. M. (2001). Una sinfonía de aromas. *Avance y perspectiva*, 20:421.
- Garzón GA, Wrolstad RE. (2002). Comparison of the Stability of Pelargonidin-based Anthocyanins in Strawberry Juice and Concentrate. *J. Food Sci*, 67(4):1288-1299.

- H, L. R. (2004). Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: Mechanism of action. . *Journal Clin. Nutr.*, 134:3479S-3485S.
- Horbowicz M, R Kosson, A Grzersiuk, H Debski. (2008). Anthocyanins of fruits and vegetables, their occurrence, analysis a role in human nutrition. *Vegetable Crops Res. Bull*, 68:5-22.
- Hoshino T, Matsumoto U. Goto -T, Harada N. (1982). Evidence for the selfassociation of antocyanins in neutral aqueous solution . *Tetrahedron Lett*, 23:433.
- ISO. (1988). Sensority analisys. General guidance for the desing of test rooms. *ISO 8589*.
- ISO. (1994). Sensority analisys, Identification and selection of descriptors for establishing a sensory profile by a multidimensional approach. *ISO 11035*.
- J. Sancho., E Bota., J. J de Castro. (2002). *Análisis Sensorial de los Alimentos*. México, D.F.: ALFAOMEGA.
- JH, H. (1999). Food color and appearance. *2nd ed. Gaithersburg, Md.: Aspen Publishers*.
- Kong J M, L S Chia, N K Goh, T F Chia, R Brouillard . (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *J. Phytochemistry*, 64:923-933.
- M. I. Mínguez Mosquera y J. Garrido fernández . (1989). Chlorophyll and Carotenoid Presence in Olive Fruit (*Olea europaea*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1-7.
- M. I. Mínguez Mosquera, J. Garrido Fernandez. (1989). Chlorophyll and Carotenoid Presence in Olive Fruit (*Olea europaea* ). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1-7.
- Markakis P., Livingston GE, Fellers, RC. (1957). Quantitative Aspects of Strawberry Pigment Degradation. . *Food Res*, 22:117-130.

- Martínez, M. (2003). Carotenoides . *Universidad de Antioquia. Medellín* , 7-10.
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. M., Heredia, F. J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *SciELO*, 54(2):209-215.
- Méndez Montealvo G., Solorza Feria J., Velásquez del Valle M., Gómez N., Pardes López O., Bello Pérez L.A.,. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39:267-274.
- MESTRES, C. (1993). Comparison of various processes for markig maize pasta . *Journal Cereal Sci*, 227-290.
- Mínguez, M. I. (1997). Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos. *Universidad de Sevilla. España* , 91-128.
- NMX-FF-034/1-SCFI-202. (22 de 05 de 2002). Productos Alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-parte I: Maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – Especificaciones y métodos de prueba. *Diario Oficial de la Federación*.
- Nogueira-Terrones H., H. E.-A.-R. (2004). Drying Kinetics and Sorption Isotherms of the Nejayote. *Drying Technology*, 22(9):2173–2182.
- P.A., M.-H. M. (2006). Corn (Zea mays) kernel hardness as an index of the alkaline cooking time for tortilla preparation . *Journal of Food Science*, 4(2):377-380.
- Paredes López O., Guevara Lara F., Bello Pérez L.A. (9 de 11 de 2009). *La Nixtamalización y el valor nutritivo del maíz*. Recuperado el 12 de 11 de 2015, de Ciencias [en línea]: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=64412119010>> ISSN 01876376
- Rodríguez-Amaya, D. (1999). Carotenoides y preparación de alimentos: La retención de los carotenoides y provitamina A en alimentos preparados, procesados y almacenados. *Departamento de ciencias de alimentos*.

*Facultad de Ingeniería de alimentos. Universidad Estadual de Campinas. Brasil.*

Ruiz-Gutiérrez M.G., Quintero-Ramos A., Meléndez-Pizarro C.O., Lardizábal-Gutiérrez D., Barnard J., Márquez-Melendez r., Talamás-Abbud -R. (2010). Changes in mass transfer, thermal and physicochemical properties during nixtamalization of corn with and without agitation at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 98: 76-83.

Ruiz-Gutiérrez M.G., Quintero-Ramos A., Meléndez-Pizarro C.O., Lardizábal-Gutiérrez D., Barnard J., Márquez-Melendez R., Talamás- . (2010). Changes in mass transfer, thermal and physicochemical properties during nixtamalization of corn with and without agitation at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 98:76-83.

Salinas Moreno Y, F Martínez Bustos, M Soto Hernández, R Ortega Paczka, J L Arellano Vázquez . (2003). Efecto de la nixtamalización sobre las antocianinas de granos pigmentados. *J. Agrociencia* , 37:617-628.

Salinas-Moreno Y, J J López Reynoso, G González Flores, G Vázquez Carrillo . (2007). Compuestos fenólicos del grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *J. Agrociencia*, 41:295-305.

Sefa-Dedeh S., Cornelius B., Sakyi-Dawson E., Ohene-Afoakwa E. (2004). Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. . *Food Chemistry* , 86:317-324.

Sodheimer E, Kertesz ZI. (1953). Participation of Ascorbic Acid in the Destruction of Anthocyanin in Strawberry Juice and Model Systems. *Food Res*, 18:475.

Springob, Nakajima JI, Yamazaki M, Saito K. (2003). Recent advances in the Biosynthesis and Accumulation of Anthocyanins. *Nat Prod Rep*, 20:288-303.

- Stintzing F C, A S Stintzing, R Carle, B Frei, R E Wrolstad . (2002). Color and antioxiandant properties of cyanidin-based anthocyanin pigments. *J. Agric. Food Chem*, 50:6172-6181.
- Thankkar, S.K. y Failla, M.L. (56:11441-11446). Biaccessibility of pro-vitamin A carotenoids in minimally affected by non pro-vitamin A Xanthophylls in maize (*Zea mays* sp.). *Agric. Food chem*, 2008.
- Valderrama-Bravo C., R.-M. A.-C.-M.-L.-R.-G. (2010). Mechanism of calcium uptake in corn kernels during the traditional nixtamalization process: Diffusion, accumulation and percolation. *Journal of Food Engineering*, 98:126-132.
- Y. Salinas Moreno, F. J. C. Chávez, S. A. Díaz Ortiz, F. Castillo Gonzáles. (2012). Pigmented maize grains chiapas, physical characteristics, Anthocyanin content and nutraceutical value. *Fitotec*, 33-44.
- Zozula S., Echeverri. F y Trieu N. (2001). The human olfactory receptor repertoire. *Genome Biol*, 2,1.