



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Evaluación de la pérdida de carotenos en la preparación
de alimentos típicos mexicanos derivados del maíz
(tamales, tortillas y atole)**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

CATALINA ISLAS CABALLERO

ASESORES:

Dra. Elsa Gutiérrez Cortez

Dra. Natalia Palacios Rojas



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
ASUNTO: VOTO APROBATORIO
SUPERIORES CUAUTITLÁN

**DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**



**ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **Tesis:**

Evaluación de la pérdida de carotenos en la preparación de alimentos típicos mexicanos derivados del maíz (tamales, tortilla y atole).

Que presenta la pasante: Catalina Islas Caballero

Con número de cuenta: 402096492 para obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”

Cuautitlán Izcallí, Méx. a 17 de agosto de 2011.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.C.E. Jesús Herrera Martínez	
VOCAL	M. en I. Fernando Beristain	
SECRETARIO	Dra. Elsa Gutiérrez Cortez	
1er SUPLENTE	Dr. Sergio Jiménez Ambriz	
2do SUPLENTE	M. en C. Enrique Martínez Manrique	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la dicha de vivir

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber creado en mi una persona útil para la raza humana.

A mis asesores de tesis, Doctora Natalia Palacios Rojas y Doctora Elsa Gutiérrez Cortez, por su apoyo íntegro e incondicional.

Al personal del Laboratorio de Calidad Nutricional de Maíz y Tejido Vegetal, especialmente al Ingeniero Octavio Custodio y Dionicio Zavala por su colaboración para el desarrollo de este trabajo.

A la Doctora Gricelda Vázquez, investigadora del INIFAP, así como todos los colaboradores, por su desinteresada ayuda y por las valiosas opiniones vertidas en pos de la mejora de este escrito.

A mis padres Catalina Caballero y Eduardo Islas, por el cariño, comprensión y apoyo. A mi hermano Eduardo Islas y familiares, ya que todos fueron una parte importante de mi vida.

A todos mis amigos universitarios que me acompañaron durante el transcurso de la licenciatura Ivonne Briceño, Diana Peña, Lucía Ceballos y Alicia Leon por su amistad, especialmente a Lourdes Paez, Viridiana Roja, Lucero Quintero y Víctor Picaso, por su apoyo y cariño.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Calidad Nutricional de maíz y tejido Vegetal del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo. En el Laboratorio de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. En el Laboratorio Experimental Multidisciplinario de Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán (UNAM). Financiado por el proyecto Harvest Plus.

INDICE DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS.....	iii
INDICE DE TABLAS.....	iv
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	5
1.1 GENERALIDADES DEL MAÍZ	6
1.1.1 Definición	6
1.1.2 Estructura del grano.....	6
1.1.3 Germen	10
1.1.4 Composición química del grano	10
1.1.5 Fibra.....	14
1.1.6 Importancia del maíz en la alimentación en México.....	17
1.1.7 Maíz biofortificado para Provitamina A.....	18
1.2 Generalidades de los carotenos.....	20
1.2.1 Definición	20
1.2.2 Clasificación y nomenclatura	20
1.2.3 Distribución y estado natural.....	22
1.2.4 Biosíntesis.....	24
1.2.5 Retención de carotenos en alimentos.....	25
1.2.6 Beneficio para los humanos.....	33
1.3 Generalidades de los alimentos típicos mexicanos.....	38
1.3.1 Nixtamalización.....	38
1.3.2 Proceso	38
1.3.3 Biodisponibilidad de nutrientes en productos nixtamalizados	39
1.3.4 Alimentos comunes en México derivados del maíz	40

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	42
2.1 Metodología experimental	43
2.1.1 Objetivo general	43
2.1.2 Objetivos particulares	43
2.1.3 Planteamiento experimental	43
2.1.4 Caracterización de la materia prima	44
2.1.5 Nixtamalización y procesos tecnológicos.....	47
1.3.1 Determinación de carotenoides en maíz.....	49
1.3.2 Prueba sensorial afectiva	52
1.3.3 Método estadístico.....	53
 CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	 54
3.1 Análisis de resultados	55
3.1.1 Resultados de las actividades preliminares	55
3.1.2 Caracterización de la materia prima	55
1.1.1 Cuantificación de carotenos.....	57
1.1.2 Prueba de aceptabilidad	72
 COCLUSIONES.....	 74
BIBLIOGRAFÍA.....	76
ANEXOS.....	A-1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cortes longitudinal y transversal de un grano de maíz	7
Figura 2 Estructura de algunos carotenoides.....	22
Figura 3 Biogénesis de terpenoides.....	26
Figura 4 Conversión de carotenoides 5,6-epóxidos en 5,8-furanoides.....	32
Figura 5 Pasos para la absorción y factores dietéticos que afectan la absorción de carotenoides.....	35
Figura 6 Cuadro metodológico del desarrollo experimental.....	45
Figura 7 Ubicación del color	46
Figura 8 Diagrama de bloques.....	47
Figura 9 Diagrama de flujo HPLC.....	49
Figura 10 Ejemplo de prueba de aceptación para cada producto.....	52
Figura 11 Cromatograma a) cromatograma; b) visualización del espectro; c) tabla de propiedades; d) tabla de espectro.....	57
Figura 12 Concentración de carotenoides durante el proceso de nixtamalización en peso seco. a) Resultados de la variedad 1034; b) Resultados de la variedad 1035.....	58
Figura 13 Concentración de carotenoides durante la preparación de tamales en peso seco. a) Resultados de la variedad 1034; b) Resultados de la variedad 1035.....	61
Figura 14 Concentración de carotenoides durante la preparación de tortillas y atole , expresando los resultados en peso seco. a) Resultados de la variedad 1034; b) Resultados de la variedad 1035.....	64
Figura 15 Comportamiento de provitamina A durante el proceso de alimentos típicos mexicanos, expresando los resultados en peso seco.....	66
Figura 16 Retención aparente durante el procesamiento de alimentos típicos mexicanos ..	68
Figura 17 Nejayote proveniente del proceso de nixtamalización.....	71
Figura 18 Porcentaje de aceptabilida	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Partes componentes del grano de maíz.....	7
Tabla 2 Composición química del grano.....	8
Tabla 3 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz....	11
Tabla 4 Contenido de aminoácidos del maíz.....	12
Tabla 5 Fibra soluble e insoluble del maíz.....	14
Tabla 6 Contenido de vitaminas y algunos minerales del grano de maíz entero por 100g...	16
Tabla 7 Concentración de carotenoides en harina de maíz.....	24
Tabla 8 Formulación de tamales.....	48
Tabla 9 Resultados de las pruebas físicas del grano.....	56

RESUMEN

El maíz es fuente alimenticia de más de 900 millones de personas en África, México y América Central. El maíz blanco es el más utilizado para el consumo humano en México. Sin embargo, éste carece de provitaminas A, compuesto esencial para mantener los niveles de vitamina A en el cuerpo. Programas de biofortificación de maíz se han enfocado, a elevar el contenido de provitaminas A en el grano, a través de mejoramiento por medio de cruza. De esta forma, si se consume maíz con mayores contenidos de provitaminas A, podría contribuir a aliviar los problemas de deficiencia y depleción de vitamina A en la población. Las provitaminas A son carotenos altamente degradables por oxígeno, luz y altas temperaturas. El procesamiento del maíz y la cocción contribuyen principalmente a la degradación de las provitaminas A. Por eso, es necesario determinar el porcentaje de retención de estos compuestos en los alimentos preparados. Utilizando 2 genotipos de maíz con altos niveles de provitaminas A (7-8 $\mu\text{g/g}$), se prepararon tamales sin relleno, dulces y salados y se determinó la pérdida de provitaminas A en los alimentos preparados y durante la nixtamalización (grano cocido, grano reposado, nejayote, harina y masa de tamal). Se realizó la cuantificación de cada compuesto en cada etapa del proceso mediante cromatografía líquida de alta eficiencia con la finalidad de evaluar la pérdida de estos compuestos durante la preparación de tamales, tortillas y atole. Durante el proceso de nixtamalización no se reportaron pérdidas significativas de provitaminas A; sin embargo, este mismo compuesto se comportó de manera diferente en los productos finales, ya que en los tamales de dulce, las pérdidas son del 38 y 62%; en los tamales de sal se cuantificaron concentraciones superiores al 100%, las cuales corresponden a un 87 y 22%, atribuyendo esta adición al jitomate y chile, ingredientes principales del relleno; en las tortillas no se reportan pérdidas; mientras que en el atole las pérdidas son del 73 y 80%. Se concluye que el genotipo que cumple mejor con el objetivo por tener una mayor retención es el 1034. Las tortillas, los tamales y el atole son los principales alimentos consumidos por la población mexicana y centroamericana, por ello, podrían ser un elemento de la dieta vehículo de provitamina A, si estos se preparan a base de maíz biofortificado.

Palabras clave: Retención, carotenos, Provitamina A, maíz, nixtamalización

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea maíz L.*) es el principal grano producido y consumido en México (FAO, 2007), es la base de la vida rural y por lo tanto, de la cultura mexicana como eje de la actividad económica productiva, como organizador del tiempo y el espacio, como principal fuente de la alimentación y elemento instituido del arte culinario y como materia prima de artesanías (Barros y Buenrostro, 1997).

La planta del maíz, ofrece además de sus múltiples variedades, una gran gama de productos, pero cuando los alimentos se convierten en el mejor alimento es al nixtamalizarlos (Barros y Buenrostro, 1997). La nixtamalización es un tratamiento térmico-alcalino (Badui, 1993), el cual permite que por efecto de la cal se desprenda el pericarpio, los granos se digieren mejor y aumenta el valor de algunos de los nutrientes, en especial de la niacina (Llanos, 1984).

La nixtamalización consiste en someter el grano de maíz a una serie de tratamientos drásticos, poco comunes en la industria alimentaria para cualquier alimento. Inicia con la cocción de los granos en una solución de hidróxido de calcio (Badui, 1993), produciendo una reacción exotérmica (Novelo, 1997); el tiempo de cocción puede fluctuar entre 20 y 70 minutos, dependiendo de las propiedades físicas del grano. Después de un periodo, se suspende el suministro de calor y comienza la segunda etapa, en donde el grano hidratado se deja reposar de 3 a 14 horas. El agua de cocción, llamada nejayote, se drena. Después de este paso, el maíz se lava con agua para eliminar el exceso de calcio (Badui, 1993). Posteriormente, los granos se muelen entre dos piedras volcánicas para obtener un granulado y proceder a la elaboración de alimentos (Novelo, 1997).

México cuenta con 59 razas de maíz criollo, de los cuales el más común es el maíz blanco, el cual sufrió una mutación genética, dando como resultado el maíz amarillo, este tiene un sabor ligeramente dulce. El color amarillo del grano de maíz se debe a los carotenoides o tetraterpenoides que son una clase de pigmentos orgánicos producidos predominantemente por organismos fotosintéticos (Bechoff *et al.*, 2009), son terpenoides con 40 átomos de

carbono derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geraniil-geraniil-pirofosfato (Martínez, 2003), en su mayoría son solubles en solventes polares y dan coloraciones que oscilan entre amarillo (β -caroteno) y el rojo (licopeno) (Martínez, 2003). Los carotenoides hidrocarbonados se conocen como carotenos, en tanto que los oxigenados se denominan xantofilas, en ambos casos, la presencia de dobles enlaces alternados en la cadena de isoprenos les permite absorber excesos de energía de otras moléculas, por lo cual poseen propiedades antioxidantes.

Los carotenoides se encuentran principalmente en partes aéreas de las plantas, especialmente en hojas, tallos, flores y frutos y en menor proporción en raíces. La deficiencia de este nutriente en humanos puede causar ceguera nocturna, susceptibilidad a infecciones de mucosas (Lozano-Alejo *et al.*, 2007), también participa en la elaboración de enzimas en el hígado y de hormonas sexuales y suprarrenales (Pérez, 2000).

Las personas sin recursos, suelen incluir en su dieta elevadas cantidades de cereales de bajo costo, lo cual significa que su alimentación es deficiente y pueden padecer desnutrición. Se estiman 3 mil millones de personas que padecen deficiencia de proteínas, hierro y vitamina A. Por ello se han generado maíces biofortificados, los cuales harán posible aumentar la ingesta de aminoácidos esenciales, provitamina A, hierro y zinc (CIMMYT 2009). En México existe alrededor de 30 % de depleción y 2 % de deficiencia de vitamina A en niños de 0-12 años, según al censo de 1999.

Para que los productos biofortificados, realmente cumplan con su función, hay diferentes métodos que se desarrollan para evaluar el impacto que pueden tener los alimentos biofortificados en el estado nutricional de las personas. Dentro del esquema para evaluar el impacto nutricional, el primero de los puntos de estudio es la concentración nutricional, ya que el cultivo biofortificado debe tener mayor concentración de nutrientes; el segundo punto es la biodisponibilidad de los nutrientes, los cultivos biofortificados deben de tener mayor biodisponibilidad que los convencionales; el tercer punto es la aceptación organoléptica del producto, en la cual los consumidores deben considerar aceptables las recetas elaboradas con cultivos biofortificados (King, 2002).

La mayor parte de los estudios realizados acerca de la degradación de carotenos se ha realizado enfocados para otros países y por tanto otros alimentos, por ejemplo los estudios realizados por Reddy (1995), en el cual son evaluados estos compuestos en la India, Shanshan *et al.* (2007) en alimentos típicos africanos.

Dado que en México el maíz es el cereal más consumido y de éste se derivan un sinnúmero de productos, los cuales se consumen en cualquier hora del día y en todos los estratos sociales del país, como platillo principal, por ejemplo los tamales o para acompañar la comida como las torillas y el atole, Paredes-López (1982) y Lozano-Alejo *et al.* (2007) han realizado el estudio de algunos derivados del maíz, pero únicamente en el producto final. En este trabajo se evaluó mediante análisis químico la concentración de carotenos no sólo en el grano, sino también durante el proceso y en el producto final, utilizando un equipo de cromatografía líquida de alta eficiencia, con lo cual se puede inferir que durante la nixtamalización no hay pérdidas, aunque no así durante los diferentes procesos analizados. Además de determinar cualitativamente la aceptación de productos elaborados a partir de maíz biofortificado, mediante encuestas, para determinar el agrado del consumidor en dichos productos.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 GENERALIDADES DEL MAÍZ

1.1.1 Definición

El maíz (*Zea mays*) es el único cereal proveniente del Nuevo Mundo, específicamente en México (Cámara Nacional de Maíz Industrializado, 1994). Carlos Lineo los clasificó y les asignó el nombre científico de *Zea* que significa “causa de vida” y *mays* con significado “nuestra madre” (Reyes y Gooding, 1990). El maíz fue el único cereal cultivado en forma sistemática por los indios americanos, aunque cosechaban otros granos en su estado silvestre (Desroisier, 1994). El maíz pertenece a la tribu *maidea*, familia *Graminea*. Es una planta herbácea anual y monoica, cuyas células poseen $2n$ =cromosomas (Llanos, 1984).

Los miembros de este grupo botánico tienen sistemas de raíces fibrosas, hojas alternantes, venas paralelas en las hojas, vainas de hojas divididas, tallos cilindros con nudos sólidos y flores en espiga semi abiertas (Desroisier, 1994). Es uno el cultivo más importantes en gran parte de las regiones templadas, subtropicales y tropicales (Llanos, 1984).

1.1.2 Estructura del grano

La semilla del maíz, es un fruto de tipo cariósipide integrado por una cubierta exterior llamada pericarpio muy delgado. El pericarpio es la pared del ovario maduro y comprende todas las capas exteriores de la célula hasta el recubrimiento de la semilla, el cual rodea a una masa interior de células conocida como endospermo, que equivale aproximadamente al 82.9% del grano y alberga en su parte inferior lateral a un cuerpo de tejidos vivos, el germen, cuya proporción en el grano es pequeña. El porcentaje de peso promedio en el grano entero se registra en el tabla 1, la extremidad de la punta del grano es el punto de unión entre el movimiento de los nutrientes y el desarrollo del grano (Olmedo, 1958).

Tabla 1 Partes componentes del grano de maíz

Parte	% en peso del grano entero*
Endospermo	82.9
Germen	11.1
Pericarpio	5.2
Cofia	0.8
Grano entero	100

*en base seca *Fuente: Watson y Ramstad (1987)*

El maíz tiene cuatro estructuras fundamentales, las cuales se pueden apreciar en la figura 1, cada una representa diferente porcentaje en el grano, dependiendo de la variedad.

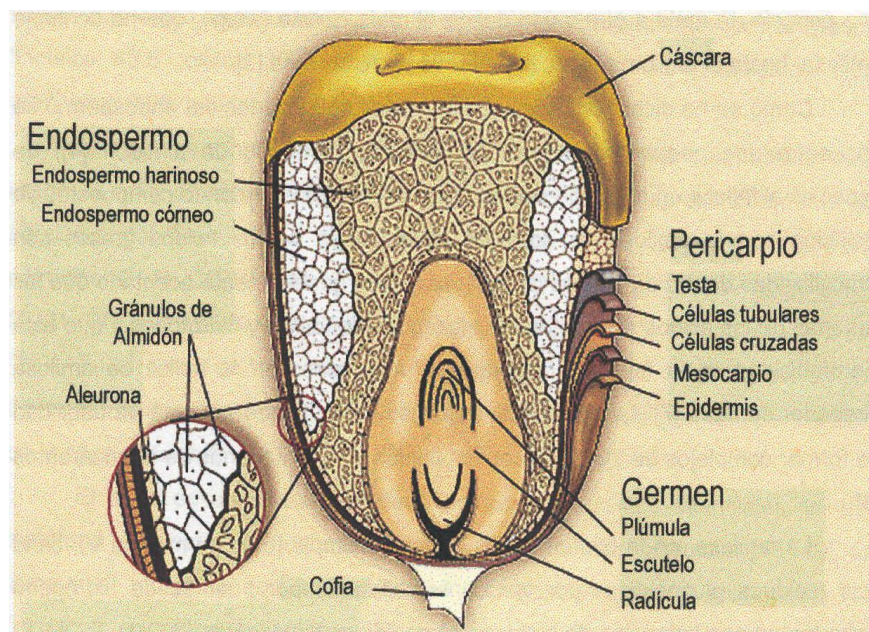


Figura 1 Cortes longitudinal y transversal de un grano de maíz.
Fuente: Hoseney (1991), con modificaciones.

En promedio, la cofia es la estructura con menor porcentaje en el grano, representando un 0.8%; sin embargo, a pesar de ser minoritaria, es útil durante el desarrollo de la planta. El pericarpio, como su nombre lo indica, se encuentra en la periferia del grano. La estructura de mayor porcentaje es el endospermo, el cual rodea al germen; esta estructura se divide en

endospermo harinoso y endospermo vítreo. El germen es el segundo componente mayoritario del grano entero, es el corazón del maíz, el cual tiene un alto contenido de grasas, siendo la estructura que se utiliza para extraer el aceite del cereal (Klaus y Karel, 1995).

La composición general promedio del grano de maíz y de sus diferentes partes se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Composición química de los componentes principales del grano de maíz

Estructura	Composición (%)				
	Almidón	Grasa	Proteína	Cenizas	Azúcares
Endospermo	87.6	0.8	8	0.3	0.62
Germen	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
Pericarpio	7.3	1	3.7	0.8	0.34
Cofia	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6
Grano entero	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9

Fuente: Watson y Ramstad (1987)

1.1.2.1 Cofia

La cofia es la parte minoritaria del grano de maíz, cuya estructura cónica y fibrosa mantiene al grano unido con el olote; a través de la cofia o punta, se transportan los nutrientes que el grano necesita durante la etapa de crecimiento (Klaus y Karel, 1991). La cofia está compuesta por células en forma de estrella, arregladas en una estructura esponjosa para una rápida absorción de humedad (González, 1995). Inmediatamente, la cofia se expone como una capa café oscura conocida como capa negra que tiene una probable función de sellado de la pintura al grano, y sirve como barrera que protege al grano contra la invasión de insectos y microorganismos. La aparición de esta capa coincide con la madurez fisiológica del grano para suspender el paso de los nutrientes al interior (Klaus y Karel, 1991).

1.1.2.2 Pericarpio

Es la estructura más externa de la semilla, es una membrana delgada transparente, casi invisible. Se adhiere firmemente a la superficie externa de la capa de aleurona y es impermeable al agua. El cereal completamente hidratado muestra efectos de presión osmótica sobre la transferencia entre el agua pura y soluciones salinas (Watson y Ramstad, 1987). El pericarpio está formado por diferentes capas: la testa, que es la capa más exterior de la semilla, imparte propiedades semipermeables al grano. Después se encuentra la capa de células tubulares, la cual es una hilera de tubos longitudinales con una distribución grande de espacio intercelular, presionando fuertemente a la testa que comunica directamente toda la superficie del endospermo. Posteriormente la capa de células cruzadas, su característica distintiva son los cruces de capas. Ésta se encuentra cubierta por una capa conocida como mesorcapio, que representa aproximadamente el 90% de la masa total del pericarpio. Finalmente la capa más externa del pericarpio es la epidermis, formada por una capa cerosa que le permite retardar el intercambio y le da brillo al grano (Watson y Ramstad, 1987).

1.1.2.3 Endospermo

Representa la mayor parte del grano, está comprendido por células alargadas empacadas en gránulos de almidón de 5-30 μ empotrados a una matriz proteínica (Watson y Ramstad, 1987).

El endospermo está constituido por tres regiones, la más externa se encuentra adherida a la capa de aleurona y se conoce como endospermo periférico o almidonoso y que corresponde a una parte mínima. Existen otras dos regiones visuales y físicas conocidas como endospermo duro o translúcido, se encuentra a los lados del grano compuesto por un denso paquete de gránulos de almidón comprimidos en forma poliédrica, de aspecto translúcido y rodeados por una matriz de proteína gruesa; mientras que el endospermo suave u opaco rodea la fisura central del grano, compuesto de gránulos de almidón esféricos, los cuales están rodeados por una matriz proteínica más delgada. La opacidad es debida a la refracción de la luz sobre bolsas de aire alrededor de los gránulos de almidón (González, 1995).

1.1.3 Germen

El desarrollo del germen es más lento que el del endospermo (Kiassebalch y Walter, 1952). A catorce días después de la polinización, el embrión o germen es una masa de células que no muestran líneas de una futura división. El depósito de lípidos en forma de cuerpos grasos comienza en el escutelo aproximadamente a los veintidos días después de la polinización y continúa en un estado estático de madurez. Cuando el grano se aproxima a la madurez, las paredes celulares del *escutelo* son pequeña y apreciably. Después de que la síntesis de proteínas y almidón termina, el depósito de lípidos puede continuar a pesar de que la planta muere. El contenido de RNA y DNA incrementa en la madurez del embrión, eficientemente la rápida producción de enzimas durante la germinación. Todos los triglicéridos en el *escutelo* del maíz están contenidos en cuerpos grasos, los cuales tienen propiedades similares a una variedad de semillas (Huang, 1992). El aceite es sintetizado en la superficie del retículo endoplasmático rugoso (Napier *et al.*, 1996).

1.1.4 Composición química del grano

Los principales componentes químicos del maíz son: almidones, proteínas y lípidos, además también contiene cantidades menores de fibra cruda, azúcares, minerales y otras sustancias orgánicas como vitaminas liposolubles. Existe un número considerable de datos sobre la composición química del maíz y múltiples estudios han sido llevados a cabo para tratar de comprender y evaluar las repercusiones de la estructura genética del número relativamente elevado de variedades de maíz existentes en su composición química, así como la influencia de los factores ambientales, las prácticas agronómicas en los elementos constitutivos químicos, en el valor nutritivo del grano y sus partes anatómicas. La composición química tras la elaboración para el consumo es un aspecto importante del valor nutritivo, y en ella influyen la estructura física del grano, factores genéticos y ambientales, la elaboración y otros eslabones de la cadena alimenticia.

Como se muestra en la tabla 3, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra curda. El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Tabla 3 Composición química proximal de las partes principales de los granos de maíz.

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8	18.4
Extracto etéreo	1	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: FAO, 1993

El germen se caracteriza por un elevado contenido de grasa cruda. El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz, depende en medida considerable del endospermo; el de grasa cruda en menor medida, proteínas y minerales, del germen. La fibra cruda del grano se encuentra fundamentalmente en la cubierta seminal (FAO 1993).

La información de la cual se dispone sobre la composición química general del maíz es abundante y permite conocer que la variabilidad de cada uno de sus principales nutrientes es muy amplia. La variabilidad observada es tanto genética como ambiental y puede influir en la distribución ponderal y en la composición química específica del endospermo, el germen y la cáscara de los granos (FAO 1993).

1.1.4.1 Almidón

El mayor componente químico del grano de maíz es el almidón (Watson y Ramstad, 1987). Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades de varían del 1 al 3% del grano (FAO, 1993). El almidón está constituido por dos tipos de moléculas; un polímero lineal que es la amilosa y un polímero ramificado, que es la amilopectina, estas difieren en cuanto a peso molecular y estructura química (Whistler *et al.*, 1984). La composición de almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa, constituye hasta el 25-30% del almidón y la amilopectina que constituye hasta el 70-75% del almidón (FAO, 1993).

1.1.4.2 Proteínas

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano (FAO, 1993). Las proteínas son prolímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos (Lenninger, 1980).

El contenido proteico está influenciado por la disponibilidad de sólidos nitrogenados (Watson y Ramstad, 1987). En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18% 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 I o zeína I soluble en isopropanol al 55% representa aproximadamente el 42%, y el restante 10% es prolamina 2 o zaina 2 (FAO, 1993).

La calidad o valor biológico de las proteínas se determina por el contenido de aminoácidos. De los aminoácidos comúnmente constituyentes de la proteína natural comestible, ocho no se sintetizan en el cuerpo humano pero son esenciales para las funciones metabólicas normales en adultos. Los aminoácidos esenciales son: lisina, triptófano, fenilalanina, metionina, leucina, isoleucina, treonina y valina. El aminoácido más deficiente en todos los cereales es la lisina, y enseguida en el maíz es el triptófano (Stoskopf, 1985).

El maíz con alto contenido de proteínas 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. La amplitud del cambio varía y en ella influyen 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.

La calidad nutritiva del maíz como alimento viene determinada por la composición de aminoácidos de sus proteínas. En la tabla 4 se indican los valores representativos de los aminoácidos, tanto del maíz común como del QPM.

Tabla 4 Contenido de aminoácidos del maíz.

Aminoácidos	Cuyuta (blanco)	SSD (blanco)	TGY (amarillo)	142-48 (amarillo)	4251 (híbrido)	HO (blanco)	H5 (amarillo)	HP (blanco)	QPM duro	QPM blando	Modelo FAO/OMS
(Nitrógeno)	1,28	1,37	1,57	1,83	1,31	1,99	2,24	2,91	1,74 ^c	1,71 ^d	-
Acido aspártico	6,5	5,8	6,1	6,0	6,2	6,0	6,8	6,1	8,7	8,9	-
Acido glutámico	15,4	14,0	13,5	15,0	14,6	13,9	12,4	12,8	19,8	19,2	-
Alanina	7,5 ^a	12,5	10,3	8,6	8,9	6,4	10,8	9,9	-	-	-
Arginina	3,5	3,6	4,1	2,9	3,9	4,6	3,6	3,9	6,3	6,7	-
Cistina	1,4	1,4	1,4	1,6	1,6	1,5	1,2	1,4	2,2	1,9	-
Fenilalanina	4,4	4,6	4,4	5,4	4,5	2,9	5,3	5,7	5,2	4,1	6,0 ^d
Glicina	3,1	2,8	2,9	2,6	3,3	3,4	2,6	2,8	4,6	4,6	-
Histidina	2,1	2,0	2,2	2,1	2,8	2,3	2,0	2,2	3,7	3,6	-
Isoleucina	2,6	2,7	3,4	3,0	3,3	3,5	3,7	4,0	3,5	3,5	4,0
Leucina	10,5	12,0	12,2	13,4	12,2	7,8	13,6	15,2	9,1	8,7	7,0
Lisina	2,8	2,1	2,6	2,3	2,9	3,2	2,1	2,0	4,5	4,4	5,4
Metionina	1,3	1,2	1,0	1,0	1,6	1,2	1,7	1,1	1,7	1,8	3,5 ^c
Prolina	8,1	7,4	6,6	9,6	10,3	9,3	8,3	6,8	8,4	8,1	-
Serina	4,5	4,2	4,6	4,5	4,6	4,8	5	5,5	4,3	4,5	-
Tirosina	2,9	3,0	3,0	3,3	3,4	3,5	3,6	4,1	3,7	3,7	-
Treonina	3,1	2,9	3,1	3,0	3,3	3,2	3,1	3,3	3,6	3,7	4,0
Triptofano	0,63	0,47	0,51	0,44	0,49	0,56	0,43	0,44	0,9	1,0	1,4
Valina	4,1	4,1	4,3	4,0	4,6	2,1	4,3	4,6	5,4	5,3	5,0

Fuente: FAO, 1993

HO: maíz con elevado contenido de aceite.

H5, HP: maíz con elevado contenido de proteínas.

^a Porcentaje de proteínas crudas (N x 6.25). g/16 g N.

^b Descascarado.

^c Total de aminoácidos azufrados.

^d Total de aminoácidos aromáticos.

En la tabla anterior se observa en el maíz común (Tuxpeño (Modelo FAO/OMS)), la carencia de lisina y triptófano, en relación con el QPM. Otro rasgo importante es el elevado contenido de leucina del maíz común y el bajo contenido de este aminoácido en el QPM (FAO.1993).

1.1.4.3 Lípidos y ácidos grasos

El aceite del grano está principalmente en el germen (FAO, 1993). Con lo que respecta a lípidos, en el grano de maíz, estos varían del 3 al 18% del grano entero, del cual el 83% proviene del germen. Los lípidos del maíz se encuentran principalmente como triglicéridos de ácidos grasos y los principales son el ácido linoléico, con un valor promedio del 24% y palmítico 12%. (Inglett, 1970). El aceite del maíz contiene bajos niveles de ácidos grasos saturados, ácido palmítico (11 %) y ácido esteárico (2 %). También (< 1%) ácido láurico, mirístico, palmitoléico, aracídico, behénico, erúcico y lignocérico se han encontrado en el aceite de maíz (Watson y Ramstad, 1987).

1.1.5 Fibra

Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la cofia, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen (FAO, 1993). El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz se indica en el tabla 5.

Tabla 5 Fibra soluble e insoluble del maíz Tuxpeño y blanco dentado.

Tipo de maíz	Fibra dietética		
	Insoluble	Soluble	Total
De sierra	10,94 ± 1,26	1,25 ± 0,41	12,19 ± 1,30
De tierras bajas	11,15 ± 1,08	1,64 ± 0,73	12,80 ± 1,47

Fuente: FAO, 1993

1.1.5.1 Otros carbohidratos

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3 %, y la sacarosa, el elemento más importante, que se encuentra esencialmente en el germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. Doce días después de la polinización, el contenido de azúcar es relativamente elevado, mientras que el de almidón es bajo. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón (FAO, 1993).

1.1.5.2 Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1.3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. 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 fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90% en el maíz. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de Ca y de oligoelementos (FAO, 1993).

1.1.5.3 Vitaminas

Las vitaminas comprenden un grupo diverso de compuestos orgánicos que son desde el punto de vista nutritivo, micronutrientes esenciales. Estos componentes son cuantitativamente los componentes minoritarios de los alimentos (FAO, 1993), incluyendo el maíz (FAO, 1993).

❖ Liposolubles

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A, o carotenoide, y la vitamina E mostradas en la figura 6. Los carotenoides se encuentran en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente. La mayoría de los carotenoides se localizan en el endospermo duro y únicamente pequeñas cantidades en el germen. El β -caroteno es una fuente importante de vitamina A, aunque no totalmente aprovechada porque los seres humanos no consumen tanto maíz amarillo como blanco. El contenido de criptoxantina equivale al 51% del total de carotenoides. Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de β -caroteno en vitamina A (FAO, 1993).

La otra vitamina liposoluble, la vitamina E, que es objeto de regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el α -tocoferol; aunque el γ -tocoferol es probablemente más activo como antioxidante (FAO, 1993).

Tabla 6 Contenido de vitaminas y algunos minerales del grano de maíz entero por 100g

	Tablas alemanas ¹	HBN 8 ²	INCAP ³	ILSI ⁴
Promedio + DE				
Vitaminas Liposolubles				
Carotenos totales (µg)	1290 (440-1330)		640-1130	ND
β Caroteno (µg)	939 (74-960)	97	326-576	ND
Criptoxantina (µg)	370		ND	ND
α Caroteno (µg)	-	63	66-116	ND
Vit. A (µg Eq. R)	184 (43-190)	11 µg EqA R	ND	-
Carotenos no provitamina A: Luteína + Zeaxantina (µg)	2690	1355	ND	ND
tocoferoles totales (mg)	6.61 (2.01-9.92)	2.28	ND	-
α tocoferol (mg)	1.5 (0.2-1.9)	0.42	ND	-
β tocoferol (mg)	-	0	ND	-
ξ tocoferol (mg)	-	1.86	ND	-
Vit. E (mg Eq.)	2.01 (0.36-2.74)	0.61	ND	0.88 (0.15-6.1)
Vit. K (µg)	40	0.3	ND	ND
Vitaminas Hidrosolubles				
Vit. B1 (mg)	0.360 (0.2-0.6)	0.385±0.052	0.43	0.33 (0.14-0.47)
Vit. B2 (mg)	0.2 (0.1-0.24)	0.201 ± 0.034	0.1	0.10 (0.07-0.16)
Vit. B6 (mg)	0.4	0.3 ± 0.04	-	0.56 (0.40-0.64)
Niacina (mg)	1.5 (1-2)	3.6 ± 0.54	1.9	1.86 (1.34-3.16)
Ac. Fólico (µg)	26 (20-40)	25	ND	54 (29-98)
Minerales				
Sodio (mg)	6 (1-10)	35 ± 6	ND	17 (13.5-19.8)
Potasio (mg)	330 (310-350)	287 ± 10	ND	339 (266-418)
Calcio (mg)	15 (10-19)	6 + 1	9	4 (3-6)
Fósforo (mg)	256	241 ± 9	290	299 (229-376)
Magnesio (mg)	120	127 ± 19	ND	115 (83-140)
Hierro (mg)	(0.5-2.4)	3.5 + 0.4	2.5	1.9 (1.4-2.4)
Zinc (mg)	2.5	1.82 ± 0.1	ND	2.1 (1.5-2.8)
Cobre (mg)	0.07-0.25	0.2 ± 0.02	ND	0.15 (0.06-0.27)

Fuente: Pita Martín de Portela, 2006

ND: No Detectado

¹ Souci. Fachmann. Kraut. Food Composition and Nutrition Tables. 5th ed. Medpharm, Scientific Publisher. Stuttgart, 1994.² Agriculture Handbook no. 8. USDA Nutrient Laboratory, 1998. Datos de maíz amarillo.³ INCAP. Tabla de composición de alimentos para uso de América Latina. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Guatemala, 1975.⁴ ILSI Crop Composition Database. Datos de maíz entero, proveniente de cultivos argentinos de las provincias de Buenos Aires y de Córdoba, años 1999 y 2001. www.crcpcomposition.org

❖ **Hidrosolubles**

Las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en la capa de aleurona del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Esta distribución tiene importancia al elaborar el cereal. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavinina en el grano del maíz; su contenido está determinado en mayor medida por el medio ambiente y las prácticas de cultivo que por la estructura genética, aunque se han encontrado diferencias en el contenido de estas vitaminas entre las distintas variedades. La vitamina soluble en agua a la cual se han dedicado más investigaciones es el ácido nicotínico, a causa de su asociación con la deficiencia de niacina, lo que produce la enfermedad conocida como pelagra, la cual es muy común en las poblaciones que consumen grandes cantidades de maíz. Al igual que sucede con otras vitaminas, 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. La asociación de la ingesta de maíz con la pelagra se debe a los bajos niveles de niacina del grano, aunque se ha demostrado experimentalmente que también son importantes los desequilibrios de aminoácidos, por ejemplo la proporción entre la leucina y la isoleucina, y la cantidad de triptófano asimilable (FAO, 1993).

El maíz no tiene vitamina B₁₂ como se observa en la figura 6 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades (en algunos casos) de ácido ascórbico. Otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en bajas concentraciones (FAO, 1993).

1.1.6 Importancia del maíz en la alimentación en México

El maíz tuvo una gran importancia desde el punto de vista alimenticio para casi todas las comunidades indígenas americanas anteriores al descubrimiento de aquel continente por los europeos. Hay indicios arqueológicos e históricos de que el maíz fue la base de la alimentación de la América precolombina, desde las tierras del actual Canadá hasta la Patagonia (Llanos, 1984).

En México, la planta se aprovecha íntegramente desde los más remotos tiempos (Torres *et al.*, 1996), la planta del maíz ofrece su caña verde como golosina, y para preparar bebidas fermentadas; las hojas, también verdes, sirven para envolver los tamales hechos de masa de maíz; los elotes, se desgranar y se convierten en sopas, esquites y otros guisos; pueden cortarse en trozos y son parte de los pucheros y los moles de olla. De un maíz especial, el cacahuacintle, se elaboran los pozoles de la costa de Guerrero, Michoacán y Jalisco. Molido da por resultado atoles, nieves, tortas de elote y uchepos o tamales de maíz tierno, como tiernas son las hojas con las que se envuelven para cocerse. En temporada, se suele hervir los elotes enteros o tatarlos (Barros y Buenrostro, 1997).

Ya convertidos los elotes en mazorcas, semisecos, se martajan y hasta su infección resulta benéfica, que da por resultado las sopas de huitlacoche, convertido hoy en finísimo alimento (Lomelí, 1996). Los granos tostados y garapiñados reciben el nombre de ponteduro.

Con harina de maíz seco, se preparan tamales, galletas, alfajores, gorditas, pemoles. Si se tuesta, puede convertirse en pinole endulzado con azúcar o piloncillo y aún añadirse cacao. El pinole, a su vez puede convertirse en bebida o en harina para hacer repostería. También se producen bebidas alcohólicas como la chicha andina, bourbon, whisky y otros aguardientes (Lomelí, 1996). Además, industrialmente se hace fécula de maíz y se producen edulcorantes y jarabes (Flores, 2004).

La nixtamalización permite que por el efecto de la cal se desprenda el pericarpio, los granos se digieren mejor y aumenta el valor de los nutrientes, en especial de la niacina (Barros y Buenrostro, 1997).

1.1.7 Maíz biofortificado para Provitamina A

La biofortificación es el mejoramiento del contenido nutricional y de las propiedades agronómicas de cultivos a través del fitomejoramiento convencional. Es decir, se hacen

cruzas entre diferentes variedades de la misma especie para lograr nuevas variedades con las características de interés (Muñoz *et al.*, 2008).

La deficiencia de vitamina A afecta a millones de personas, especialmente niños, en todo el mundo. La falta de vitamina A puede retardar el crecimiento, causa ceguera y aumenta el riesgo de enfermedades (Harvestplus, 2010).

Con los cultivos biofortificados, se espera aumentar la ingesta nutricional en aquellas personas que más consumen maíz y que tienen mayor riesgo de padecer deficiencias nutricionales.

Varios factores influyen en el impacto nutricional que pueden tener los cultivos biofortificados: la producción y consumo de variedades no-biofortificadas; el aporte nutricional de variedades biofortificadas en la dieta es un punto fundamental, ya que al contener una mayor cantidad de nutrientes es más fácil alentar a los agricultores para sembrar maíz biofortificado en los terrenos de las familias, ya que si no se adaptan correctamente, las familias agrícolas no tendrán razón para sembrarlas frente a otras variedades que se comportan bien agrónomicamente; por otro lado, la aceptabilidad sensorial de variedades biofortificadas, también es otro factor relevante para la aceptación del mismo, ya que una variedad que no genera positivas respuestas organolépticas a los consumidores, tendrán menos posibilidades de mantenerse en la minuta familiar; sin los mecanismos existentes para la distribución de semilla no se puede sembrar y nadie podrá consumir las variedades biofortificadas (Muñoz *et al.*, 2008).

1.2 Generalidades de los carotenos

1.2.1 Definición

Los carotenos son pigmentos orgánicos, los cuales se producen predominantemente (pero no exclusivamente) por organismos fotosintéticos. En plantas, su presencia se identifica por el fuerte color de las flores, frutas y órganos de almacenamiento del amarillo al rojo en el espectro (Farré *et al*, 2010). El nombre caroteno proviene del término latino *carota*, que específicamente se ha utilizado como epítelo en la dominación científica de la zanahoria, *Daucus carota*.

Químicamente los carotenoides son terpenoides, formados básicamente por ocho unidades de isopreno, de tal forma que la unión de cada unidad se invierte 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 podemos distinguir dos grupos: los carotenos, que son hidrocarburos, y las xantofilas, que poseen oxígeno en su molécula (Meléndez-Martínez *et al*, 2004; Faulks y Southon, 2005).

1.2.2 Clasificación y nomenclatura

Químicamente se clasifican como terpenoides y se consideran biosintéticamente derivados del ácido mevalónico. Los carotenoides son los únicos terpenoides conocidos. Están formados básicamente por ocho unidades de isopreno, de tal forma que la unión de cada unidad se invierte en el centro de la molécula (Mínguez, 1997). 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 (Martínez, 2003).

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 *et al.*, 2008). Los derivados hidroxilos pueden existir en estado libre o esterificados con ácidos grasos.

Su estructura química consta de un esqueleto de 40 carbonos conformadas por unidades isopereno (Faulks y Southon, 2005; Salinas *et al.*, 2008). Se dividen en dos grandes grupos: los carotenos, que son estrictamente hidrocarburos y las xantofilas, que contienen oxígeno (Martínez, 2003; Mínguez, 1997).

Las xantofilas (Figura 2), se forman inicialmente por hidroxilación de carotenos y la mayoría de los tejidos de las plantas contienen trazas de precursores monohidroxílicos como criptoxantina, y de xantofilas dihidroxílicas como zeaxantina o luteína. Posteriormente reacciones de oxidación conducen a la formación de epóxidos, como violaxantina, y de cetonas, como el capsantina. El neoxantina es un extraño ejemplo natural de carotenoide con grupo aleno.

Exceptuando los apocarotenos ácidos, los cuales forman sales solubles en agua en condiciones alcalinas, los carotenoides sólo son solubles en disolventes 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 transducirla 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, los colores naranja de la zanahoria y rojo del tomate, se deben a la presencia de β -caroteno y licopeno, respectivamente (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

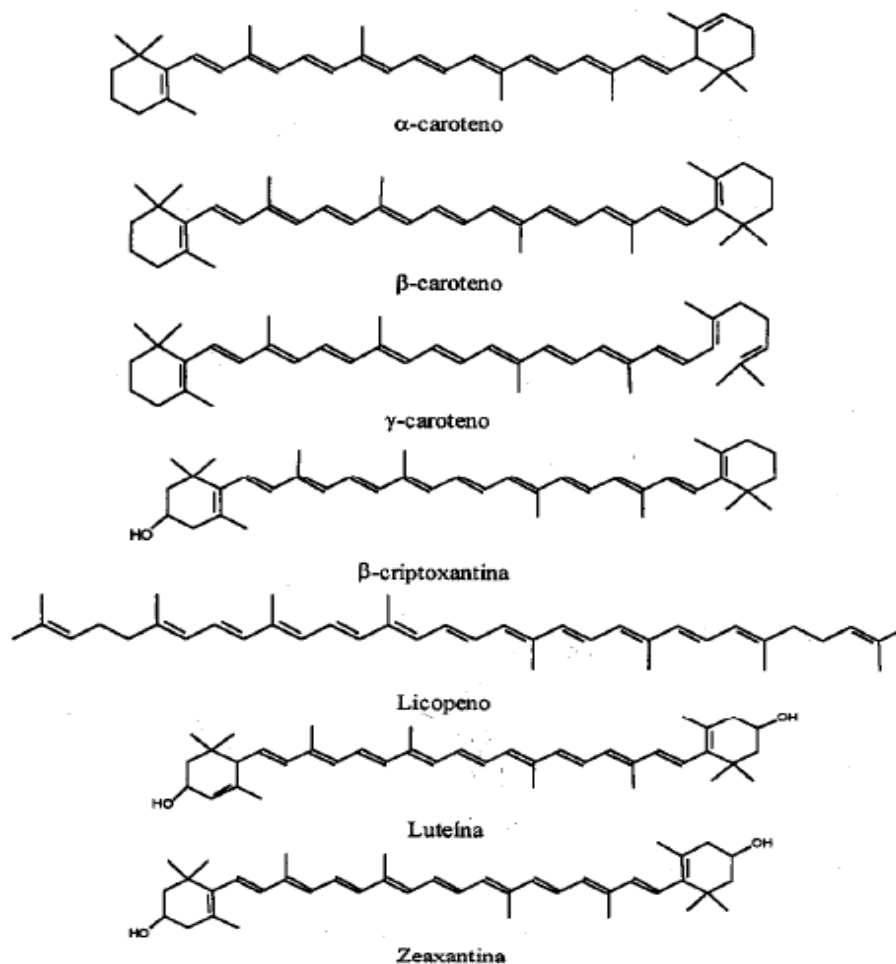


Figura 2 Estructura de algunos carotenoides (Mínguez, 1997)

Debido a su estructura, los carotenoides están sujetos a muchos cambios químicos inducidos por las distintas condiciones de procesamiento que se emplean en la industria alimentaria. Por ello, desde un punto de vista nutricional, es de gran importancia conocer los factores que intervienen en la degradación de estos compuestos, ya que su pérdida, además de producir cambios en el color del alimento, conlleva una disminución de su valor nutritivo (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

1.2.3 Distribución y estado natural

Los carotenos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, en bacterias y muy poco se han reportado en animales (por ejemplo, los colores rojizos de las plumas del

flamingo son debidos a la cantaxantina), y particularmente invertebrados marinos como las esponjas, estrellas de mar, pepinos de mar, erizos de mar y otros. En los animales superiores el β -caroteno es un requerimiento dietario esencial pues es precursor de la vitamina A (Martínez, 2003).

Se conocen más de 600 carotenoides, y se les encuentra en forma libre, como ésteres de ácidos grasos o como glicósidos, presente en la dieta de los humanos. Sin embargo, los glicósidos carotenoides son muy raros, un ejemplo de estos últimos es la crocina (Martínez, 2003; Faulks y Southon, 2005; Thankkar y Failla, 2008).

Los carotenoides junto con los flavonoides y las clorofilas, son los pigmentos vegetales más distribuidos. En especial existen carotenoides que confieren coloraciones amarilla, naranja, roja y violeta a tejidos vegetales y algunos órganos animales (Martínez, 2003). La distribución de los carotenos entre los distintos grupos de plantas no presenta un patrón único (Mínguez, 1997).

En verduras, el contenido de carotenoides sigue el modelo general de los cloroplastos de todas las plantas superiores, siendo β -caroteno el dominante (Mínguez, 1997), normalmente constituye entre el 25-30% del contenido total de carotenoides en las plantas (Martínez, 2003), además de ser un importante precursor de la vitamina A, ya que es un nutriente esencial para los animales superiores (Salinas *et al.*, 2008). La luteína es la xantofila más abundante (40-45%), pero siempre se encuentra en menor proporción que el β -caroteno (Martínez, 2003). En pequeñas cantidades se encuentra zeaxantina, γ -caroteno, criptoxantina y anteroxantina (Mínguez, 1997).

En el reino animal, los carotenoides son incorporados a través de la dieta y almacenados en el tejido adiposo sin ninguna transformación (Mínguez, 1997). También se encuentra en altas concentraciones en el hígado de animales (cerdo, ovino, pollo, vacuno), aceite de hígado (bacalao, halibut, salmón, tiburón), esperma de ballena, aceite de palma, coninabo, diente de león verde, hierbabuena, nabos y perejil. En concentración media, están presentes en leche en polvo, mantequilla, margarina, nata, queso, yema de huevo, anguila, pescado

blanco, albaricoque, cerezas, mango, melocotón, melón, nectarinas, achicoria, berros, boniatos, brócoli, calabaza, cebollín, col rizada, endibias, hinojo, lechuga, mostaza, remolacha y tomates. En concentraciones muy bajas, se puede encontrar en leche, almejas, arenques, carpa, ostras, salmón, sardinas, aceitunas, avocados, ciruelas, clementina, frutos de grano (grosella, zarzamora, etc.), naranja, pasas de Corinto, piña, plátano, ruibarbo, uvas, alcachofas, apio, coles de Bruselas, espárragos, guisantes, judías, lentejas, maíz, nabos, pepinos, pimienta, repollo, avellanas, cacahuates, nueces y pistachos (Illera *et al.*, 2000)

El maíz, es un alimento básico con el cual se puede combatir la deficiencia de vitamina A, en la mayoría de las poblaciones de escasos recursos. En variedades de maíces criollos, los carotenoides precursores de la provitamina A contienen α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina, pero en concentraciones muy bajas, con rangos que van de 0-1.3, 0.13-2.7 y 0.13-1.9 nmol/g, respectivamente. Los continuos esfuerzos por crear un maíz con alto contenido de Provitamina A, ha dado como resultado, variedades con 9-17 nmol/g en total de carotenoides con provitamina A, principalmente β -caroteno (Howe y Tanumihardjo, 2006). En la tabla 6, se muestran las concentraciones de los principales carotenoides contenidos en harina de maíz.

Tabla 7 Concentración de carotenoides en harina de maíz

Harina de maíz	Concentración de carotenoides ($\mu\text{g/g}$)			
	LUTEINA	ZEAXANTINA	β -CRIPTOXANTINA	β -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 oscuro	13.2 \pm 0.23	7.9 \pm 0.51	2.4 \pm 0.05	9.0 \pm 0.12

Fuente: Takkar y Failla, 2008

¹ Valores medios \pm DS

** ND, no detectado.

1.2.4 Biosíntesis

El metabolismo, se divide en dos partes, una de ellas es la biosíntesis, la cual es la encargada de la síntesis de moléculas orgánicas complejas, a partir de otras más sencillas o

de nutrientes, las cuales requieren de energía. Los carotenoides son tetraterpenoides (terpenoides con 40 átomos de carbono) que se derivan biosintéticamente del ácido mevalónico a través de dos unidades C20 de geranyl-geranylpirofosfato (GGPP), llamada biogénesis de los terpenoides (figura 3), la cual se puede dividir en cuatro etapas generales (Martínez, 2003), que son:

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

Etapla 2: Isomerización del IPP a dimetilalilpirofosfato (DMAPP), adición repetitiva de IPP y DMAPP.

Etapla 3: Elaboración de moléculas de prenilpirofosfato.

Etapla 4: Modificaciones enzimáticas de los esqueletos.

La primera etapa en la vía que conduce a los carotenoides es la formación de fitoeno por la enzima fitoeno sintetasa y a partir de aquí, a través de otros intermedios, que son isomerizados hasta llegar al todo-trans licopeno. Desde éste carotenoide todo abierto, se producen ciclaciones y funcionalizaciones que conducen a otros carotenoides como alfa, y delta-caroteno, luteína, crocetina, etc. La formación de retinol (vitamina A), responsable del proceso de visión, tiene lugar a partir los carotenoides por intervención de una beta-caroteno monooxigenasa que divide a la molécula de 40 carbonos mediante una oxidación central (Engelmann *et al.*, 2011).

1.2.5 Retención de carotenos en alimentos

Cuando un alimento se somete a un proceso determinado, se pretende conseguir un producto seguro y con una vida útil prolongada, pero, al mismo tiempo, ha de intentarse que las pérdidas de nutrientes, que siempre van a existir, sean mínimas (Ordoñez *et al.*, 1998). Los carotenoides son pigmentos estables en su ambiente natural, pero cuando los alimentos se calientan, o cuando son extraídos en disolución, en aceites o en disolventes orgánicos, se vuelven mucho más lábiles. Además, el calor en general aumenta la velocidad de todas las reacciones, siendo más rápidos los procesos degradativos (Mínguez, 1997).

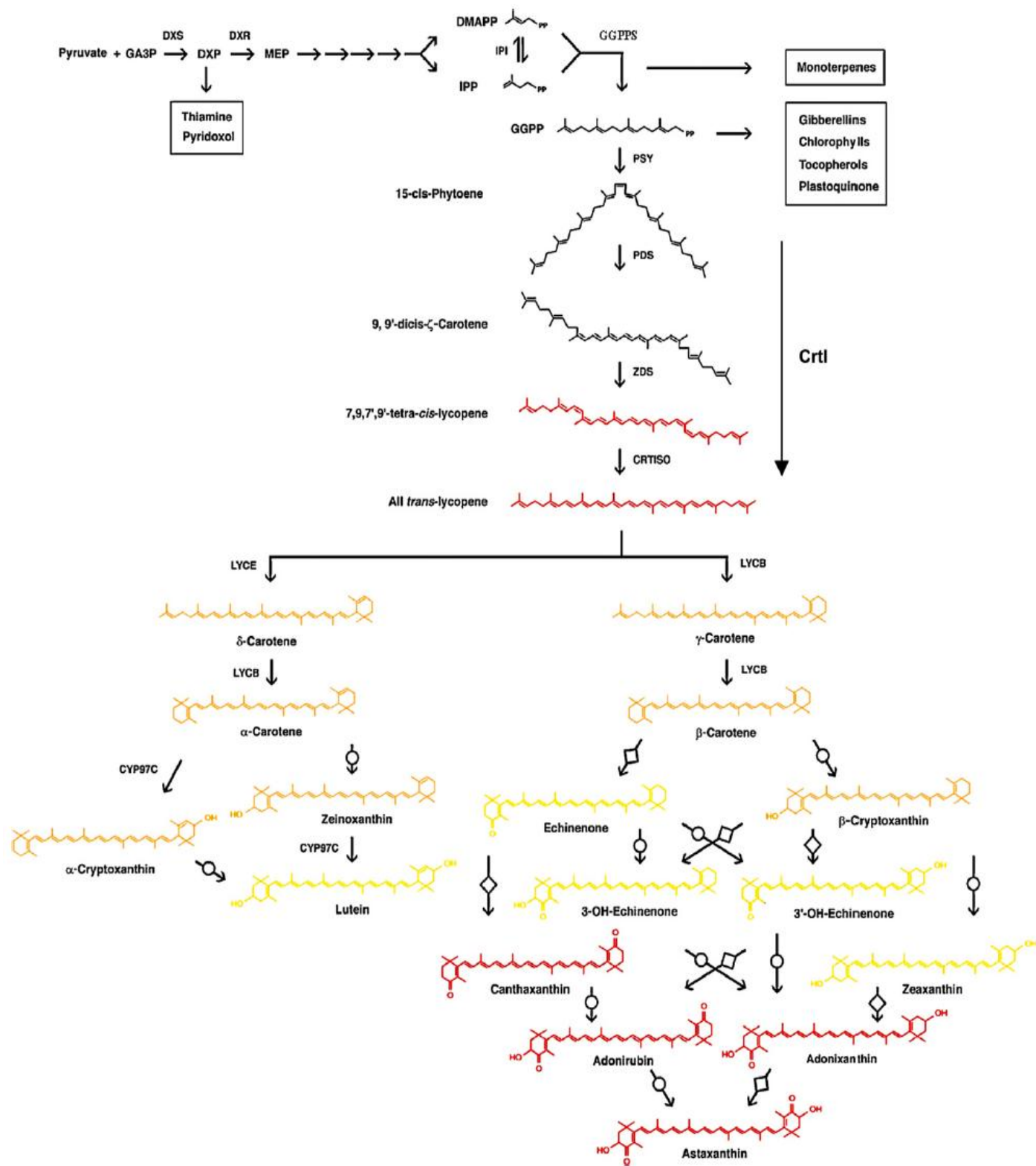


Figura 3 Biogénesis de terpenoides

Así, se ha comprobado que los procesos de oxidación son más acusados en el momento que se pierde la integridad celular, de forma que en alimentos vegetales triturados, la pérdida de compartimentación celular pone en contacto sustancias que pueden modificar estructuralmente, e incluso destruir los pigmentos. No todos los tipos de cocción afectan en la misma medida a los carotenoides, de forma que la pérdida de estos pigmentos aumenta en el siguiente orden: cocción con microondas, cocción al vapor, hervido o salteado (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

Los carotenoides, excepto algunas excepciones, son insolubles en agua y por lo tanto las pérdidas por lixiviación durante el lavado y procesamiento de frutos son mínimas (Mínguez, 1997). Otros tratamientos empleados en las industrias alimentarias, como por ejemplo el tratamiento a alta presión, parecen no afectar significativamente a los niveles de carotenoides en diversos productos. El escaldado industrial de los alimentos puede producir pérdidas de carotenoides, si bien la inactivación enzimática que produce previene pérdidas posteriores durante el procesado y almacenamiento. En cambio, la congelación, la adición de antioxidantes y la exclusión del oxígeno (vacío, envases impermeables al oxígeno, atmósfera inerte) disminuyen las pérdidas durante el procesado y almacenamiento de los alimentos (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

La destrucción de estos pigmentos reduce el valor nutritivo de los alimentos e induce una decoloración y una pérdida de sus características organolépticas. El grado de decoloración va a depender fundamentalmente de la presencia de agentes oxidantes en el medio (sobre todo oxígeno molecular) y de que se genere energía suficiente para que la reacción de degradación tenga lugar, la cual se aporta en forma de luz o calor (Mínguez, 1997). La reacción de decoloración supone la pérdida de conjugación de la molécula y, en principio, no tiene por qué implicar la rotura del esqueleto hidrocarbonado, por lo que cualquier factor capaz de interrumpir la deslocalización electrónica existente, podría producir pérdida de color. Si las condiciones oxidantes son débiles y la energía suministrada no es suficiente, se vuelve a restaurar el orbital molecular con la posibilidad de que la estructura adopte la configuración *cis* o *trans*, en función de que haya habido rotación en el enlace. Si las

condiciones son muy severas, el grado de degradación progresa, fragmentándose entonces el pigmento (Mínguez, 1997).

En resumen, puede decirse que los factores que influyen en la degradación de carotenoides en sistemas modelo son varios, como por ejemplo estructura del carotenoide, exposición a la luz, actividad de agua, temperatura, presencia de oxidantes o antioxidantes, presencia de sulfitos, etc. Estos estudios de estabilidad, sin embargo, son más complejos en los alimentos, debido a sus diferencias estructurales y de composición, diferentes tipos de procesados industriales, etc. (Mínguez, 1997).

1.2.5.1 Efecto de la oxidación

La degradación de los carotenoides se debe fundamentalmente a reacciones de oxidación (Mínguez, 1997), ya sean no enzimáticas o debidas a enzimas como las lipoxigenasas, 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 *et al*, 2004). Al igual que con los lípidos, la oxidación de los carotenoides se acelera por la temperatura, la presencia de metales, luz y enzimas y se reduce por la adición de antioxidantes. Los alimentos que contienen antioxidantes, como tocoferoles o vitamina C, conservan mejor los carotenoides y por tanto, su color (Mínguez, 1997).

En los alimentos procesados, el mecanismo de oxidación es complejo y depende de muchos factores. 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 ácidos grasos.

Hasta aquí se ha expuesto la acción del oxígeno, sin embargo también el ozono influye en la estabilidad de los carotenoides. En los últimos años se han realizado una serie de estudios que confirman que la encapsulación de carotenoides los hacen más manejables y estables frente a la oxidación.

1.2.5.2 Efecto de la composición lipídica

Los carotenoides pueden sufrir oxidación acoplada en presencia de lípidos a velocidades que dependen del sistema. El efecto de la composición lipídica ha sido objeto de varios estudios, sobre todo en productos derivados del pimiento rojo, donde se ha demostrado que el cambio del perfil lipídico de un medio poliinsaturado a otro monoinsaturado mejora la estabilidad de los carotenoides.

Existen resultados contradictorios en relación a la influencia del contenido lipídico en la estabilidad de los carotenoides frente a los procesos oxidativos, y que la presencia de otros compuestos en los alimentos podría influir en los resultados.

1.2.5.3 Efecto de la estructura

Las diferencias de estabilidad entre los distintos carotenoides están influenciadas 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 de los carotenos a los hidroxicarotenoides y de estos a los cetocarotenoides. En el caso del β -caroteno, dos de sus dobles enlaces conjugados no son coplanares con la cadena poliénica, de ahí que presente una menor reactividad que el licopeno. La diferencia existente entre la β -criptoxantina y el β -caroteno es la presencia de un grupo hidroxilo en el C3 de aquella, cambio que no implica una importante variación de reactividad con respecto al β -caroteno. Se ha comprobado, en cambio, que cuando cada anillo de β -ionona contiene un grupo hidroxilo (como ocurre en la zeaxantina), dicha variación sí es patente.

La configuración geométrica de los carotenoides implica también diferencias en cuanto a estabilidad de los mismos. En un sistema modelo acuoso el todo-*trans*- β -caroteno es ligeramente más sensible al ozono que el 9-*cis*- β -caroteno, sin embargo, en presencia de oxígeno, éste último isómero es bastante menos sensible a la oxidación. Por otro lado, la estabilidad de los dos isómeros anteriormente citados no difería significativamente en un medio lipídico en caliente. Parece ser que sistemas con 9-*cis*- β -caroteno presentan una menor acumulación de hidroperóxidos y que el isómero 9-*cis* posee una mayor potencia

antioxidante que el todo-*trans*- β -caroteno. Se ha sugerido que la mayor reactividad de la molécula *cis* en relación con los radicales libres es debida a una mayor interferencia estérica entre las dos partes al otro lado del doble enlace *cis*, aunque en la actualidad, no existe una explicación aparente de estas discrepancias (Mínguez, 1997).

1.2.5.4 Efecto de la temperatura

La influencia de la temperatura en la estabilidad de los pigmentos es clara; tanto para reacciones anhidras como hidratadas, siempre actúa como acelerador de la reacción de degradación. Por lo general, los carotenos con mayor actividad biológica son aquellos que tienen todos sus dobles enlaces en forma del isómero *trans*, que se transforman parcialmente en la forma *cis* durante tratamientos térmicos en ausencia de oxígeno; esta reacción de isomerización se puede efectuar durante el proceso de esterilización de productos enlatados, con lo que se pierde parte del poder vitamínico de los carotenos. Estudios recientes revelan que la degradación del β -caroteno y licopeno debida a diferentes condiciones de calentamiento sigue una cinética de primer orden. En cuanto al α -caroteno, parece ser que su degradación como consecuencia de la acción de la luz o el calor, sigue también una cinética de primer orden (Mínguez, 1997). El calentamiento del todo-*trans*- β -caroteno a 50 °C o 100 °C durante media hora no produce grandes pérdidas, si bien cuando la temperatura es de 150 °C las pérdidas si son notorias, habiéndose comprobado que los fenómenos de termoisomerización y fotoisomerización son más acusados en el α -caroteno que en el β -caroteno. Con respecto al licopeno, un estudio reciente ha puesto de manifiesto que como consecuencia del calentamiento de disoluciones modelo de este pigmento a 50, 100 y 150 °C se forman hasta seis isómeros distintos (Rodríguez-Amaya, 1999).

El efecto de diferentes formas de cocinar en los niveles de α - y β -caroteno ha sido evaluado recientemente, comprobándose que a menor tiempo y temperatura de cocción y contacto con agua, mayor es la retención de carotenoides. De entre las distintas formas de cocinado evaluadas (al vapor, cocidas a presión, trituradas, etc), la cocción de las zanahorias en agua y sin presión resultó ser la que producía una mayor retención de los carotenoides estudiados (Mínguez, 1997).

El efecto de la temperatura en los niveles de carotenoides en otros alimentos también está siendo objeto de estudio en la actualidad. El efecto de las altas temperaturas a las que es sometido el tomate durante su procesado industrial en el contenido de estos pigmentos, ha llevado a la conclusión de que la distribución cualitativa de carotenoides en el tomate no procesado y en el producto final, pasta de tomate, era idéntica. El contenido total de todo-*trans*-licopeno en la pasta aumentó considerablemente con respecto a fruto fresco debido, probablemente, a la eliminación de la piel y las semillas y a la evaporación de agua, si bien el contenido de todo-*trans*- β -caroteno en la pasta descendió considerablemente y aumentó el nivel del isómero *cis*, porque el tratamiento térmico favorece los procesos de isomerización. En el caso del licopeno, los niveles del isómero *cis* apenas variaron como consecuencia del procesado (Mínguez, 1997).

1.2.5.5 Efecto de la luz

La acción intensa de la luz sobre los carotenos induce su ruptura con la consiguiente formación de compuestos incoloros de bajo peso molecular. Estas reacciones tienen mucha importancia en la industria alimentaria ya que los carotenos pierden, además de su función biológica de provitamina A, su color característico. Existen investigaciones en las que se estudia la relación existente entre la pérdida de pigmentos, la exposición a la luz y la presencia de ácidos grasos, encontrándose que la insaturación de los ácidos grasos protege en estas condiciones a los pigmentos. Existen estudios que demuestran que la degradación del β -caroteno debida a la iluminación con luz fluorescente sigue un modelo de primer orden, favoreciendo dicha iluminación la formación de 13,15-di-*cis*- β -caroteno. En cuanto al α -caroteno, como ya se ha comentado con anterioridad, la reacción también sigue una cinética de primer orden, siendo la fotoisomerización mayor que en el caso del β -caroteno. El principal isómero que aparece como consecuencia de la iluminación con luz fluorescente es el 13-*cis*- α -caroteno (Mínguez, 1997).

1.2.5.6 Efecto del pH

Aunque los carotenoides extraídos o no son relativamente resistente a valores de pH extremos, los ácidos y álcalis pueden provocar isomerizaciones *cis/trans* de ciertos dobles enlaces, reagrupamientos y desesterificaciones, lo cual debe ser tenido en cuenta a la hora de manipularlos en laboratorio con fines analíticos. Así, por ejemplo, algunas xantofilas

como fucoxantina y astaxantina, son excepcionalmente lábiles al medio alcalino, de ahí que a la hora de analizar fuentes naturales de estos carotenoides se recomienda no saponificar el extracto de pigmentos (Mínguez, 1997).

No obstante, volviendo a la estabilidad de los carotenoides en los alimentos, hay que tener en cuenta que los epoxicarotenoides son muy inestables en medio ácido, lo cual tiene una gran importancia debido a la acidez inherente de algunos alimentos en particular. Este hecho es conocido tanto en la elaboración de zumos como en vegetales fermentados, donde las condiciones ácidas del proceso promueven algunas conversiones espontáneas de los grupos 5,6 y 5',6'-epóxidos a 5,8 y 5',8'-furanoides (Figura 4). En un reciente estudio se ha sugerido que el importante cambio en el perfil de carotenoides del mango como consecuencia del procesado, puede ser debido a estas reacciones. En este estudio se observó que mientras que en la fruta fresca el principal carotenoide era violaxantina, en el producto procesado como zumo dicho carotenoide no se detectaba, aunque sí era apreciable la cantidad de auroxantina, no presente en la fruta fresca. Este hecho podría explicarse como consecuencia de la conversión de los grupos 5,6-epóxido de la violaxantina en 5,8-furanoides de la auroxantina, posiblemente debido a la liberación de ácidos orgánicos del mango durante el procesado industrial (Meléndez-Martínez *et al*, 2004).



Figura 4 Conversión de carotenoides 5,6-epóxidos en 5,8-furanoides

1.2.5.7 Efecto del almacenamiento

Por otro lado, el efecto del almacenamiento sobre los carotenoides va a depender, indudablemente, de las condiciones en las que se lleve a cabo (Meléndez-Martínez *et al*, 2004).

En resumen, la reacción de degradación de los carotenoides, se puede deducir que existe un primer paso de ruptura de conjugación de la cadena hidrocarbonada. La reversión en esta reacción es la responsable de la cadena *cis/trans*. Si el medio es lo suficientemente oxidante o puede aportar energía suficiente para superar el umbral de reacción, ésta progresa hasta compuestos incoloros. En una situación intermedia, se situarían algunos compuestos que probablemente actúen como centros catalíticos como sería el caso de cationes metálicos (Mínguez, 1997).

1.2.6 Beneficio para los humanos

La propiedad que más destaca, por su importancia a nivel fisiológico y dietético en humanos y en otros animales, es que algunos carotenoides presentan actividad de provitamina A. Esta importante cualidad ha llevado a algunos autores a suponer una clasificación de estos según su actividad nutricional (en función a su carácter de provitamina A) y su actividad biológica (antipulcera, anticancerígeno, reguladores inmunológicos, pigmentos, fotosintéticos antena, etc.) (Lee *et al.*, 1999).

Para que estos nutrientes sean de utilidad para el cuerpo humano, deben estar biodisponibles, la biodisponibilidad, es la velocidad y extensión con que una sustancia es absorbida y se hace disponible en el sitio de acción (Lee *et al.*, 1999). En mamíferos, incluyendo humanos, se ha comprobado que los carotenoides ingeridos en la dieta son en parte absorbidos tal cual, y depositados en diversos tejidos, como adiposo y plasma, y en células como eritrocitos y leucocitos. Los carotenoides que se encuentran comúnmente en estos tejidos son α -caroteno, β -caroteno, licopeno, zeaxantina, luteína, cantaxantina y β -criptoxantina (Mínguez, 1997).

La vitamina A es esencial para el sistema óseo, para el crecimiento y desarrollo de los huesos. En el sistema inmune, contribuye en la prevención de enfermedades infecciosas, especialmente del aparato respiratorio, creando barreras protectoras contra diferentes microorganismos; estimula las funciones inmunes, entre ellas la respuesta de anticuerpos y la actividad de varias células producidas por la médula ósea que interviene en la defensa del

organismo como fagocitos y linfocitos; por ello promueve la reparación de tejidos infectados y aumenta la resistencia a la infección (Mínguez, 1997).

En el sistema reproductivo, contribuye en la función normal de reproducción, contribuyendo a la producción de esperma, como así también al ciclo normal reproductivo femenino. Debido a su rol vital en el desarrollo celular, la vitamina A ayuda a que los cambios que se producen en las células y tejidos durante el desarrollo del feto, se desarrollen normalmente (Mínguez, 1997).

El retinol ayuda a mejorar la visión nocturna, previniendo de ciertas alteraciones visuales como cataratas, glaucoma, pérdida de visión, ceguera crepuscular, también ayuda a combatir infecciones bacterianas como la conjuntivitis. Es necesaria para mantener sanos la piel y tejidos superficiales, previniendo el envejecimiento celular y la aparición de cáncer, ya que al ser un antioxidante natural, elimina los radicales libres y protege al ADN de su acción mutagénica. (Mínguez, 1997).

Al comprender mejor el beneficio potencial de los carotenoides, es importante conocer la biodisponibilidad de los alimentos y los factores que determinan la misma, ya que los factores que pueden interferir en cada paso, van a afectar la biodisponibilidad de los carotenoides ingeridos. Para que los nutrientes sean biodisponibles, tienen que pasar por diversas etapas, en la figura 5, se muestra los factores y pasos que interfieren en la absorción de carotenoides.

La distribución en el alimento, constituye el primer paso en la absorción (van het Hof *et al*, 2000), ya que esto da paso a la liberación de los carotenoides del alimento que los contiene, con la finalidad de potencializar la absorción en el tracto intestinal (bioaccesible). La complejidad del proceso, en el cual los carotenoides son convertidos en bioaccesibles, varía desde los carotenoides relativamente simples hasta los encapsulados (Lee *et al*, 1999).

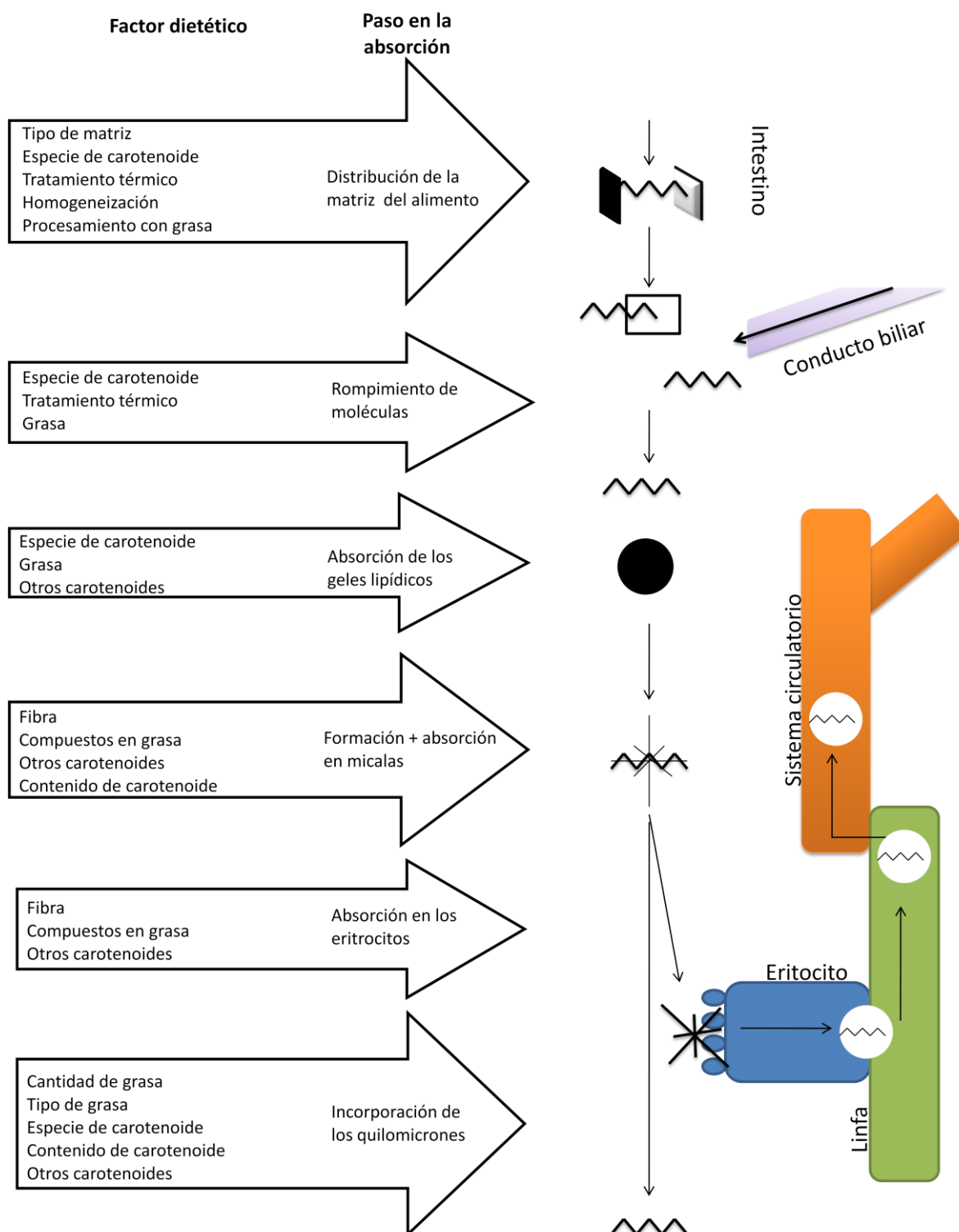


Figura 5 Pasos para la absorción y factores dietéticos que afectan la absorción de carotenoides (van het Hof *et al*, 2000).

En este caso, tanto los alimentos complejos como las partes proteínicas de los carotenos complejos se encuentran en la hoja vegetal, o en forma semicristalina. Tales contenidos hidrofóbicos requieren estar muy cerca de los carotenoides y de los lípidos, aunque esto no es posible cuando se encuentran fuertemente unidos a otros compuestos, también es difícil, ya que la superficie de la emulsión lipídica en ocasiones tiene características interfaciales (superficie con actividad proteínica) o un cambio eléctrico (potencial zeta) que evita el acercamiento (Faulks y Southon, 2005).

La absorción y por consiguiente la bioactividad, comienzan cuando los carotenos son absorbidos sin tener una relación con la parte serosa y se excreta de nuevo al tubo digestivo. La absorción en los humanos es pasiva y parecido al de los lípidos, aunque es mayor la presencia de carotenoides en la mezcla micelar producidas en la digestión de lípidos (principalmente ácidos grasos) y sales biliares. Puesto que los carotenoides son hidrofóbicos, tienen una asociación predominante con los lípidos dominantes de los alimentos y la digestión. Sin embargo, a pesar de su hidrofobicidad natural, no son muy solubles en mezcla de triglicéridos, que son los que comúnmente se encuentran en las propias del alimento (aceite vegetal, grasa animal). La solubilidad estimada para los carotenoides apolares en mezclas de triglicéridos oscila entre 112 y 141 mg/100 g y mientras que la de los polares es de 22-88 mg/100 g (Faulks y Southon, 2005).

La eficiencia de absorción de una dosis relativamente alta de carotenoides (10 mg) con relación a una relativamente baja cantidad de lípidos (10 g), los carotenoides son transferidos a la fase micelar, donde se absorbe en los micelos diasociados, en el borde de los enterocitos, diferente a las sales biliares que no son absorbidas en el tracto gastrointestinal superior (Faulks y Southon, 2005).

En cuanto los carotenoides son absorbidos por los enterocitos, son transportados con los lípidos. En los enterocitos, los ácidos grasos son re-sintetizados en triacilgliceroles, empacado en quilomicrones y secretado dentro del ducto torácico y por consiguiente en la sangre (van het Hof et al, 2000; Faulks y Southon, 2005). Así, los carotenoides son absorbidos nuevamente, apareciendo en una fracción de plasma cilomicron.

Este mecanismo de transporte, es diferente para nutrientes hidrosolubles, los cuales son transportados directamente del hígado a la vena porta, los lípidos y carotenoides entran al aparato circulatorio y así se observan en la primera capa capilares hepática. De esta manera el cilomicron, es reducido de lípido a lipasa lipoproteínica endotelial y el resto es liberado por el hígado. Sin embargo, no se eliminan si durante la remoción de los lípidos del tejido si los carotenoides también viajan por esta ruta o si comienza con el cilomicron permanente para ser liberado por el hígado. En cuanto se acumulan en el hígado, los carotenoides son enviados a las lipoproteínas de baja densidad y esto tiene lugar en las lipoproteínas del plasma, donde no se puede distinguir del plasma endógeno de los carotenoides, a menos que fueran isotópicamente designados.

En general, la dieta principal de carotenos convierte el retinol de los enterocitos en all-trans- β -caroteno (Faulks y Southon, 2005; Howe y Tanumihardjo, 2006). Los carotenoides, al igual que otros nutrientes en el cuerpo, necesitan llegar a su objetivo teniendo suficiente concentración y duración para poder llevar a cabo su rol químico y bioquímico (Faulks y Southon, 2005).

1.3 Generalidades de los alimentos típicos mexicanos

1.3.1 Nixtamalización

El maíz (*Zea mays*), ha estado muy vinculado con el origen y la evolución de grandes civilizaciones. Existen evidencias arqueológicas que muestran que desde el origen de nuestra civilización precolombina el maíz es tratado con cal. En algunas áreas de México y Centro América la nixtamalización se lleva a cabo todavía a nivel del hogar. Es un proceso simple, sin embargo, lleva tiempo y requiere de mucho trabajo y esfuerzo físico, usando cantidades altas de energía, agua y contaminando el ambiente (Rodríguez *et al.*, 2008)

Desde el punto de vista nutritivo, ningún grano por si solo proporciona todos los nutrientes requeridos. En todas las culturas gastronómicas donde estos forman parte de una dieta, instintivamente se ha buscado superar sus limitaciones para eliminar deficiencias y compensar propiedades (Lomelí, 1996).

1.3.2 Proceso

Los procesos de nixtamalización se han realizado de forma tradicional a lo largo de los años; hasta nuestros días. El principio consiste en una hidrólisis alcalina en caliente con cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para reblandecer el pericarpio del grano, pregelatinizar los almidones y eliminar parte del pedicelo y germen (Lomelí, 1996), esto ocasiona una pérdida de sólidos de maíz durante su cocimiento, debido a una extracción de sólidos que se solubilizan o suspenden como partículas que se quedan en la fase acuosa. Se desecha el agua residual llamado, *nejayote* (Contreras, 1996).

El método tradicional de cocción del maíz con cal para la elaboración de sus derivados a nivel rural es un proceso largo, tomando alrededor de 14-15 h y que requiere de una ardua labor. El proceso sigue el diagrama de flujo, este involucra el agregado de una parte de maíz entero y aproximadamente dos partes de solución al 1% de cal.

La mezcla se calienta a 80 °C durante 20 a 45 minutos con alguna agitación, dejándola reposar durante la noche (8–14 h). Al día siguiente el agua de remojo, se descarta y el maíz remojado se lava dos o tres veces con agua limpia, removiendo la cáscara, la cápsula y eliminando el exceso de cal y las impurezas que el grano pudiera tener. Al maíz cocido se le llama “nixtamal”. El tratamiento térmico alcalino al cual se somete el maíz da como producto la masa, la cual, luego se transforma en diversas formas entre las cuales la tortilla es la principal. Los subproductos obtenidos de este proceso se descartan o se dan como alimento para los cerdos (Rodríguez *et al*, 2008).

La variabilidad en la concentración de la cal es característica particular de las familias, mientras que el tiempo de cocción y temperatura son atribuidas al tiempo de almacenamiento y a la etapa de madurez en que fue cosechado el maíz utilizado para el proceso y a la altitud en donde se cocina (Rodríguez *et al*, 2008). Este proceso permite que por efecto de la cal se desprenda el pericarpio, los granos se digieran mejor y aumente el valor de los nutrientes, en especial la niacina (Llanos, 1984). Después de este tratamiento, la proteína de más baja calidad se vuelve menos soluble, por lo que, si es digerible alcanza mayor calidad aunque sea menor en cantidad (Lomelí, 1996).

1.3.3 Biodisponibilidad de nutrientes en productos nixtamalizados

La conversión de maíz en masa y luego en alimentos, involucra un proceso en el cual además del tipo de maíz, participan la adición de agua, hidróxido de calcio, tratamientos térmicos, periodos de remojo y la acción de la molienda. Estos factores inducen cambios en la estructura del grano, en su composición química, en sus propiedades de funcionalidad y en el valor nutritivo.

Los granos en funcionalidad incluidos por los factores indicados, consisten básicamente en la pérdida de compuestos orgánicos que conforman la fibra por la gelatinización parcial de los almidones y la desnaturalización de las proteínas, mientras que los cambios en el valor nutritivo, causados por los factores principales en procesamiento, son más complejos que incluyen pérdidas en ciertos nutrientes, aumento en otros y cambios en la biodisponibilidad de ellos.

1.3.3.1 Cambios estructurales del grano

La cocción alcalina del maíz por un periodo alrededor de 60 minutos asociada al remojo en medio alcalino por 8 a 14 h. causa un rompimiento parcial del pericarpio, que se remueve fácilmente con una simple flotación y lavado del grano, la eliminación del pericarpio facilita la absorción del agua y de calcio, ya que representa la primera barrera a este proceso. Esta estructura, está formada por celulosa, hemicelulosa, lignina y proteína fijada en estos compuestos. El pH alcalino solubiliza y desintegra esta estructura, contribuyendo a darle a la masa características de suavidad y plasticidad (Rodriguez *et al.*, 2008). De acuerdo a Paredes-López y Sarahopulos (1982) la cocción alcalina induce la hinchazón y debilitamiento de la pared celular y de los componentes de fibra, lo que permite y facilita la eliminación del pericarpio.

La capa aleurónica y sus células quedan intactas y pegadas a la superficie del endospermo, sirviendo como una estructura de retención del mismo. Posiblemente debido a la característica de semipermeabilidad de la capa aleurónica, se reduce la pérdida de proteínas del endospermo y el nitrógeno que se pierde podría ser de proteínas de muy bajo peso molecular (Rodriguez *et al.*, 2008, Paredes-López y Saharopulos, 1982). La lamela media y paredes celulares del endospermo externo son parcialmente destruidas y solubilizadas. Por otro lado, la mayor parte del germen se retiene durante la cocción, lo cual es importante ya que con ello se retiene la calidad proteínica del grano de maíz. Durante la cocción del maíz en una solución alcalina de hidróxido de calcio, la absorción de agua es más rápida que cuando la cocción sólo se realiza con agua (Rodríguez *et al.*, 2008).

1.3.4 Alimentos comunes en México derivados del maíz

Tres de los principales usos industriales del maíz son la molienda en húmedo, la molienda en seco y la industria productora de alcohol. Para el primer tipo de molienda se desean variedades que contengan elevados contenidos de almidón, aceite y proteínas, mientras que para la molienda en seco, se requiere grano que contenga menos del 15% de humedad, de tipo semiduro, con almidón tipo vítreo que no contenga demasiado almidón suave cerca al pericarpio (Jugenheimer, 1998).

Con la molienda es seco, se obtiene la harina para la preparación de los tamales o *tamalli*, como se dice en náhuatl y que significa envuelto, los cuales al mezclarse con manteca, sal o azúcar y algún guiso, forman una masa espesa que se envuelve en hojas secas de maíz o en hojas de plátano; es un alimento preparado con diversas técnicas de cocción: asado en las brasas o en el comal, horneado en la estufa, en la tierra o al vapor. Este alimento forma parte importante en la vida cotidiana de los mexicanos, ya que es ideal para el desayuno o la cena de todos los días.

En ningún país existe tanta diversidad de tamales como en México. Cada región y estado tienen ciertos tipos de tamales, tantos que su variedad se cree aproximadamente en 5,000 diferentes tipos en todo el territorio. Algunos expertos creen que el consumo es en cientos de millones anuales, aunque no se tienen cifras exactas (Fournier, 1996; Rodríguez, 2011)

Con la molienda húmeda, se obtiene la masa con la que se preparan las tortillas (Fournier, 1996). La conversión del nixtamal a la masa se hace pasando el maíz por una piedra de moler plana. Se toma luego alrededor de 50 gramos para formar las tortillas que se cocinan en el comal. La tortilla se coloca en el comal y al momento que una cara está cocida, se le da vuelta para que cocine la otra cara, en esta fase se forma vapor de agua dentro de la tortilla, abultándose la superficie que se cocinó primero. Frecuentemente la presión de agua revienta la superficie, lo cual es indicativo que la tortilla ya está lista para removerla del comal y almacenarla (Rodríguez *et al.*, 2008).

De la masa para tortilla se derivan un sin número de platillos, pero aún una bebida, igual de antigua que las dos anteriores (tamales y tortilla) y con el mismo grado de importancia, el champurrado, el cual contiene agua, canela, piloncillo o azúcar, cocoa y masa de maíz, este es un alimento fundamental para los niños de las poblaciones rurales y los estratos pobres de las urbes. Actualmente estos tres productos (tamales, tortilla y atole), constituyen la principal fuente de nutrientes en la dieta rural y también de la urbana (Casanueva, 1996), su consumo aumenta o disminuye de acuerdo con los ingresos de la familia, en situaciones de crisis tiende a incrementarse el consumo (Carrión, 1996).

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1 Metodología experimental

2.1.1 Objetivo general

Cuantificar la pérdida de carotenos durante la preparación de productos típicos mexicanos derivados del maíz: tamales (dulces y salados), tortillas y atole, evaluando la concentración durante los procesos de elaboración y en productos finales.

2.1.2 Objetivos particulares

1. Determinar los parámetros físicos de dos genotipos de variedades híbridas (índice de flotación, color, dureza, textura y tamaño) y bioquímicos (carotenos) mediante las metodologías de acuerdo a la norma oficial NMX-FF-034/1-SCFI-2002, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), para el establecimiento de la calidad nixtamalera y nutricional.
2. Evaluar la degradación de carotenos (luteína, zeaxantina, β -criptoxantina, β -caroteno y provitamina A) en cada una de las etapas de la Nixtamalización (cocción y reposo, molienda húmeda, harina), y en cada proceso de elaboración de alimentos, (tamales dulce y sal, atole y tortilla); mediante su cuantificación, por High Performance Liquid Chromatography (HPLC), para el conocimiento del porcentaje de retención de carotenos en los productos finales.
3. Realizar una prueba sensorial afectiva para conocer la opinión de consumidores acerca de los productos elaborados, mediante una prueba organoléptica.

2.1.3 Planteamiento experimental

El desarrollo de este escrito se realizó en dos instituciones, las cuales permitieron el uso de sus laboratorios, se mencionan por orden de importancia:

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT)
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)

En el cuadro metodológico presentado en la figura 6 se encuentran resumidos los procedimientos experimentales, el cual, fue el mapa a seguir durante el trabajo experimental. Dicho cuadro, contiene la descripción del problema, objetivos, variables, actividades preliminares, actividades por objetivo, condiciones de trabajo y las técnicas que se utilizaron para la evaluación.

Actividades preliminares

Las actividades preliminares, constituyen la primera etapa, la cual consistió en realizar la caracterización de la materia prima (grano de maíz), estos granos pertenecen al programa de mejoramiento del CIMMYT. Los granos empleados en la experimentación han sido los más promisorios de un grupo de líneas que aún se encuentran en observación.

2.1.4 Caracterización de la materia prima

2.1.4.1 Humedad de grano

La determinación de humedad se realizó en un equipo Steinlite Modelo SSS250, el cual se calibra para el tipo de material seleccionado (en este caso es maíz), de acuerdo con el valor indicado en el manual de operación; se pesan 250g de grano, y se vierten en la cámara del aparato, oprimiendo posteriormente el botón para que la muestra baje. Después de unos segundos, aparece la lectura final del porcentaje de humedad en la pantalla del equipo.

2.1.4.2 Peso hectolítrico (Densidad aparente)

Para la medición de peso hectolítrico, la balanza se ajustó a cero, se realizó la tara correspondiente con el recipiente donde se colocó el grano, se colocó la muestra en el embudo ubicado en la parte superior de la balanza, se colocó el recipiente exactamente debajo de la salida del embudo y se abrió la salida del embudo, dejando caer libremente los granos en el recipiente, se eliminó el exceso de granos de la parte superior del recipiente y se realizó el pesado del recipiente con el grano, con lo cual se obtuvo la lectura. Como se utilizó el recipiente de 250 mL, el valor obtenido se multiplica por cuatro.

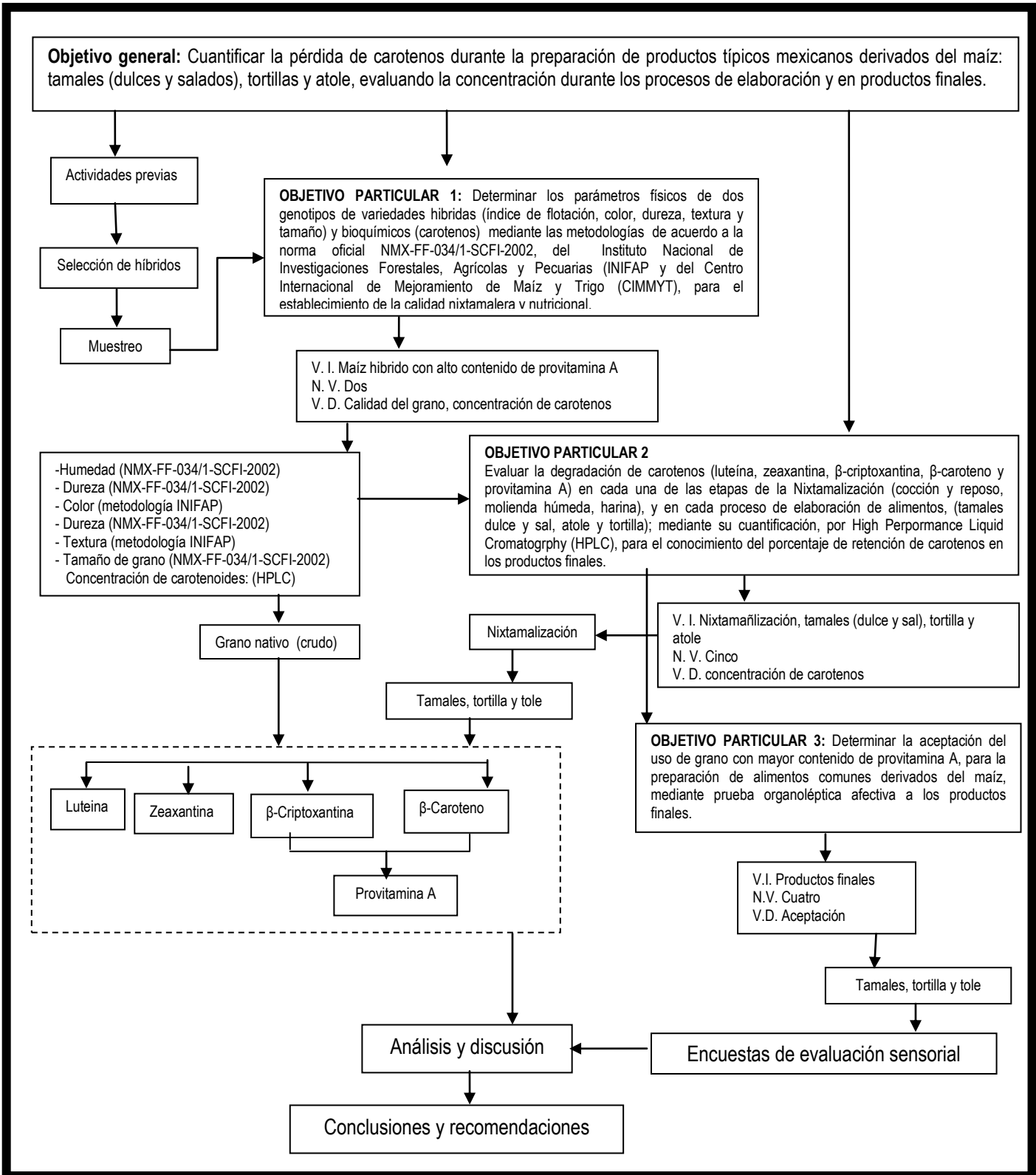


Figura 6 Cuadro metodológico del desarrollo experimental

2.1.4.3 Dureza (Método indirecto mediante el índice de flotación)

Para este método se seleccionó de manera aleatoria 100 granos libres de daños. Posteriormente se realizó la preparación de una solución de nitrato de sodio (41.0 g en 100 mL de agua) con una densidad de 1.2500 ± 0.0005 ; la densidad fue medida con ayuda de un picnómetro para líquidos, la solución se depositó en un vaso de precipitado de 1L y se añadieron los 100 granos, se agitó suavemente y después de 1 minuto se contó el número de granos que ascendieron a la superficie (Salinas y Vázquez, 2006).

2.1.4.4 Textura (disección)

Se llevó a cabo de manera individual en 25 granos de maíz íntegros para obtener el porcentaje real de cada estructura (cofia, pericarpio, germen y endospermo). Los granos se remojaron en agua a 70-80 °C y con ayuda de un bisturí, se separaron cada una de los componentes del grano. Se tomó el peso de cada componente. Para separar el endospermo harinoso, se utilizó un taladro manual, evitando en lo posible perder parte del grano; una vez eliminado se determinó el porcentaje de humedad.

2.1.4.5 Color

El colorímetro utilizado para calificar el color fue MiniScan XE Plus marca Hunter-Lab, el cual es un colorímetro triestimulo, que tiene la capacidad de medir color verdadero en forma análoga a la percepción del ojo humano. Registra la intensidad de la luz absorbida por el color negro o la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores básicos: rojo, azul, amarillo y las mezclas de ellos: morado, verde y naranja. Los valores del color se leen directamente en tres escalas L, a y b (Vázquez *et al.*, 2008).



Figura 7 Ubicación de color (Hunter-Lab)

2.1.5 Nixtamalización y procesos tecnológicos

Esta parte consistió en realizar la preparación de los productos, con los dos genotipos, esto se realizó de manera tradicional; el muestreo se llevó a cabo durante la preparación de los mismos, en cada etapa del proceso.

El diagrama que se siguió para la realización de cada uno de los productos se muestra en la figura 8, tomando tres repeticiones de manera aleatoria en el maíz entero, el maíz cocido y nixtamalizado, nejayote, molienda, harina, masa para tortillas y tamal y finalmente a cada uno de los productos terminados.

Las muestras se tomaron en tubos Cornin g de 15 ml, y fueron sumergidos inmediatamente después de su toma en nitrógeno líquido, transportados en hielo seco y fueron almacenados a -80 °C previo al análisis.

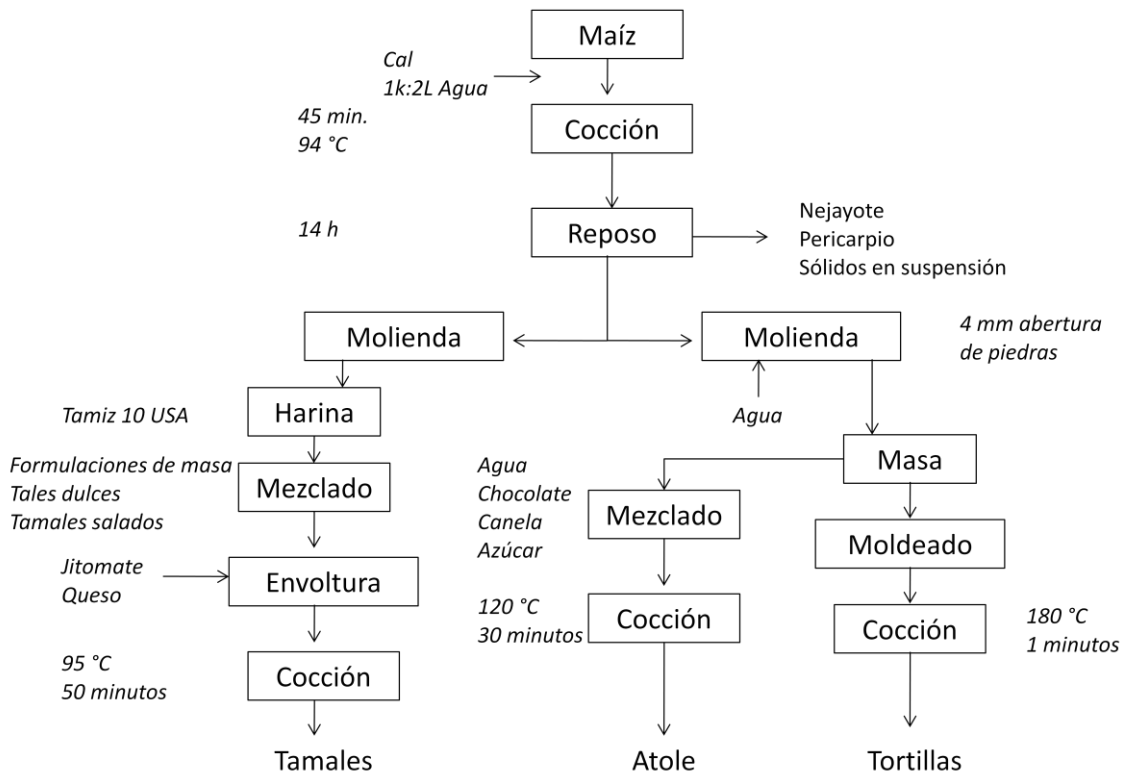


Figura 8 Diagrama de bloques.

Los tamales, se elaboraron de dulce y de sal, los ingredientes que se utilizaron y la cantidad para estas dos presentaciones se muestran en la tabla 8.

Tabla 8 Formulación de los tamales

INGREDIENTES	TAMAL DE SAL	TAMAL DE DULCE
Manteca de cerdo (kg)	0.250	0.250
Manteca vegetal (kg)	0.090	0.090
Agua con hojas de tomate (L)	0.250	0.250
Caldo de pollo (L)	1	-
Sal (kg)	0.050	-
Azúcar (kg)	-	0.500
Piña (kg)	-	1

Cantidad para un kilo de harina.

Todos los ingredientes se batieron en batidora industrial hasta incorporarlos por completo, y obtener textura suave y ligera. Para los tamales de dulce, la piña se licuó con 50 mL de agua, además, se picó en cuadros parte de la misma fruta, con la finalidad de colocarlos dentro del tamal.

Una vez batida la masa, en ambos casos, se prosiguió a amarrar los tamales, esto se hizo en hojas de maíz (envoltura de mazorca) remojados previamente en agua, se colocó una cama de masa sobre la hoja de maíz y se le colocó un poco de un guisado de jitomate con rajadas de chile y trozos de queso (preparados previamente), en seguida se cerró la hoja y se colocó en una vaporera, para la cocción, la cual se realizó mediante vapor por un periodo de 2 horas aproximadamente.

La preparación del atole consistió en poner agua a hervir en un recipiente con canela, aparte, en otro recipiente, se disolvieron 500 g de masa en 1 L de agua, se agregó a 4 L de agua hirviendo, se agitó para mezclar y se le agregaron 500 g de chocolate y 500 g de azúcar.

Para el análisis bioquímico de las muestras, se sometieron a liofilización en un equipo marca LABCONCO modelo FreeZone¹², bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura: -50 °C
- Presión: 0.14 mbar
- Tiempo: 6 días

Fue primordial establecer, antes de realizar el análisis bioquímico, que las muestras presentaran el mismo porcentaje de humedad.

1.3.1 Determinación de carotenoides en maíz

La determinación de carotenoides en maíz se realizó por cromatografía, la cual es una técnica que realiza la separación física de una mezcla de compuestos a través de la interacción selectiva entre los solutos, una fase estacionaria y una fase móvil, haciendo uso de instrumentación automatizada de alta eficiencia: HPLC (High Performance Liquid Chromatography) de la marca Waters modelo Alliance, el cual está compuesto por bomba, inyector automático, columna HPLC, detector y computadora (Figura 9).

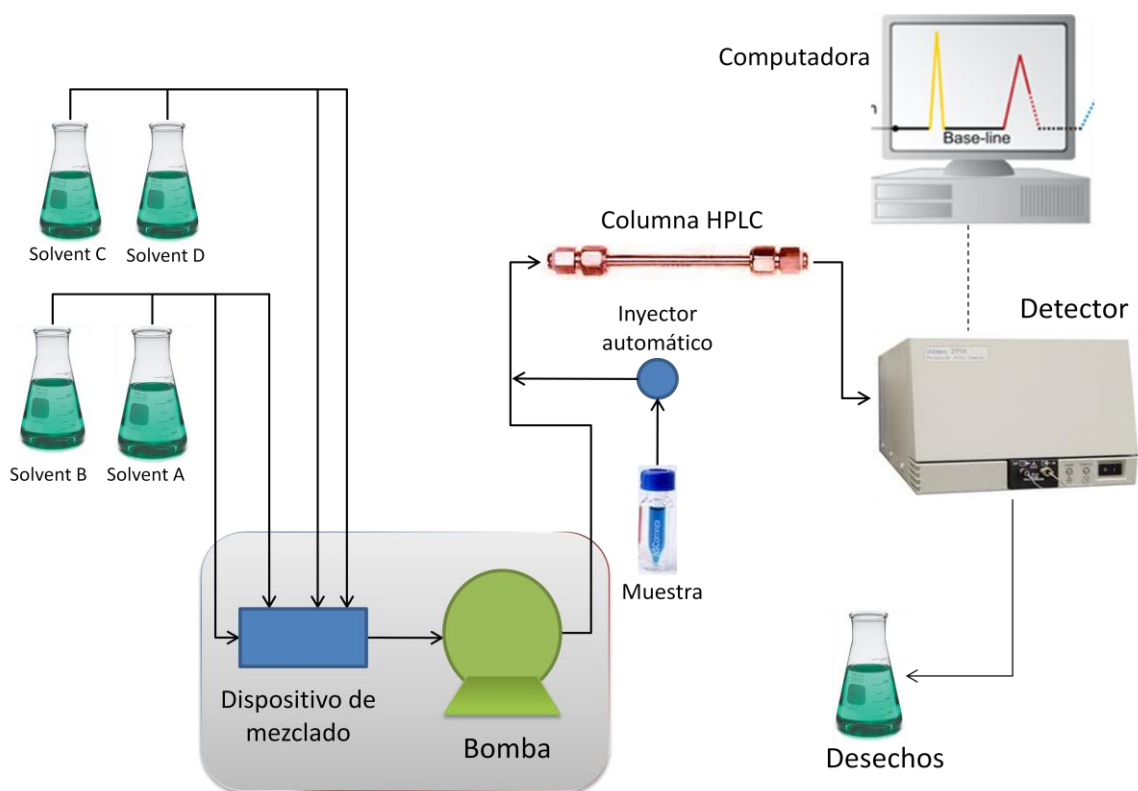


Figura 9 Diagrama de flujo de HPLC

Todas las actividades se realizaron en un medio con luz amarilla, nunca con luz directa. El extracto de las muestras se analizó con HPLC inmediatamente después de la extracción.

Para la extracción se tomaron aleatoriamente 20-30 semillas, un volumen de 15 mL para las muestras líquidas (nejayote y atole) y 6 g del material sólido (granos, masas, harina y productos finales) como muestra representativa del material. Para asegurar que todas las muestras tuvieran un contenido similar de humedad se sometieron a liofilización por un periodo de 6 días, los productos sólidos se molieron para obtener una harina muy fina.

En tubos de vidrio de 15 mL, se pesaron 600 mg de harina y 2 testigos (compuesto y CYMMYT Maize Line -297, usados como controles durante el proceso), se agregaron 6 mL de Butilhidroxitolueno (BHT) 0.1% en etanol y se incubó a 85 °C durante 5 minutos, posteriormente se añadieron 500 µL de KOH al 80% y se realizó una segunda incubación por 10 minutos a 85 °C (agitando después de transcurrir los primeros 5 minutos). Se agregaron a cada tubo 3 mL de agua desionizada fría, 200 µL de solución de apocaroteno y 3 mL de hexano, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm durante 1 minuto y se traspasó el sobrenadante a tubos nuevos, repitiendo 2 veces más la extracción con hexano. Se evaporó el hexano en Speed vac a una presión de 33.99 psia durante 1 h y se resuspendió la muestra justo antes de inyectar las muestras en el HPLC.

Se agregaron 150 µL de solución resuspendida en viales con inserto de recobro y se colocaron en el muestreador del HPLC. Las condiciones generales de la separación y la cuantificación por HPLC son:

Columna: YCM Carotenoid S-5 4,6 x 150 mm column

Pre-columna: YCM Carotenoid 5u, 4 x 2 Gd Cat

Fase móvil: 1.8 mL/min

Absorbancia: 450 nm

Estándares: Luteína, β -Criptoxantina, β -Caroteno, Apocaroteno; todo resuspendido en acetoneitrilo:metanol:diclorometano (80:10:10) conteniendo trietilmamina (TEA) 0.05% y BHT 0.1%.

Espectroscópicamente se determinó la concentración de los estándares basados en su coeficiente de extinción (E1%) y la máxima longitud de onda (450 nm) del carotenoide. En una celda estándar de cuarzo de 1 cm, los E1% fueron:

β -Caroteno: 2592

Zeaxantina: 2348

Luteína: 2550

Donde:

$$\text{concentracion del estándar (ng/}\mu\text{L)} = \text{Absorbancia} \times 10\ 000/\text{E1\%}$$

Se realizaron las curvas de los estándares inyectando 10, 50, 100 y 150 μL , observando el área bajo la curva obtenida de los cromatogramas. Se procedió a graficar los ng inyectados vs el área y utilizando una regresión lineal, con lo cual se obtuvo una curva estándar que se uso para calcular la cantidad de cada uno de los carotenos en una inyección a partir del área del pico correspondiente.

Se inyectaron 50 μL en el HPLC, siendo el volumen total de la muestra final del análisis de 500 μL , tomando en cuenta el peso de la muestra, se obtienen los $\mu\text{L/g}$, se utilizó el Apocaroteno para determinar la eficiencia de la extracción y se divide entre ello obteniendo ng de carotenoide/g de maíz.

Aunque es importante informar el contenido de carotenoides por unidad de peso de alimento cocido o procesado (como se consume el alimento) en las tablas de composición de alimentos, los cálculos para la retención de nutrientes se debería referir al peso de muestra original (base de peso en estado fresco) a fin de explicar los cambios en el peso (pérdida de agua y de sólidos solubles o aumentos de agua y aceite). Alternativamente, los cálculos se pueden realizar en peso seco (cuando la pérdida de sólidos soluble es

despreciable) o sobre la base de sólido insoluble (cuando la pérdida de sólido soluble sea significativa). De preferencia se debería calcular el porcentaje de retención verdadera (%RV) de acuerdo a Murphy *et al.* (1975).

$$\%RV = \frac{\text{contenido de nutrientes por g alimento cocido}}{\text{contenido de nutrientes por g alimento crudo}} \times 100$$

1.3.2 Prueba sensorial afectiva

Para este análisis se realizó un análisis hedónico (afectivo), con el cual, de manera cuantitativa se determinó la aceptación de cada uno de los productos elaborados con los dos genotipos. Este análisis se llevó a cabo aplicando un sencillo cuestionario como el que se muestra en la figura 10, en el cual el juez marcaba del 1 al 5 su grado de aceptación hacia los diferentes productos. Dirigido para todo tipo de personas y de un rango de 15-80 años.

Tamal de dulce						
Color	0	1	2	3	4	5
Apariencia	0	1	2	3	4	5
Sabor	0	1	2	3	4	5
Textura	0	1	2	3	4	5

Tamal de sal						
Color	0	1	2	3	4	5
Apariencia	0	1	2	3	4	5
Sabor	0	1	2	3	4	5
Textura	0	1	2	3	4	5

Atole						
Color	0	1	2	3	4	5
Apariencia	0	1	2	3	4	5
Sabor	0	1	2	3	4	5
Consistencia	0	1	2	3	4	5

Figura 10 Ejemplo de prueba de aceptación para cada producto.

Este cuestionario fue contestado por un total de 60 personas.

El análisis correspondiente a la tortilla no se llevó a cabo debido a que se va a realizar otro trabajo, en el cual se profundice éste tema.

1.3.3 Método estadístico

Para los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza, siguiendo el modelo lineal:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

donde, el valor de la variable de respuesta en el tratamiento i en su repetición j , es igual a la media, más el efecto que produce el tratamiento i , más el error experimental del tratamiento i en su repetición j .

La hipótesis que establece que todos los tratamientos producen el mismo efecto es rechazada, debido a que la $F_{calculada}$ es menor a la $F_{tabular}$, entonces, puesto que la $F_{cal} > F_{tab}$ se concluye que no todos los tratamientos producen el mismo efecto sobre la concentración de carotenoides, debido a que al menos, uno de los tratamientos es diferente a los demás, con un valor de $\alpha=0.05$. Por lo anterior se realizó una comparación de medias por TUKEY.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Análisis de resultados

3.1.1 Resultados de las actividades preliminares

De una serie de diversas variedades de híbridos pertenecientes al programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT, los materiales empleados en este trabajo, fueron los denominados 1034 y 1035.

3.1.2 Caracterización de la materia prima

3.1.2.1 Análisis físico

Actualmente, los aspectos de calidad sobre el grano de maíz tienen relevancia por el hecho de que los agricultores prefieren sembrar aquellos híbridos y variedades que la industria de harinas nixtamalizadas y molineras en general, consideran con alta calidad para sus procesos, ya que esto asegura la venta del mismo.

Con el fin de asegurar que el grano tiene la calidad adecuada para realizar el proceso de nixtamalización, en esta sección se analizaron las características físicas de los dos genotipos de grano (1034 y 1035) utilizadas para la preparación de los alimentos típicos mexicanos. Los resultados se muestran en la tabla 9.

Para los dos genotipos de grano, se determinó tamaño, el cual de acuerdo a la prueba de porcentaje de retención con cribas de diferentes números (24, 22, 20, 18 y finalmente la charola, resultó que ambos son de tamaño grande; con una humedad de 14.3 y 14.4 %, cuando la humedad máxima permitida es de 15% de acuerdo a la norma NMX-FF-034/2-scfi-2003, para lograr un adecuado almacenamiento de los granos, evitar la proliferación de plagas y a su vez, evitar la disminución del valor y calidad comercial de los mismos.

El peso hectolítrico (densidad aparente), para los genotipos 1034 y 1035 fue de 80.6 y 80.45 kg/hL respectivamente, mientras que el índice de flotación fluctúa entre 17 y 22 granos respectivamente, flotando en la solución de nitrato de sodio, es decir, granos duros.

Ambos valores se encuentran dentro de los parámetros requeridos por la NMX-FF-034/1-SCFI-2003, la cual está enfocada a maíz blanco para nixtamalización.

Tabla 9 Resultados de las pruebas físicas del grano

Características	Genotipo		Referencia
	1034	1035	
Humedad	14.35	14.4	
Tamaño de grano (% de retención)			
Criba 3/16" o 4.76 mm	14.7 ± 0.9	13.9 ± 0.6	
Criba 1/8 o 2.38 mm	50.6 ± 0.9	40 ± 0.5	
Criba 3/32" o 2.38 mm	31.8 ± 0.1	36.8 ± 0.6	
Criba 1/16" o 1.59 mm	2.4 ± 0.5	8.9 ± 0.2	
Peso de 100 semillas (g)	37.04	37.9	
Peso hectolítrico (kg/hL)	80.6	80.45	> 74.0 ^N
Índice de flotación (%)	17	22	< 40 ^N
Textura	D	D	
Pico (%)	1.4	1.2	≤ 2.0 ^I
Pericarpio (%)	5.45	5.46	≤ 5.5 ^I
Germen (%)	10.4	11.1	≤ 13 ^I
Endospermo harinoso (%)	31.3	30.8	≤ 30 ^I
Endospermo córneo (%)	51.2	51.2	≥ 48 ^I
Color en grano (Croma)	44.51 ± 0.3	47.15 ± 0.2	

^I Valores establecidos por MASECA

^N NMX-FF-034/1-SCFI-2002

D = DURO

Lo que respecta a la textura, ambos genotipos presentaron una textura dura, con porcentaje de pico, pericarpio, germen, endospermo harinoso y corneo, dentro de lo requerido por la industria de harina nixtamalizada, con un mayor porcentaje de endospermos corneo, coincidiendo la dureza con lo obtenido por la prueba de índice de flotación.

El color de los granos, indica de acuerdo al valor croma de 75 y 76, de la luminosidad (L) (54 y 55) y de tonalidad (°Hue) (70 y 72), de los genotipos 1034 y 1035 respectivamente, es decir, color amarillo intenso para los dos granos.

1.1.1 Cuantificación de carotenos

El grano que se utilizó como materia prima para la elaboración de los alimentos típicos mexicanos, contiene un valor de provitamina A de 2.8 y 3.6 $\mu\text{g/g}$ de los genotipos 1034 y 1035 respectivamente, determinados por HPLC, la cual muestra un ejemplo del cromatograma en la figura 11a, el cual, es aproximadamente 3 veces mayor al promedio contenido en maíz amarillo común (0.6 $\mu\text{g/g}$), reportado por diversos autores (Shansanh *et al.* 2007; Takkar y Failla, 2008; Bechoff *et al.*, 2009).

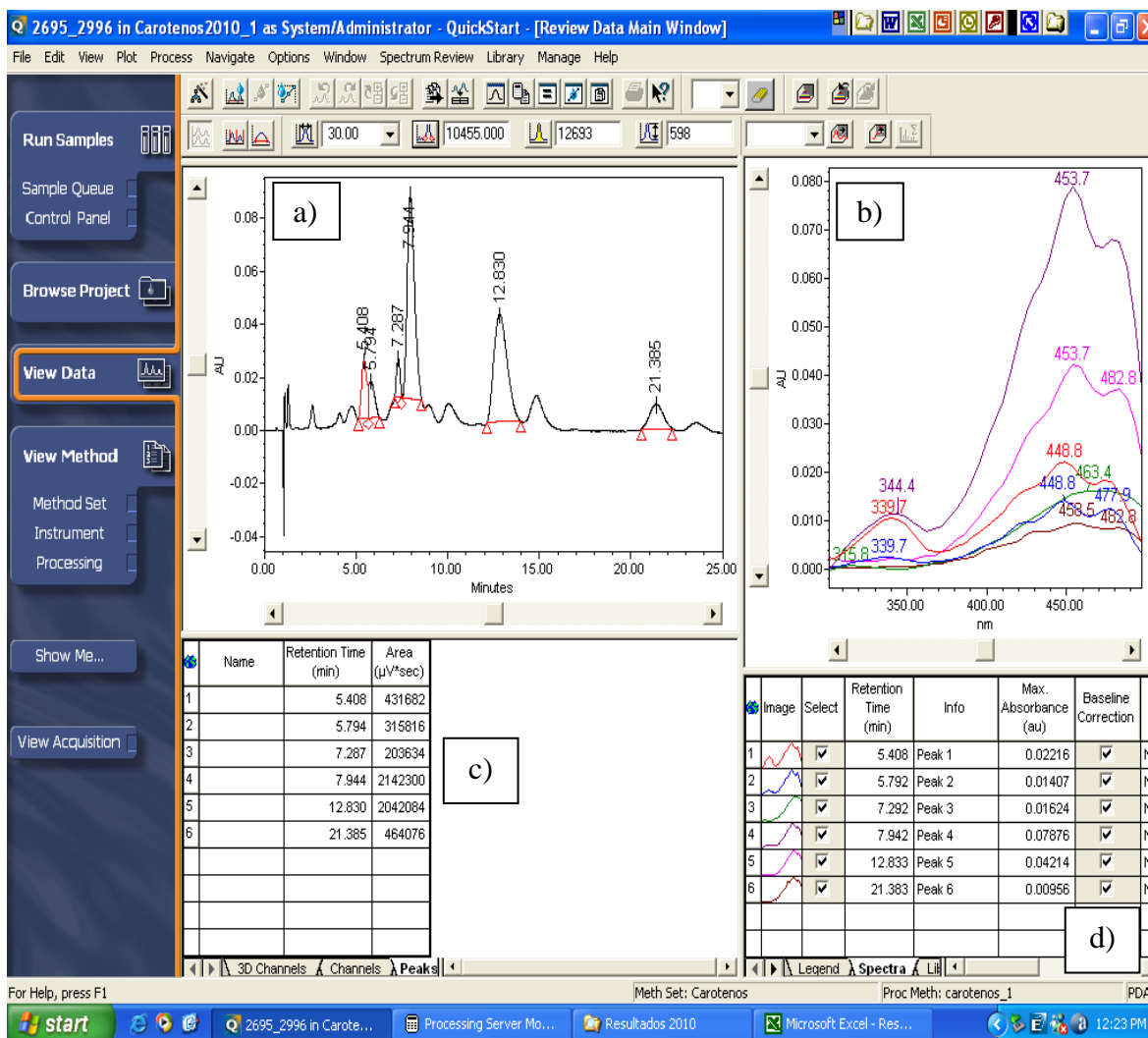
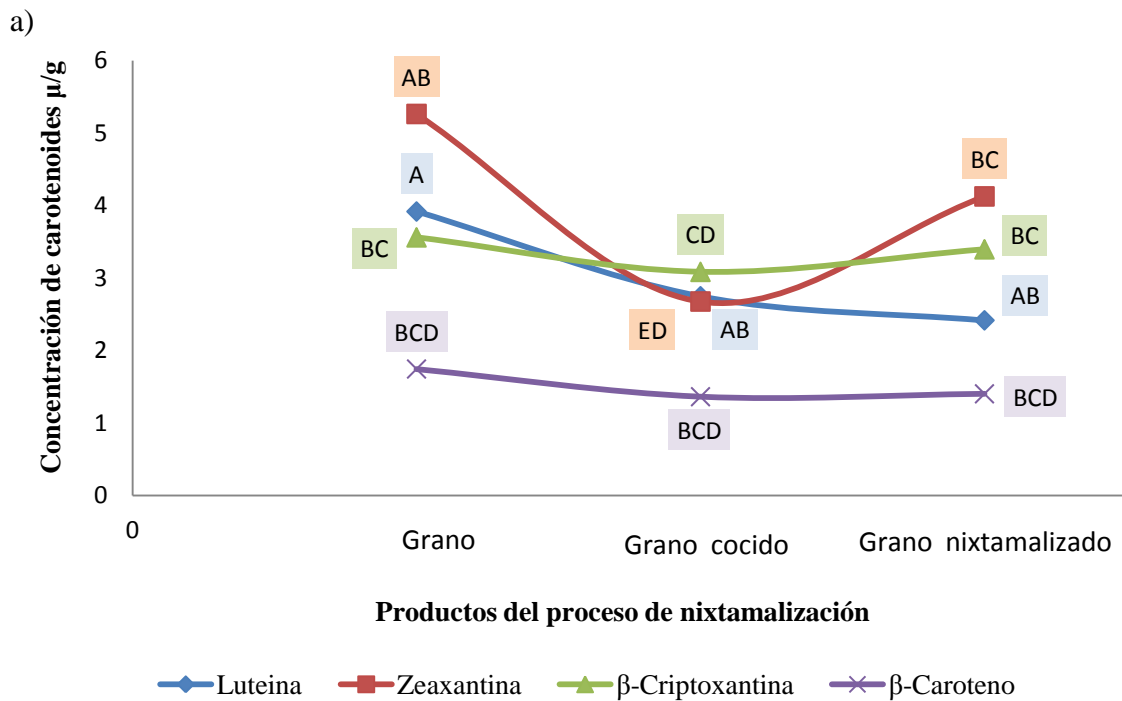


Figura 11 Cromatograma. a) cromatograma; b) visualización del espectro; c) tabla de propiedades; d) Tabla de espectro

Así en la figura 11 se muestra la pantalla en la cual se trabajara para cuantificar la concentración de los carotenos, donde a) el cromatograma, del cual se calcula el área por debajo de la curva, de la cual parten los cálculos de la concentración de carotenoides; b) la visualización del espectro, en el cual se observan la longitud máxima de onda en la cual se detecta cada uno de los carotenoides y se puede utilizar para detectar el pico de interés en caso de existir ruido o picos desconocidos; c) la tabla de propiedades, presenta los datos de tiempo de retención y el área de cada uno de los picos detectados; d) la tabla del espectro, establece el tiempo de retención, la absorbancia y los datos que corresponden a cada pico detectado en el cromatograma.

De acuerdo a los resultados obtenidos de la concentración de carotenoides y al tratamiento estadístico de varianza empleado, los resultados se presentan en la figura 12. En ésta figura, se muestra la concentración de cada uno de los carotenoides cuantificados (luteína, zeaxantina, β -criptoxantina y β -caroteno) en cada una de las etapas durante el proceso de nixtamalización.



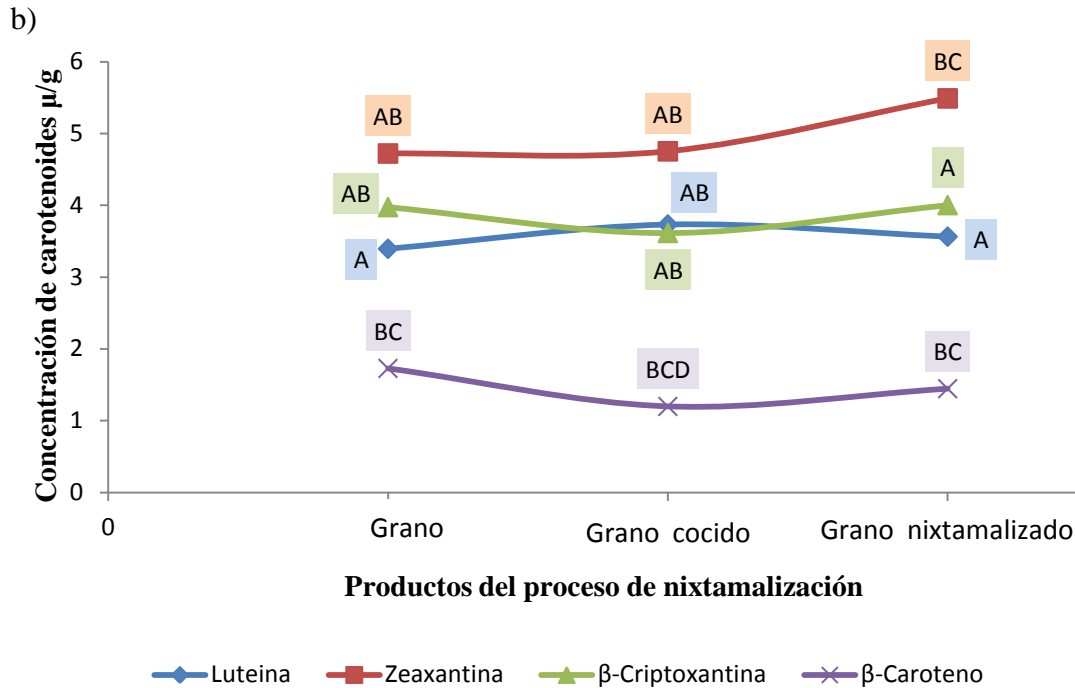


Figura 12 Concentración de carotenoides durante el proceso de nixtamalización en peso seco. a) Resultados del genotipo 1034 b) Resultados del genotipo 1035. Valores con letras diferentes significa diferencia estadística entre productos dentro de carotenoide $P < 0.05$.

Observando la figura 12 para los dos genotipos y comparando las concentraciones obtenidas de los granos con el trabajo de Takkar y Failla (2008), reportan la concentración de carotenoides en el grano de $9.7 \mu\text{g/g}$ luteína, $3.8 \mu\text{g/g}$ zeaxantina, $1.3 \mu\text{g/g}$ β -criptoxantina y $0.7 \mu\text{g/g}$ β -caroteno, la concentración de carotenos precursores de provitamina A es mayor en los híbridos empleados en éste estudio, considerándose por lo tanto, granos con alto contenido de provitamina A.

En primera instancia, los nutrientes al ser sometidos a la cocción y a condiciones alcalinas, se observa una degradación, principalmente de zeaxantina $2.74 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$, seguido por luteína $2.6 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$ y β -criptoxantina $3.8 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$ (figura 12a), el mismo comportamiento se observa en la preparación de un alimento típico en África, donde la fermentación es un componente tradicional durante el procesamiento de los cereales, durante la preparación del guisado, a base de harina de maíz, de acuerdo a estudios realizados por Shansman *et al.* (2007).

El comportamiento de los nutrientes durante el proceso de nixtamalización entre ambas variedades es muy distinta, ya que el genotipo 1035 (figura 12b), después de la cocción, aumenta la concentración de zeaxantina $4.75 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$ y luteína $3.5 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ mientras que β -criptoxantina $3.6 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ y β -caroteno $1.1 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$ disminuyen, la degradación podría ser provocada por la pérdida de compuestos durante el proceso. Se pierden fracciones de pericarpio, de capa de aleurona, germen y endospermo corneo, de acuerdo con lo reportado por Rojas-Molina *et al.* (2009) o por el aumento de la temperatura, lo que respecta a la pérdida de materia contenida en nejayote.

Posteriormente del tiempo de reposo, se observa un aumento de concentración en el grano correspondiente al genotipo 1034 (figura 12a) mayoritariamente en zeaxantina $4.1 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$, seguido por β -criptoxantina $3.3 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.4 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$ y finalmente disminuyendo las concentraciones de luteína $2.4 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$, mientras que para el genotipo 1035 (figura 12b), aumenta igualmente zeaxantina $5.4 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $4 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.4 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, con la disminución de luteína $3.76 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$. Los aumentos en la concentración no sobrepasan lo reportado por la materia prima, y en los nutrientes que se llega a reportar, dicho incremento no es estadísticamente significativo.

El ligero incremento de los nutrientes, se atribuye a que durante el reposo, se lleva a cabo la concentración de los nutrientes, aunque también puede intervenir la interacción entre los carotenoides, ya que de acuerdo a Thakkar y Failla, 2008, la luteína inhibe la absorción del β -caroteno, ya que se puede observar en la gráfica (figura 12b), que mientras la luteína aumenta, disminuye el β -caroteno y viceversa, esto ocurre en la misma proporción para ambos genotipos. También influye la localización de los carotenos, ya que de acuerdo a Watson y Ramstad (1987) y Klaus y Karel (1991) se encuentran en el endospermo corneo, con lo cual, una vez que se ha desprendido el pericarpio se presenta un efecto de concentración.

Posteriormente de la nixtamalización, lo que respecta a la elaboración de tamales, los resultados de la concentración en cada etapa, se muestran en la figura 13.

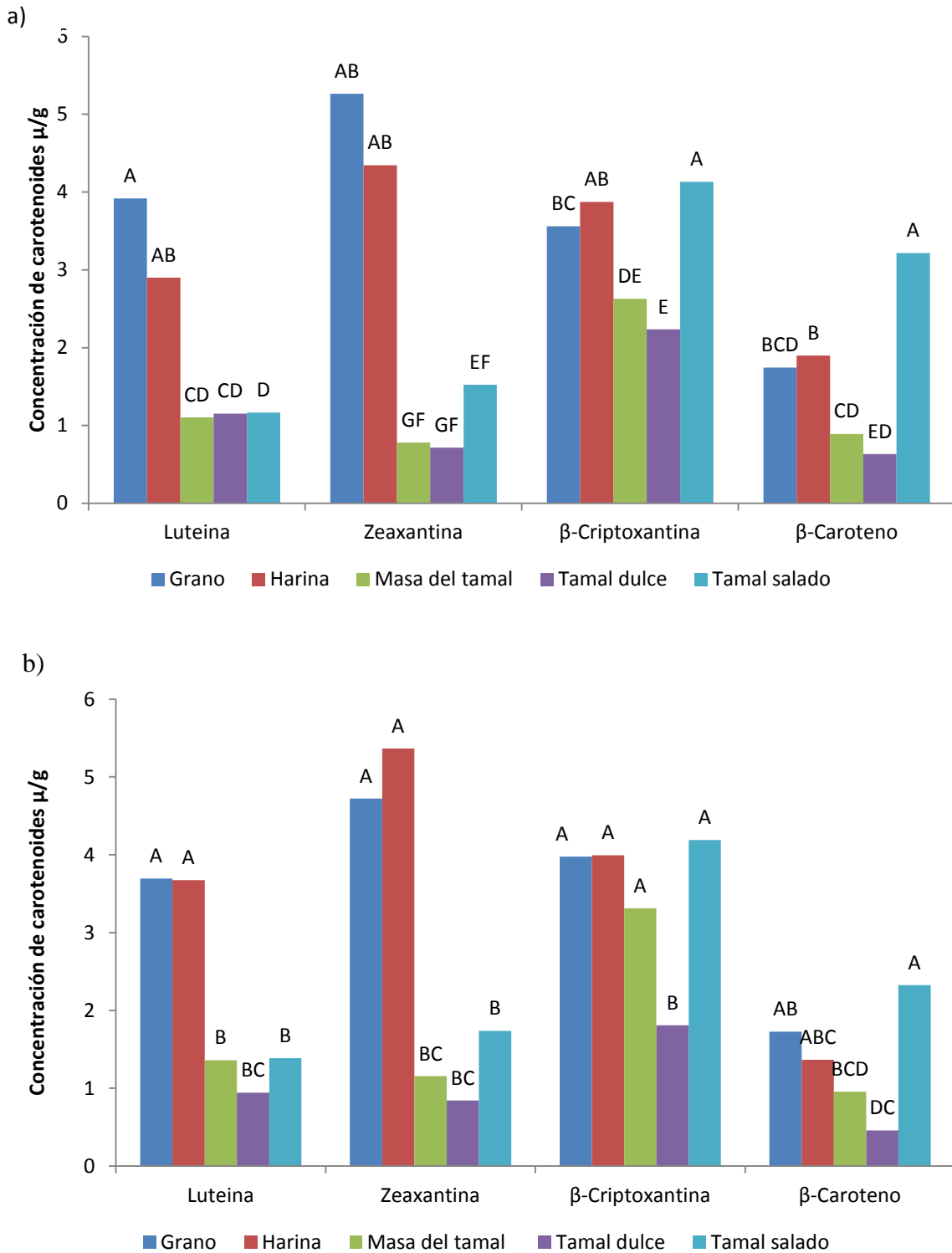


Figura 13 Concentración de carotenoides durante la preparación de tamales en peso seco. a) Resultados del genotipo 1034 b) Resultados del genotipo 1035. Barras con letras diferentes significa diferencia estadística entre productos dentro de carotenoide $P < 0.05$.

Al realizar la reducción de partícula mediante molienda seca, la concentración en el genotipo 1034 aumenta luteína $2.8 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $4.3 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $3.8 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.8 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, mientras que para el genotipo 1035 disminuye luteína $3.6 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $5.3 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $3.9 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.3 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$, con respecto a los valores del grano crudo.

El aumento en la concentración por la reducción de partícula, se atribuye a la eliminación de algunos de los componentes del grano durante la molienda; la disminución es debida a que como el proceso se realizó de manera popular, este producto estuvo expuesto por periodo de tiempo corto a los rayos solares, oxígeno y cambios de temperatura, lo cual provocó pérdida, ya que de acuerdo a estudios realizados por Bechoff *et al.*, (2009) sobre el efecto que tiene la deshidratación y almacenamiento en la degradación de carotenoides, concluye que la deshidratación solar es donde existe mayor degradación, la cual puede ser de hasta un 92.4%.

En la siguiente etapa del proceso, la cual consiste en agregar los ingredientes para formar la masa del tamal, todos los nutrientes se ven claramente reducidos, teniendo una concentración de luteína $1.1 \pm 0.01 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $0.7 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $2.6 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $0.8 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ para el genotipo 1034, mientras que para el 1035 tuvo luteína $1.3 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $1.1 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $3.3 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $0.9 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$.

La disminución observada al realizar la masa para tamal, se atribuye a la adición de todos los ingredientes mencionados en la formulación para cada tipo de tamal, tanto sólidos como líquidos, lo cual provoca un aumento tanto de líquidos como de sólidos y, en consecuencia una disminución en la concentración de compuestos.

Para el tamal de dulce, se observa degradación de carotenoides para ambos genotipos, con respecto al grano crudo, luteína $1.1 \pm 0.06 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $0.7 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $2.2 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $0.6 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ del genotipo 1034, mientras que para el 1035 luteína $1.4 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $1.2 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $2.6 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $0.6 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$, a pesar de que la piña contiene algunos carotenoides y xantofilas, aunque en muy pocas cantidad (Gortner y Singleton, 2006).

Mientras que para el tamal de sal se observa un aumento significativo, en ambos genotipos (1034 y 1035) y en todos los carotenoides, principalmente en el β -caroteno $3.5 \pm 0.5 \mu\text{g/g}$, $2.7 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, seguido por la β -criptoxantina $4.13 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$ y $4.18 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $1.5 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ y $1.7 \pm 0.4 \mu\text{g/g}$ y luteína $1.1 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$ y $1.4 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$ con respecto al grano crudo del cual se partió.

Dicho incremento es atribuido al efecto de el tomate y chile del guisado, a pesar de que el carotenoide mayoritario del tomate es el licopeno, en diversos trabajos como los realizados por Dietz y Would (1986), Rodríguez-Amaya (1999) y Martínez (2003), reportan concentraciones de hasta $3.6 \mu\text{g/g}$ de β -caroteno; mientras que para el chile, Quintanar-Hernández (1996), reporta $1.6 \mu\text{g/g}$ de β -caroteno, con la cual, los compuestos propios de estos alimentos utilizados para dar sabor.

En la figura 14, se graficaron los resultados de las concentración correspondientes a tortilla y atole, así como el producto previo a estos, es decir, la masa la cual fue la materia prima para realizar dichos productos, observando las diferencias entre cada uno de los productos con el grano crudo, el cual se está tomando como referencia.

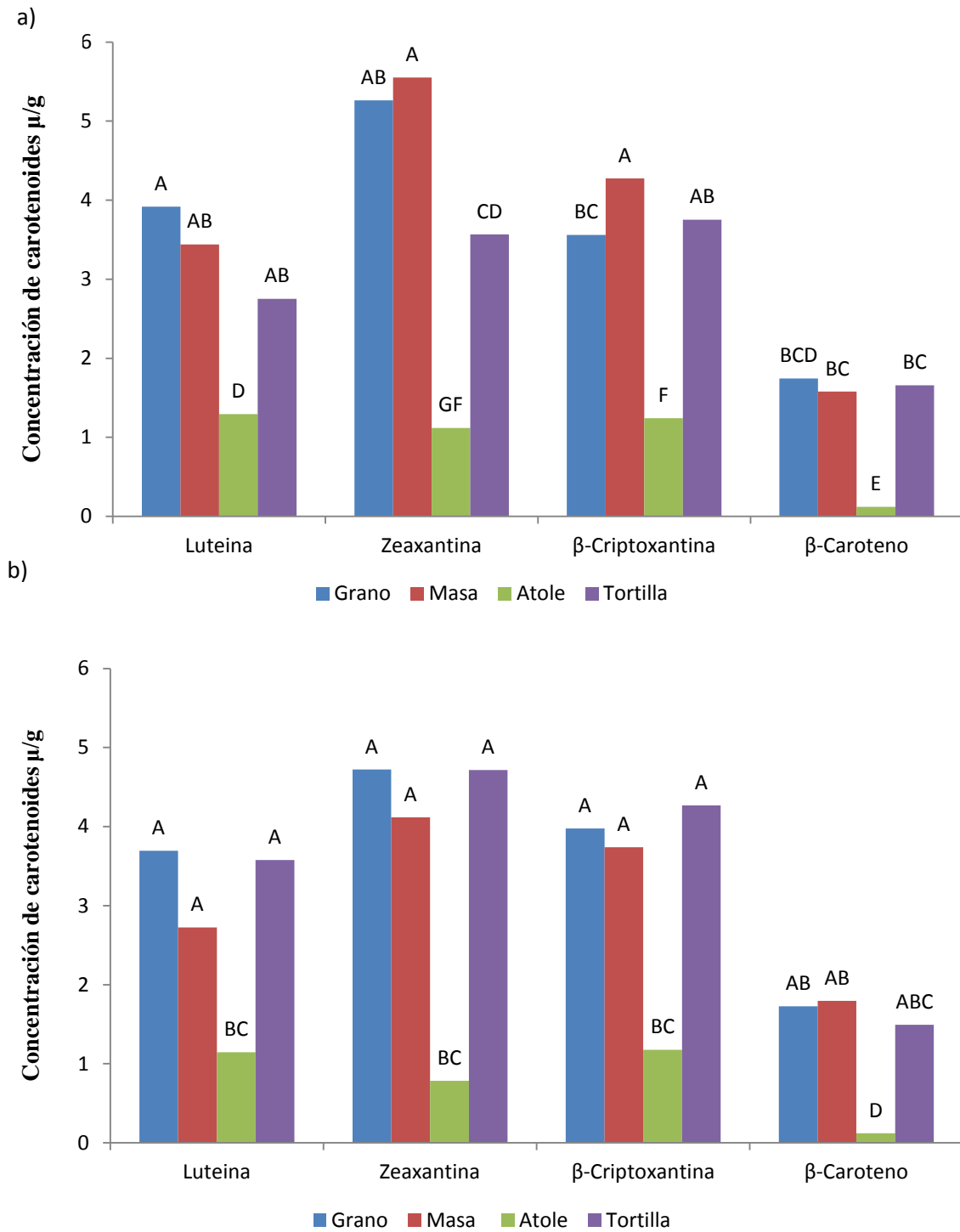


Figura 14 Concentración de carotenoides durante la preparación de tortillas y atole, expresando los resultados en peso seco. a) Resultados del genotipo 1034 b) Resultados del genotipo 1035. Barras con letras diferentes significa diferencia estadística entre productos dentro de carotenoide $P < 0.05$.

Durante la reducción de partícula mediante la molienda húmeda, la concentración de algunos componentes aumenta zeaxantina $5.5 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$, luteína $3.4 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $4.2 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.5 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$ en el genotipo 1034 y para el 1035 aumentan β -caroteno $1.7 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $3.7 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, mientras que disminuye luteína $2.7 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$ y zeaxantina $4.1 \pm 0.3 \mu\text{g/g}$.

La concentración de carotenoides en el atole es mucho menor comparado con los demás productos analizados, dicha concentración es aún menor al *porridge*, el cual es un alimento típico africano el cual posteriormente de moler los granos de maíz se fermenta y cuece (Shansman *et al.*, 2007).

Los valores muy bajos cuantificados en el atole, son debidos a que la mayor parte del producto es agua y sólo el 1% es masa, además de ser adicionados otros ingredientes, por lo tanto la disolución de la masa en una cantidad de agua tan grande, se ve reducida considerablemente la concentración.

La concentración en tortilla es de luteína $0.5 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $0.3 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $0.5 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$ y β -caroteno $0.5 \pm 0.004 \mu\text{g/g}$ del genotipo 1034, mientras que para el 1035 se reportan concentraciones de luteína $0.5 \pm 0.03 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $0.3 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $0.5 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ y β -caroteno $0.05 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$.

Después de la cocción, la concentración del producto final (tortilla) con el genotipo 1034 aumenta, la concentración de luteína $2.7 \pm 0.0 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $3.5 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$, β -criptoxantina $3.7 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, β -caroteno $1.6 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$, pero en los resultados obtenidos del producto realizado con el genotipo 1035, los aumentos se presentan en luteína $3.5 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$, zeaxantina $4.7 \pm 0.1 \mu\text{g/g}$ y β -criptoxantina $4.2 \pm 0.09 \mu\text{g/g}$, y disminución en β -caroteno $1.4 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$.

Tomando en cuenta las concentraciones de la materia prima (grano), no se presenta diferencia estadísticamente significativa, lo que indica que no hay pérdidas de compuestos durante la preparación de tortilla.

La provitamina A son moléculas de carotenos (β -criptoxantina y β -caroteno) que tienen la capacidad de ser transformadas a retinol en el tracto digestivo y para cuantificar la concentración de provitamina A se multiplica la concentración de β -criptoxantina por 0.5, el producto se le adiciona a la concentración de β -caroteno.

El comportamiento de la provitamina A durante la nixtamalización y en los productos finales analizados en éste estudio se muestran en la figura 15.

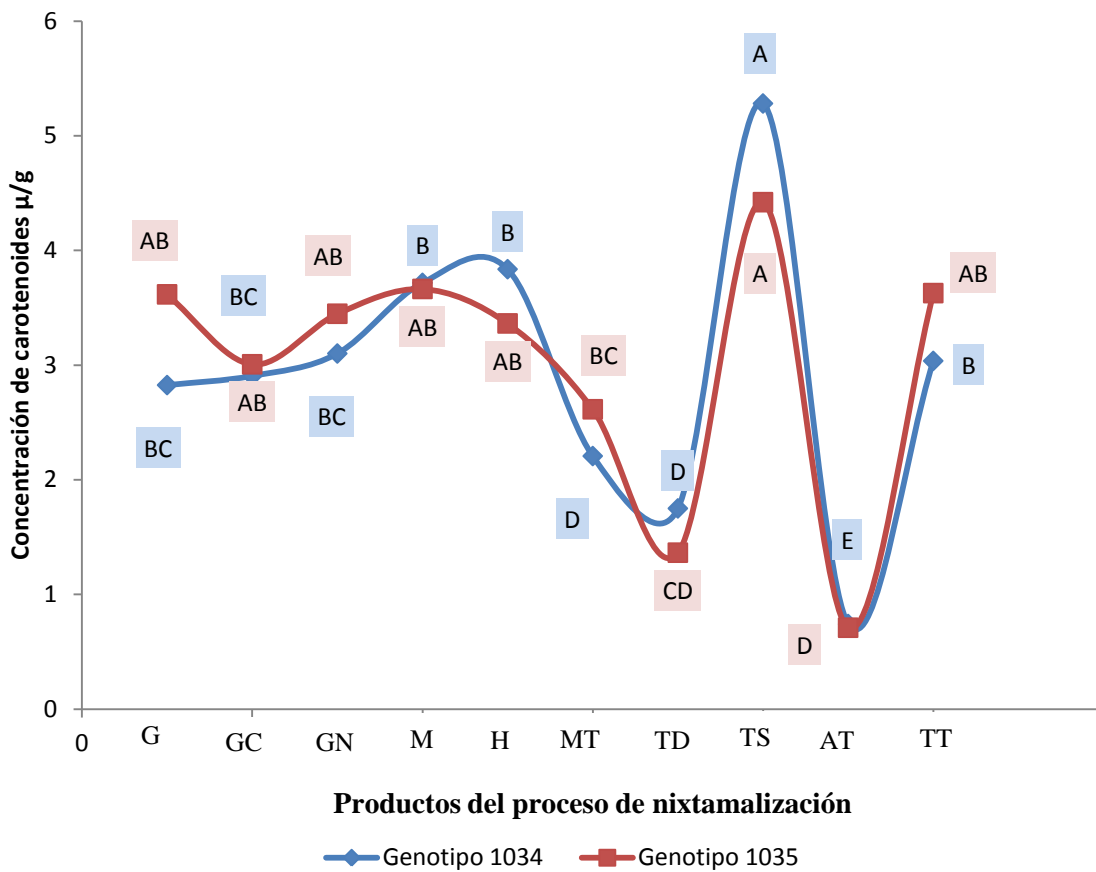


Figura 15 Comportamiento de Provitamina A durante el proceso de alimentos típicos mexicanos expresando los resultados en peso seco. **G** grano, **GC** grano cocido, **GR** grano reposado, **M** masa, **H** harina, **MT** masa de tamal, **TD** tamal de dulce, **TS** tamal de sal, **AT** atole, **TT** tortillas. Valores con letras diferentes significa diferencia estadística entre productos dentro de genotipo $P < 0.05$.

En la figura 15, se observa que durante el proceso de nixtamalización primero hay una reducción al realizar la cocción y posteriormente un incremento con el reposo, pero dichas concentraciones no son estadísticamente significativas, por lo que se puede decir que no hay pérdidas de provitamina A durante el proceso de nixtamalización.

Las concentraciones de los productos intermedios, como lo son la harina la masa de tamales y la masa para tortilla, en los dos genotipos no hay diferencia estadísticamente significativa entre la masa para tortilla y la harina, pero si se cuantifica una reducción en la masa de tamal, atribuyendo dicha disminución a la adición de ingredientes sólidos y líquidos. Para los productos finales, el que contiene una mayor concentración de provitamina A es el tamal de sal, seguido por las tortillas, el tamal de dulce y finalmente el atole.

La concentración de provitamina A en la tortilla, al compararla con estudios anteriores realizados por Lozano-Alejo *et al.* (2007), se puede afirmar que la mayor pérdida de provitamina A es durante el freído, y no durante la preparación de las tortillas, esto debido a las altas temperaturas a las que se someten las frituras disminuyendo la concentración desde hasta un 36 %, mientras que la concentración de provitamina A no se ve afectado de esa manera en las tortillas, al contrario, se mantiene con concentraciones similares al grano. Lo que respecta a la concentración de provitamina A para los tamales, se observa una elevada concentración, en el caso del genotipo 1035 la diferencia no es estadísticamente significativa, aunque para el genotipo 1034 el incremento si es significativo. Estos incrementos son atribuidos a la utilización de jitomate y chile, los cuales también contienen β -caroteno.

El comportamiento entre genotipos, a pesar que fue semejante, el genotipo 1035 muestra menores perdidas, lo cual se atribuye a que la dureza es ligeramente mayor.

La retención aparente es una relación porcentual entre la cantidad de carotenos presentes en la materia prima (grano), en relación con el contenido en los alimentos procesados. Lo que respecta a la retención aparente, los resultados de cada uno de los carotenoides para cada una de las etapas que se midieron durante el proceso, se muestran en la figura 16.

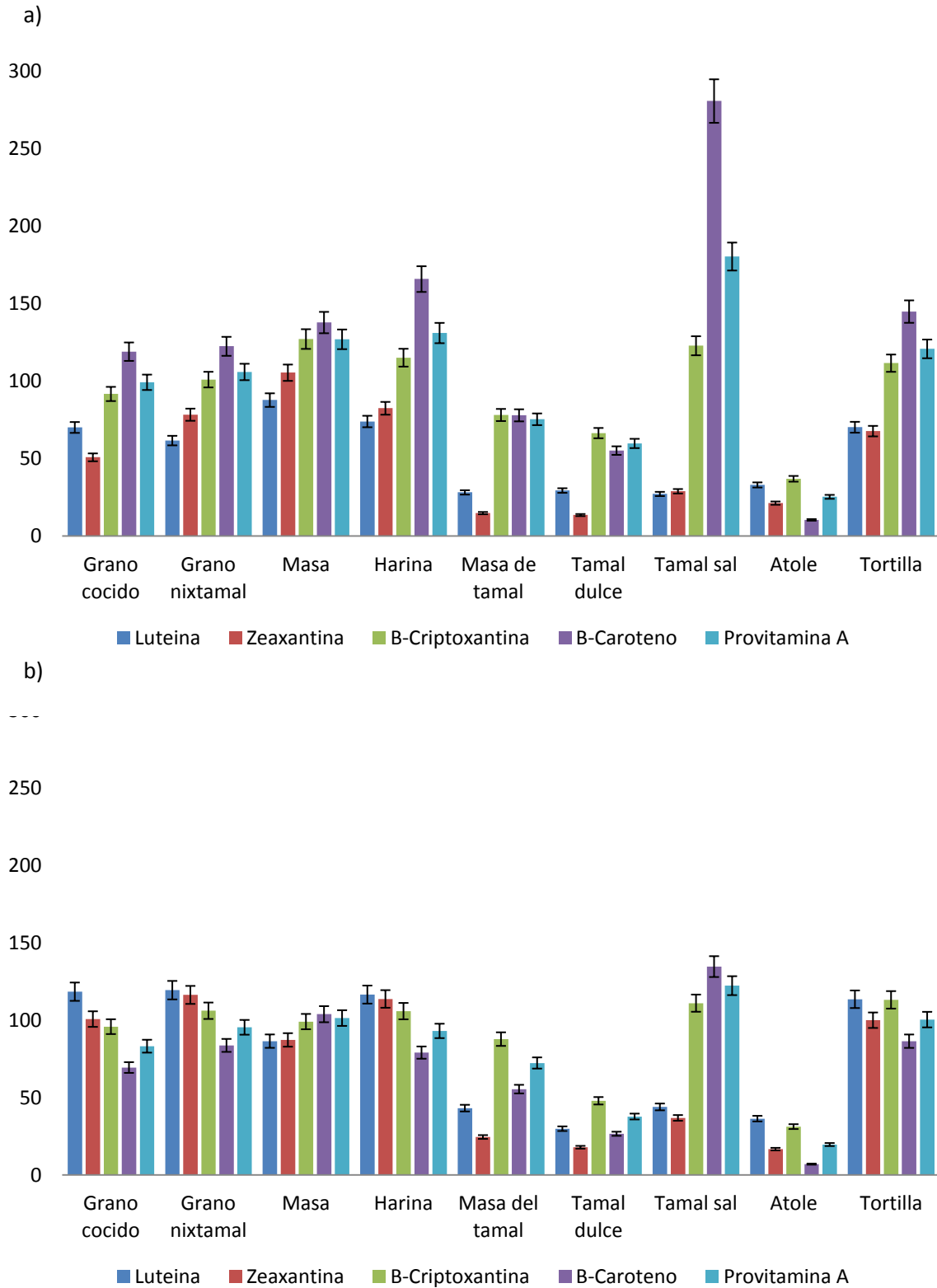


Figura 16 Retención aparente durante el proceso de alimentos típicos mexicanos. a) Resultados del genotipo 1034 b) Resultados del genotipo1035.

Los porcentajes de retención en el genotipo 1034 (figura 16a), indican que al final del proceso de nixtamalización de la luteína se mantuvo en un 61 %, mientras que al realizar la reducción de tamaño cuantifico la retención de 87.8 % para la masa para toritilla y 73.9 % para la harina para tamales. En los productos finales, el que reporta mayor pérdida es el tamal de sal con 72.8 %, seguido del tamal de dulce con 70.5 %, atole con 66.9 % y las menores pérdidas fueron en toritilla con 29.7 %.

Para la zeaxantina, el comportamiento fue diferente, teniendo mayor retención al finalizar el proceso de nixtamalización (78.3 %), mientras que en los productos finales las mayores pérdidas se detectaron en el tamal de dulce con 86.4 %, seguido de el atole con 78.7 %, tamal de sal con 71 % y el producto con menores pérdidas de zeaxantina al igual que en luteína se presentaron en la tortilla.

Lo que respecta a β -Criptoxantina, en el producto nixtamalizado no se reportan pérdidas de este caroteno (101 %), mientras que para los productos finales se reportan pérdidas en el atole con 63 % y en el tamal de dulce con 33.5 %, mientras que se registran valores superiores al 100 % en tortilla con 111 % y en el tamal de sal con 122 % como era de esperarse por los incrementos cuantificados en las concentraciones de los productos.

El β -Caroteno reporta valores que se encuentran por encima del 100 % en la mayoría de los productos analizados, con 122 % para el grano nixtamalizado, para los productos finales se reporta 144.9 % para tortilla y 280.9 % para tamal de sal, y en los productos que hay pérdidas es mayoritaria en el atole con 89.5 % y en menor cantidad en el tamal de dulce con 44.7 %, tomando como referencia la concentración inicial del grano.

El comportamiento de la retención en la provitamina A fue similar a la de los carotenos precursores de la vitamina A, ya que se obtuvieron valores mayores al 100%, en el grano nixtamalizado de 109.7 %, para tortilla 125.1 % y para tamal de sal 186.9 %, las pérdidas se reportaron en atole (73.7 %) y en tamal dulce (38 %).

Para la variedad 1035 (figura 16b), el porcentaje de retención para luteína, indica que no existen pérdidas durante el proceso de nixtamalización, aunque en los productos finales las mayores pérdidas se registraron en el tamal dulce con 70.1 %, seguido por el atole con 63.6 %, tamal de sal con 56 %, mientras que la tortilla sobrepasa los valores con 113.4 %.

La zeaxantina tampoco se pierde durante el proceso de nixtamalización, aunque si durante procesamiento de los productos finales, en los cuales es mayor en atole con 83.3 %, seguido por el tamal de dulce con 82.1 %, el tamal de sal con 63.1 % y la tortilla con pérdidas mínimas de 0.09 %.

El comportamiento de la β -criptoxantina durante la nixtamalización es similar a los anteriores, debido a que no se reportan pérdidas durante este proceso, aunque no así en los productos finales, ya que en algunos se reportan pérdidas como en el atole con 68.8 % y en el tamal de dulce con 52.1 %, aunque para otros los valores son mayores al 100 % como el caso del tamal de sal con 110.9 % y la tortilla con 113 %.

El β -caroteno se pierde en un 16.3 % durante la nixtamalización, al igual que en el atole con pérdidas de 93 % y el tamal de dulce con 73.4 % y la tortilla con 13.6 %, aunque el valor del tamal de sal es de 134.5 %.

La retención de la provitamina A es del 100 % en el grano nixtamalizado, al igual que en la tortilla, el valor mayor es para el tamal de sal con 122.2 %, con pérdidas en el tamal de dulce de 62.2 %, pero principalmente en el atole con 80.3 %.

El gran aumento en el tamal de sal, como se ha comentado anteriormente, se atribuye al relleno, el cual al contener pulpa de jitomate, se llega a la conjetura que los carotenoides provenientes de éste, pudieron migrar hacia la masa y aumentar la concentración en ésta, ya que a pesar de que el principal carotenoide contenido en jitomate es el licopeno, en segundo lugar se encuentra el β -caroteno y en menor concentración β -criptoxantina (Rodríguez-Amaya, 1997) y logrando valores de porcentaje de retención del 100% en diferentes tipos

de cocción (Reddy *et al.*, 1995), mientras que en procesos más drásticos como la pasteurización, se reporte un porcentaje de retención del 79% (Dietz y Gould, 1986).

El incremento en los porcentajes de la tortilla en provitamina A para los dos genotipos, está directamente relacionado a los porcentajes de β -criptoxantina y β -caroteno, los valores superiores al 100 % para estos dos precursores de la vitamina A, no se consideran estadísticamente significativos como se explicó con el incremento de las concentraciones, por lo que no existen pérdidas durante el proceso.

El valor más bajo en las dos variedades corresponde al atole, esto debido a que la mayor parte de este producto es agua, y la masa de maíz se encuentra combinado con diversos ingredientes adicionales. Aunque comparando este producto con el *porridge* africano, la retención es muy similar y en algunas mayores como en β -criptoxantina, de acuerdo a lo reportado por Shanshan *et al.* (2007).

Por otro lado, al analizar la concentración de los compuestos en estudio presentes en el nejayote, a pesar de observar un color amarillo intenso en el líquido, como se puede apreciar en la figura 17, no se detectó la concentración de ningún compuesto, lo cual se atribuye a que los compuestos en el nejayote se encuentran por debajo del límite de detección del equipo o los componentes resultantes de la degradación son polares.



Figura 17 Nejayote proveniente del proceso de nixtamalización

La coloración también pudo haber sido dada por la presencia de la cal en el líquido. Otra teoría es que el color, puede estar dado igualmente por compuestos que no se pueden cuantificar a la longitud de onda a la cual se realizó la lectura en el equipo.

1.1.2 Prueba de aceptabilidad

Se realizó análisis hedónico sólo para los tamales y para el atole, con los dos distintos genotipos, los resultados son mostrados en la figura 18. Para la tortilla no se realizó debido a que se va a realizar otro trabajo específico para ello como ya se había mencionado en la metodología.

En general, tuvieron una buena aceptación, a pesar de la principal diferencia de color entre los productos realizados con el maíz híbrido amarillo y los que se consumen comúnmente hechos con maíz blanco.

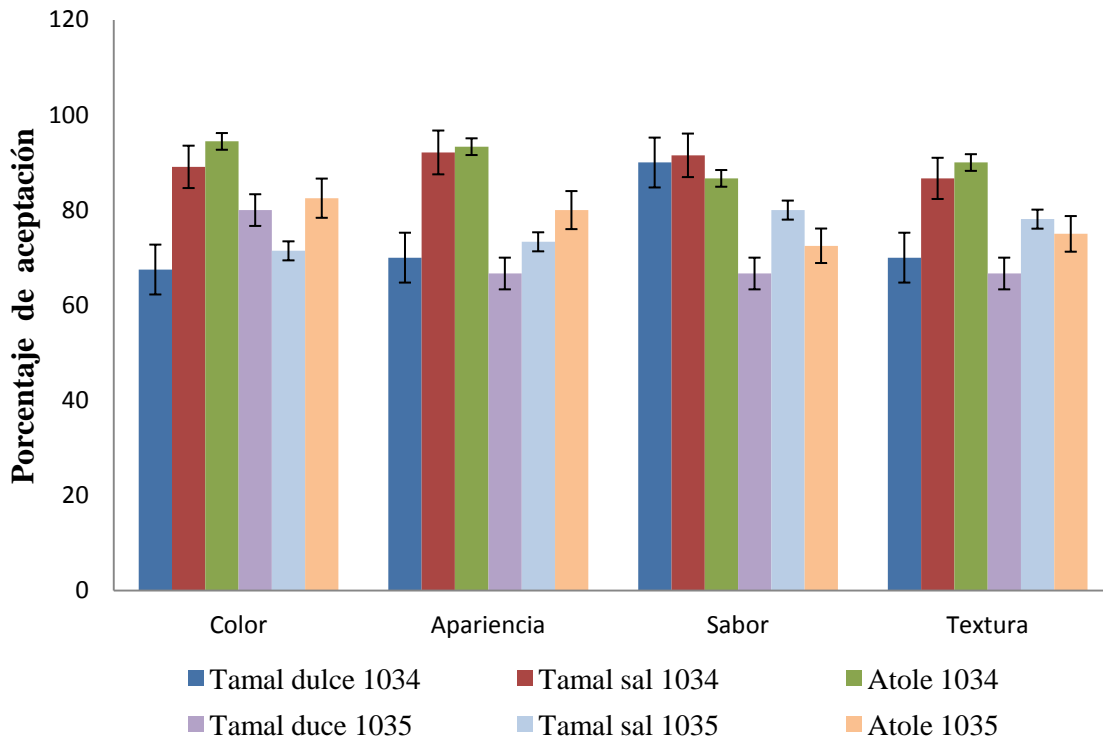


Figura 18 Porcentaje de aceptabilidad de los productos finales elaborados a partir de dos híbridos.

Aunque el genotipo 1034, es el más aceptado por la mayoría de las personas, en todos los parámetros en comparación con el 1035. El atole es el que tiene un mayor porcentaje de aceptación, esto debido a que el color no se vió afectado, ya que para este alimento el color es dado por el chocolate.

Un factor importante para definir la aceptación, es la edad, ya que las personas de mayor edad, y dado que el 50 % de los encuestados fueron mayores de 40 años, tienen completo conocimiento del procedimiento que se sigue y una referencia firme del producto final, tiene como consecuencia mayor renuencia por los cambios.

CONCLUSIONES

Al estudiar los parámetros físicos de los dos genotipos, se logró inferir el potencial nixtamalero de ambos granos, esto de acuerdo a lo establecido tanto por la industria nixtamalera, como por la norma mexicana para productos nixtamalizados.

En el estudio de la degradación de compuestos carotenoides durante el proceso de nixtamalización y la preparación de alimentos, se concluye que:

- Los granos por contener altas concentraciones de carotenoides precursores de vitamina A, son granos con un alto contenido vitamínico y pueden llegar a disminuir los problemas por deficiencia de ésta vitamina, al incrementar con ello la cantidad de ingesta diaria.
- Durante el proceso de nixtamalización, al cocer el grano entero, no se detectan reducciones significativas en los nutrientes.
- El tamal de sal, además de tener una materia prima con alto contenido de carotenoides, puede aumentar su valor nutricional hasta un 80%, dependiendo del relleno, incrementando de esta manera, la ingesta de nutrientes esenciales en productos tradicionales.
- Los valores de retención en tortilla, fueron relativamente mayores al 100% en algunos nutrientes, pero como dichas diferencias no son significativas, se concluye que no hay pérdida de carotenoides durante el proceso de preparación de tortillas.
- Los contenidos de carotenoides en el atole, son los más bajo, teniendo un máximo de 33% de porcentaje de retención, debido a que la masa se encuentra diluida en una

solución, donde la mayor proporción del producto es agua, pero a pesar de ello, contiene una cantidad considerable de los mismos.

- A pesar que los carotenos son muy sensibles a la luz, temperatura y oxidación, no se observaron pérdidas significativas durante la elaboración de cada tortilla y tamal de sal.
- No existe una gran diferencia bioquímica entre genotipos, pero a pesar de ello, el genotipo 1035 presentó menor variabilidad, aunque el 1034 presentó mejor retención a lo largo de la preparación de los productos.
- En general, la aceptación de los productos fue buena, pero se mostró una preferencia ligeramente mayor por la variedad 1034.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado L., J. 2009. Redacción y preparación del artículo científico. Tercera edición. Colegio de postgraduados. México. pp: 21-177.
- Anzaldúa, M. A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Ed. Acribia, S. A. de C. V. Zaragoza, España. p: 50-93.
- Barros, C. y Buenrostro, M. 1997. El maíz, nuestra sustento. Revista arqueología mexicana. 5: 6-15.
- Badui, D. S. 1993 Química de los alimentos. Ed. Alambra. México, D. F. pp: 107-130.
- Bechoff, A., Westby, A., Owor, C., Menya, G., Duique-Mayer, C., Dufour, D. and Tomlins, K. 2009 Effect of drying and storage on the degradation of total carotenoids in orange-fleshed sweetpotato cultivars. J. Sci. Food Agric. 90: 622-629.
- Cámara Nacional de Maíz Industrializado. 1994. La modernización de la industria del maíz para consumo humano. México, D. F. pp: 281-303.
- Carrión, H. O. 1996. Harina enriquecida de maíz nixtamalizado. *In*: Torres F., Moreno, E., Chong, I., Quintanilla, J. (eds). La industria de la masa y la tortilla, desarrollo y tecnología. México. UNAM. pp: 63-79.
- Casanueva, E. 1996. El maíz, la dieta y la salud en México. *In*: Torres F., Moreno, E., Chong, I., Quintanilla, J. (eds). La industria de la masa y la tortilla, desarrollo y tecnología. México. UNAM. pp: 109-114.
- Censo de Población y Vivienda. 1999. INEGI. 1: 109-305.
- CIMMYT 2009 Maíz biofortificado que mejora la nutrición y la salud. <http://apps.cimmyt.org/spanish/webp/wpp/flagsh/flag4.htm> Fecha de consulta: 17 de Julio 2010.
- Contreras, J. L. 1996 Caracterización de harina de maíz instantáneas obtenida por calentamiento óhmico. IPN. México. pp: 4-16.
- Desoirer, N. W. 1994. Elementos de tecnología de alimentos. Compañía editorial continental, S. A. de C. V. México. pp: 112-143.

- Dietz, J. M. y Would, W. A. 1986. Effect of process stage and storage on retention of β -carotene in tomato juice. *J. Food Sci.* 51:847:848.
- Engelmann, N. J., Clinton, S. K. y Erdman J. W. 2011. Nutritional aspects of phytoene and phytofluene, carotenoid precursors to lycopene. *Am Soc Nutr.* 2:51-61
- FAO 1993. El maíz en la nutrición humana. Departamento de agricultura. p 168. <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S03.htm> Fecha de consulta: 10 de Julio 2010.
- FAO 2007 Produccion agrícola. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> Fecha de consulta: 8 de Julio 2010.
- Farré, G., Sanahuaja, G., Naqui, S., Bai, Ch., Capell, T., Zu, Ch. y 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 carotenoid bioavailability. *Biochemical et Biophysica.* 1740:95-100.
- Flores, F. S. 2004. Obtención de almidón con tamaño de partícula reducido mediante pulverizado mezclado con alta energía. Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. IPN. México, D. F. p 122.
- Fournier, G. P. 1996. El maíz y la tortilla en la historia prehispánica. *In:La industria de la masa y la toritilla. Desarrollo y tecnología.* Torres, F. *et al.* (editors). UNAM. México.
- González, A. U. 1995. El maíz y su conservación. Ed. Trillas. México. pp: 298-334.
- Gortner, W. A. y Singleton, V. L. 2006. Chemical and physical development of the pineapple fruit. *J. Food Sci.* 30: 19-23.
- Harvest Plus 2010 <http://www.harvesplus.org/content/will-zambia-consumers-accept-orange-maize>. Fecha de consulta: 19 de Julio 2010
- Hosney, R. C. 1991. Principios de la ciencia y tecnología de los cereales. Department of grain Science and Industry. Kansas State University. Ed. Acribia, S. A. España.
- Howe, J. A. y Tanumihardjo, S. A. 2006. Carotenoid-biofortified maize maintains adequate vitamin A status in Mongolian gerbils. *J Nutr.* 136:2562-2567.

- Huang, A. H. C. 1992. Oil bodies and oleosin in seeds. *Annu. Review Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:177-200.
- Illera, M. M., Illera, del P. J. y Illera, del P. J. C. 2000. *Vitaminas y minerales*. Editorial complutense. España.
- Inglett, G. E. 1970 Kernel structure, composition and quality. Cap. 7 *In: corn: culture, processing, products*. The AVI publishing, Co. Inc. Westport C. T. USA. pp: 369.
- Jugenheiner, R. W. 1988. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Tercera edición. Ed. Limusa. México. D. F. pp: 23-71.
- Kiesselbach, T. A. y Walker, E. R. 1952. Structure of specialized tissues in the kernels of corn. *Am J Bot.* 39:717-725.
- King, J. C., 2002. Evaluation the impact of plant biofortification on human nutrition. *J. Nutr.* 132:5115-5135
- Klaus, J. L. y Karel, K. 1991 *Handbook of Cereal Science and Technology*. 23(2): 321-325.
- Lee, C. M., Boileau, A. C., Boileau, T. W. M., Williams, A. W., Swanson, K. S., Heintz, K. A. y Erdman, Jr. J. W. 1999. Review of animal models in carotenoid research. *J Nutr.* 99:2271-2277.
- Lenninger, A. L. 1980. *Bioquímica*. 2ª edición. Ed. Omega. Barcelona. España. Pp: 1117.
- Llanos, C. M. 1984. *El maíz: su cultivo y aprovechamiento*. Ediciones mundiprensa. Madrid, España. P 15-23
- Lomelí, E. A. 1996. El consumidor ante la controversia sobre la tortilla sobre la tortilla. *In: La industria de la masa y la tortilla*. Torres, F., Moreno, E., Chong, I., Quintanilla, J. (eds). Programa Universitario de Alimentos, UNAM. México, D. F. pp: 81-93
- Lozano-Alejo, N., Vázquez, C. G., Pixley, K., Palacios-Rojas, N. 2007 Physical propriertis and carotenoid content of maize kernels and its nixtamalized snacks. *Innovate food science & emerging technologies*. 8: 385-389.
- Martin de Portela, P. M. 2006. Componentes nutricionesl del grano de maíz. *Recopilaciones ILSI*. Argentina 2:44-50

- Martínez, M. A. 2003. "Carotenoides" Universidad de Antioquia. Medellín. pp: 7-10
- Meilgaard, M. 1991. Sensory evaluation techniques. Elsevier Applied Publishers INC. New York, USA. pp: 8-350
- Meléndez-Martínez, A., Vicario, I. M., Heredia, F. J. 2004 Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. Scielo 54(2):209-215.
- Mínguez, M. I. 1997. Clorofilas y carotenoides en tecnología de alimentos. Universidad de Sevilla. España. pp: 91-128.
- Moreno, Y., Saaverdra, S. A., Soria, R. J., Espinosa, T. E. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays L.*) amarillos cultivados en el Estado de México. Agricultura Técnica de México. 34(3): 357-364.
- Muñoz, A. M., Cicille, G. V., Carr, B. T. 2008. Sensory evaluation in quality control. New York. USA.
- Murphy, E. W., Criner, P. E., Gray, B. C. 1975. Comparisons of methods for calculating retention of nutrients in cooked foods. J. Agric. Food Chem. 23: 1153-1157.
- Napier, J. A., Storbart, A. K. y Shewry, P. R. 1996. The structure and biogenesis of plant oil bodies. Plant Mol Biol. 31:945-956.
- NMX-FF-034/1-SCFI-2002. Productos alimenticios de maíz. Norma mexicana. Secretaría de Fomento Industrial. Dirección de Normas.
- Novelo, V. 1997. Las tortillas calientes, patrimonio cultural. Revista arqueología mexicana. 5: 62-71.
- Olmedo, V. G. 1958. Investigaciones tecnológicas sobre calidad de semillas de maíz. Ed. Oropeza. México. p 3-26.
- Ordoñez, P. J., Cambero, R. M., Fernández, A. L., García, S. M., García de Fernando, M. G., de la Hoz, P. L. y Selgas, C. M. 1998. Tecnología de los alimentos. Ed. Síntesis. España.
- Paredes-López, O. y Saharapuulus, M. E. 1982. Scanning electron microscopy studies on line corn kernel for tortilla making. J. Food. Tech. 17:687-693.
- Pérez, C. R. 2000. Estudio de validación de la metodología para la determinación de vitamina A en alimentos infantiles instantáneos por cromatografía líquida de alto

- rendimiento (HPLC). *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. 17(1): 26-29.
- Quintanar-Hernández, J. A. 1996. Efecto de los carotenoides presentes en chile verde (*Capsicum spp*) de mayor consumo contra toxinas en alimentos. UAQ. P 98.
 - Reddy, V., Vijayaraghavan, K., Bhaskarachary, K. y Rani, M. 1995. "Carotene rich foods: The Indian experience." In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantsvisut y G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition. 15-28.
 - Reyes, C. P. y Gooding, C. M. 1970. Corn oil in corn: culture, processing, products. G. E. Inglett, Ed. AVI publishing, Inc. Westport C. T. p 241-262.
 - Rodríguez, H. S., Antuna, G. O., Arámbula, V. G., Palomo, G. A., Gutiérrez, A. E., Espinosa, B. A., Navarro, O. E., Andrio, E. E. 2008. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces criollos de México. *Rev. Fitotecnia Mexicana*. 31(3):23-27.
 - Rodríguez, C. F. 2011. Al que nace pa tamal... *Rev Clar Agr Apo Serv Com Agr*. 210:40-47.
 - Rodríguez-Amaya, D. B. 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.
 - Rojas-Molina, I., Espinosa-Arbeláez, D. G. y Rodríguez, M. E. 2009. Influencia de la temperatura en los cambios morfológicos de películas orgánicas durante el proceso de nixtamalización. X Congrso nacional de microscopía. Morelia.
 - Salinas, M. y Vázquez, C. 2006. Metodologías de análisis de la calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Folleto técnico Núm. 23. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Edo. De México. México. 91 p.
 - Salinas, M. Y., Saavedra, A. S., Soria, R. J., Espinosa, T. E. 2008 Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays L.*) amarillos cultivados en el Estado de México. *Red de revistas científicas de América latina, el Caribe, España y Portugal*. 34(3):357-364.
 - Shansahn, L., Francis, A. K., Young, M. F., Torbert, R. y White, W. S. 2007. Retention of provitamin A carotenoides in high β -carotene maize (*Zea maize*)

- during traditional African household processing. *J Agric Food Chem.* 55:10744-10750.
- Sidel, J. L., Stone H. y Bloomquits, J. 1981. Use and misuse of sensory evaluation in research and quality control. *J. Dairy Sci.* 64:2296-2302.
 - Stoskopf, N. C. 1985. *Cereal grain crop.* Reston Publishing Company, Inc. Reston, Virginia. USA.
 - Tanumihardjo, S. A. y Howe, J. A. 2005. Twice the amount of α -carotene isolated from carrots is as effective as β -carotene in maintaining the vitamin A status of Mongolian gerbils. *J Nut.* 5:2622-2626.
 - Thankkar, S. K. y Failla, M. L. 2008. Bioaccessibility of pro-vitamin A carotenoids in minimally affected by non pro-vitamin A Xanthophylls in maize (*Zea mays sp.*). *J. Agric. Food Chem.* 56:11441-11446.
 - Torres, F., Moreno, E., Chong, I., Quintanar, J. 1996. La industria de la masa y la tortilla: desarrollo y tecnología. UNAM. México. pp: 94-138.
 - Van het Hof, K. H., West, C. E., Weststrate, J. A. y Hautvast, J. G. A. J. 2000. Dietary factors that affect the bioavailability of carotenoids. *Am. Soc. Nutr. Sci.* 22:503-506.
 - Vázquez C. M., Ramírez, D. J. L., Vidal, M. V., Chuela, B. M., Velázquez, C. G., Betanzos, M. E. y Salinas, M. Y. 2008. Caracterización de maíces subtropicales del INIFAP para la producción de harina nixtamalizada y tortillas. Folleto técnico Núm. 2. Campo experimental Centro-Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jal. Mexico. 40 p.
 - Watson, S. A. y Ramstad, P. E. 1987. *Corn: chemistry and technology.* Cereal chem. Inc. st. Paul, Minnesota, USA. P 21-123
 - Whistler, R. L., BeMiller, J., Paschall, E. F. 1984. *Starch Chemistry and technology.* Academic Press In., New York.

ANEXOS

ANEXO A: RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS POR TUKEY PARA EL GENOTIPO 1034

LUTEINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	56.79419408	5.16310855	25.43	<.0001
Error	24	4.87184467	0.20299353		
Corrected Total	35	61.66603875			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.920996	23.95576	0.450548	1.880750

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	56.79419408	5.16310855	25.43	<.0001

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	0.202994
Critical Value of Studentized Range	5.09913
Minimum Significant Difference	1.3264

ZEAXANTINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Squares	Sum of Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	138.6165456	12.6015041	67.53	<.0001
Error	24	4.4786660	0.1866111		
Corrected Total	35	143.0952116			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.968701	17.58817	0.431985	2.456111

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	138.6165456	12.6015041	67.53	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	0.186611
Critical Value of Studentized Range	5.09913
Minimum Significant Difference	1.2718

B-CRIPTOXANTINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	76.87635633	6.98875967	145.26	<.0001
Error	24	1.15469467	0.04811228		
Corrected Total	35	78.03105100			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.985202	8.284990	0.219345	2.647500

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	76.87635633	6.98875967	145.26	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	0.048112
Critical Value of Studentized Range	5.09913
Minimum Significant Difference	0.6457

B-CAROTENO

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	28.37877231	2.57988839	36.94	<.0001
Error	24	1.67603067	0.06983461		
Corrected Total	35	30.05480297			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.944234	22.83976	0.264262	1.157028

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	28.37877231	2.57988839	36.94	<.0001

The SAS System

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 24
Error Mean Square 0.069835
Critical Value of Studentized Range 5.09913
Minimum Significant Difference 0.778

PROVITAMINA A

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	88.15925141	8.01447740	67.70	<.0001
Error	24	2.84122901	0.11838454		
Corrected Total	35	91.00048042			

R-Square 0.968778
Coeff Var 13.86954
Root MSE 0.344071
y Mean 2.480764

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	88.15925141	8.01447740	67.70	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha 0.05
Error Degrees of Freedom 24
Error Mean Square 0.118385
Critical Value of Studentized Range 5.09913
Minimum Significant Difference 1.0129

**ANEXO B: RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE MEDIAS POR TUKEY
PARA EL GENOTIPO 1035**

LUTEINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	72.15682164	6.55971106	47.61	<.0001
Error	24	3.30666133	0.13777756		
Corrected Total	35	75.46348297			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.956182	17.60858	0.371184	2.107972

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	72.15682164	6.55971106	47.61	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	0.137778
Critical Value of Studentized Range	5.09913
Minimum Significant Difference	1.0928

ZEAXANTINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	171.8476736	15.6225158	64.08	<.0001
Error	24	5.8508407	0.2437850		
Corrected Total	35	177.6985143			

R-Square	Coeff Var	Root MSE	y Mean
0.967074	17.36317	0.493746	2.843639

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	171.8476736	15.6225158	64.08	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	24
Error Mean Square	0.243785
Critical Value of Studentized Range	5.09913
Minimum Significant Difference	1.4536

B-CRIPTOXANTINA

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	89.20729889	8.10975444	44.28	<.0001

Error 24 4.39531800 0.18313825

Corrected Total 35 93.60261689

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean
 0.953043 15.25354 0.427947 2.805556

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	89.20729889	8.10975444	44.28	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 24
 Error Mean Square 0.183138
 Critical Value of Studentized Range 5.09913
 Minimum Significant Difference 1.2599

B-CAROTENO

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	19.72532167	1.79321106	13.32	<.0001
Error	24	3.23201733	0.13466739		
Corrected Total	35	22.95733900			

R-Square Coeff Var Root MSE y Mean
 0.859216 34.22701 0.366971 1.072167

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	19.72532167	1.79321106	13.32	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 24
 Error Mean Square 0.134667
 Critical Value of Studentized Range 5.09913
 Minimum Significant Difference 1.0804

PROVITAMINA-A

The ANOVA Procedure

Dependent Variable: y

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	11	88.31270608	8.02842783	26.11	<.0001
Error	24	7.37992267	0.30749678		
Corrected Total	35	95.69262875			

R-Square 0.922879
 Coeff Var 22.85361
 Root MSE 0.554524
 y Mean 2.426417

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
tra	11	88.31270608	8.02842783	26.11	<.0001

The ANOVA Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for y

Alpha 0.05
 Error Degrees of Freedom 24
 Error Mean Square 0.307497
 Critical Value of Studentized Range 5.09913
 Minimum Significant Difference 1.6325