



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

EVALUACION DEL EFECTO DEL EMPLEO DE
CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO Y DOS
TENSOACTIVOS EN LA ELABORACION DE
TORTILLA DE MAIZ

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
MARTHA RODRIGUEZ TORAL

ASEORES: M. EN C. DORA LUZ VILLAGOMEZ ZAVALA
M. EN C. JOSE SATURNINO MONROY RUIZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1995



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 está 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.

FALLA DE ORIGEN

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
Exámenes Profesionales



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLAN
P R E S E N T E .

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Evaluación del efecto del empleo de Carboximetil Celulosa de Sodio y dos Tensoactivos en la elaboración de tortilla de maíz."

que presenta la pasante: Martha Rodríguez Toral
con número de cuenta: 8613438-3 para obtener el TITULO de:
Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 27 de noviembre de 199 5

PRESIDENTE I.B.Q. Fernando Beristain Fernando Beristain

VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster Norma B. Casas Alencaster

SECRETARIO M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala Dora Luz Villagómez Zavala

PRIMER SUPLENTE Dra. Sara E. Valdés Martínez Sara E. Valdés Martínez

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Rosalía Meléndez Pérez Rosalía Meléndez Pérez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a mis padres todo el esfuerzo y la dedicación diaria en esto de la vida familiar.

Un agradecimiento muy especial a la M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala por toda la ayuda, paciencia y asesoría brindadas para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a mis hermanos: Miguel, Alberto, Lilia, Juan y Aristeo; el aguante y apoyo que me brindan siempre.

A alimentos FRAMEX, por la confianza y por proporcionar el material necesario para la realización del tema.

Al maestro José Monroy por su importante colaboración en la planeación del trabajo y en el análisis de datos.

A todas las personas que desinteresadamente auxiliaron en la parte experimental.

A los miembros del jurado por sus valiosos comentarios.

A Claudia, Alma y José Juan por todo el aprecio.

A toda esa gente conocida y desconocida que tuvo y tiene que ver con mi educación.

INDICE

INTRODUCCION.....	1
1. EL MAIZ COMO ALIMENTO HUMANO.....	6
1. 1 ORIGEN DEL MAIZ.....	6
1. 2 CARACTERISTICAS DE LA PLANTA DE MAIZ.....	7
1. 3 ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAIZ.....	9
1. 4 VARIEDADES DE MAIZ.....	12
1. 5 COMPOSICION QUIMICA DEL MAIZ.....	14
1. 6 ASPECTOS ECONOMICOS DEL MAIZ EN MEXICO.....	17
1. 6. 1 INDUSTRIA DE LA TORTILLA EN MEXICO.....	20
1. 7 PROCESO TRADICIONAL DE ELABORACION DE TORTILLA.....	22
1. 8 HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO.....	26
1. 9 PRODUCCION INDUSTRIAL DE TORTILLA.....	27
1. 9. 1 METODOS PARA OBTENER LA MASA DE NIXTAMAL.....	27
1. 9. 2 OBTENCION DE LA TORTILLA.....	29
1. 9. 3 USO DE HARINA DE NIXTAMAL EN LA ELABORACION DE TORTILLA.....	31

1. 10 CAMBIOS DURANTE LA ELABORACION DE LA TORTILLA DE MAIZ.....	33
1. 10. 1 EFECTOS EN COMPOSICION QUIMICA.....	33
1. 10. 2 CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL MAIZ.....	35
1. 10. 3 ASPECTOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCION DE HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO.....	36
2. USO DE ADITIVOS EN ALIMENTOS DERIVADOS DE CEREALES.....	39
2. 1 FENOMENOS QUE DETERIORAN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE CEREALES.....	39
2. 1. 1 RETROGRADACION DEL ALMIDON.....	40
2. 1. 2 ENVEJECIMIENTO EN TORTILLA DE MAIZ.....	42
2. 2 AGENTES TENSOACTIVOS.....	44
2. 2. 1 FUNCION DE LOS AGENTES TENSOACTIVOS.....	45
2. 3 MONOGLICERIDOS.....	46
2. 4 TEORIAS SOBRE LA FUNCIONALIDAD DE LOS TENSOACTIVOS EN PRODUCTOS DE CEREALES.....	48
2. 4. 1 FORMACION DE COMPLEJOS CON LA AMILOSA.....	49
2. 4. 2 RELACION CON LA AMILOPECTINA.....	51

2. 4. 3 FENOMENOS QUE DETERMINAN LA FUNCIONALIDAD DE LOS MONOGLICERIDOS.....	52
2. 5 GOMAS DE USO ALIMENTARIO.....	55
2. 5. 1 SELECCION DE GOMAS PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS	55
2. 6 FUNCIONES DE LAS GOMAS HIDROSOLUBLES USADAS EN PRODUCTOS DE CEREALES.....	56
2. 7 CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.....	59
2. 7. 1 CARACTERISTICAS DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.....	59
2. 7. 2 ESTRUCTURA DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.....	60
2. 7. 3 COMPOSICION DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.....	61
2. 7. 4 SOLUBILIDAD DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.....	62
2. 7. 5 APLICACIONES DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA EN ALIMENTOS DE CEREALES.....	62
2. 8 CONSERVADORES ALIMENTARIOS PARA PRODUCTOS DE CEREALES.....	66
2. 9 SORBATO DE POTASIO.....	66
2. 9. 1 USOS DEL SORBATO DE POTASIO.....	67
2. 10 ACIDO FUMARICO.....	68
2. 10. 1 UTILIZACION DE ACIDO FUMARICO EN ALIMENTOS.....	69
2. 11 USO DE SORBATO DE POTASIO Y ACIDO FUMARICO EN TORTILLA.....	70
3. MATERIALES Y METODOS.....	71

4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	93
5. CONCLUSIONES.....	137
6. RECOMENDACIONES.....	140
BIBLIOGRAFIA.....	142

INTRODUCCION

El cereal más importante en México es el maíz, ocupa un lugar preponderante en la dieta del pueblo mexicano en forma de tortilla. La preparación de tortilla comprende tres operaciones fundamentales: nixtamalización, molienda y manufactura de la tortilla a partir de la masa. La nixtamalización consiste en la cocción del maíz con cal y agua, seguida de un reposo por períodos comprendidos entre 10 a 15 horas. Los granos cocidos se lavan y se muelen en un molino de piedra para la obtención de la masa. Obtenida ésta se procede a la manufactura de la tortilla, que a nivel comercial se realiza en máquinas tortilladoras.

Las propiedades físicas, químicas, los atributos de sabor, color y suavidad de la tortilla de maíz, así como las características de manejo de la masa, están determinadas por el tipo de maíz, las condiciones de nixtamalización, molienda y obtención de la tortilla como tal. Actualmente, no se tiene estandarizada su producción ni existe una Norma Oficial Mexicana para la obtención de tortilla. Pueden encontrarse diferentes tipos de establecimientos relacionados con la producción de tortilla: molinos de nixtamal, tortillerías con molino y tortillerías donde emplean masa o harina de maíz nixtamalizado.

Tradicionalmente, la masa de nixtamal se elabora en los molinos pero el problema de su conservación creó la necesidad de transformarla en harina. El

harina de maíz nixtamalizado ha ido ganando terreno paulatinamente en el campo de la producción de tortillas a nivel masivo gracias a las ventajas de manejo que representa su uso, como son: el largo tiempo de conservación y la facilidad en la obtención de la masa. Pero el proceso de obtención de harina de nixtamal provoca que las tortillas hechas con dicho producto se endurezcan más rápido que las elaboradas con masa fresca, debido a las condiciones del almidón en el harina a consecuencia del proceso.

La aceptación de un alimento por el consumidor depende de muchos factores como lo son el sabor, la textura, el valor nutritivo, la vida de anaquel, la facilidad de fabricación y la apariencia en general. La industria alimentaria frecuentemente requiere de la adición de ciertas sustancias químicas que le permitan obtener las características que el consumidor prefiere. Dichas sustancias se denominan aditivos alimentarios.

En el caso de la tortilla de maíz los factores que determinan su aceptación son: la necesidad de consumirla caliente, que pueda hacerse taco fácilmente, el color, olor y que mantenga éstas características después del recalentamiento.

Los cambios en los constituyentes del almidón son la principal causa de las modificaciones que conducen al envejecimiento de productos derivados de cereales, tales como las tortillas.

El fenómeno de envejecimiento involucra una serie de cambios químicos y físicos que tienen consecuencias sobre la textura y el sabor de los productos de

coctimiento que contienen almidón. La principal causa de envejecimiento se atribuye a la retrogradación y cristalización de los componentes del almidón (amilosa y amilopectina). La adición de sustancias que puedan formar complejos con los componentes del almidón ayudan a retrasar la retrogradación y consecuentemente el envejecimiento. Entre los compuestos más efectivos para formar complejos con la amilosa se encuentran los tensoactivos, del tipo monoglicéridos y se asegura que pueden formar complejos con la fracción lineal de la amilopectina.

Existen algunos trabajos donde se ha evaluado la acción de monoglicéridos, gomas y diversos aditivos, en las propiedades de la tortilla de maíz, tales como, la pérdida de humedad, la flexibilidad, la textura, etc. Los tensoactivos comercialmente preparados o la glicerina son adicionados en algunas ocasiones a las tortillas de trigo con el objeto de mejorar su flexibilidad y aptencia, principalmente, pero no se utilizan comúnmente en tortilla de maíz, sin embargo puede justificarse su incorporación a este tipo de tortilla con la intención de mejorar su textura. Algunos fabricantes adicionan aditivos como la goma Carboximetil celulosa de sodio, o algún tipo de tensoactivo en tortillas de trigo y maíz.

Es común, el uso de estabilizantes y emulsificantes en muchos productos alimenticios, en el caso de alimentos derivados de cereales se utilizan, principalmente, a causa de los cambios que sufre el almidón. Las sustancias que puedan formar complejos con los componentes del almidón, así como con otros

constituyentes presentes en este tipo de alimentos, son útiles en otorgar un aumento en su vida útil.

Las gomas pueden actuar como agentes estabilizantes de un sistema debido a su capacidad para formar complejos con el agua libre presente. Entre las gomas de mayor uso por su disponibilidad y precio se encuentra la Carboximetil celulosa de sodio, muy usada en productos de panificación.

Los trabajos existentes con respecto a la tortilla de maíz no han sido elaborados para una realidad como la de México, ya que no consideran la disponibilidad de materiales y equipo, con los que se cuenta en nuestro país para elaborar un alimento, tan común. Es importante investigar el por qué la vida útil de la tortilla de maíz es corta, así como el encontrar los caminos para retardar el envejecimiento y mejorar las propiedades de textura de la tortilla. La mayoría de los métodos de evaluación que se han utilizado en diversas investigaciones relacionadas con la tortilla de maíz son costosos y poco prácticos si se aplicaran a un local comercial donde se elabora mecánicamente la tortilla. Sin embargo, es necesario implementar métodos de evaluación aplicables a nuestro contexto.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo fue:

"Alargar la vida útil de la tortilla de maíz empleando Carboximetil celulosa de sodio y dos tensoactivos (Mono- y diglicéridos y Monoglicéridos destilados), además de una mezcla entre ellos".

Los objetivos particulares fueron:

1. Determinar la concentración de Carboximetil celulosa de sodio que sea útil para alargar la vida útil de la tortilla de maíz elaborada en un establecimiento comercial.

2. Encontrar las concentraciones de Mono- y diglicéridos y Monoglicéridos destilados que sean efectivas para conservar las propiedades durante el almacenamiento de la tortilla de maíz producida en un local comercial.

3. Seleccionar mezclas de goma y tensoactivos a partir de la eficacia individual de cada uno de ellos en la conservación de las características de la tortilla de maíz, con el fin de superar las mejoras encontradas.

4. Evaluar el empleo de la goma y los dos tensoactivos seleccionados sobre las etapas involucradas en la elaboración mecánica de la tortilla de maíz para determinar su efecto en el proceso.

EL MAIZ COMO ALIMENTO HUMANO

El maíz (*Zea mays L.*) es un cereal que tiene una gran importancia en la alimentación de una buena parte de la población Latinoamericana, principalmente de Centro América, además a nivel mundial su cultivo se encuentra dentro de los que mayores volúmenes de producción logran, junto con el arroz y el trigo ^[1, 2, 3].

1.1 ORIGEN DEL MAIZ.

El maíz es originario del hemisferio oeste, siendo el único cereal que se cultivaba preponderantemente por grupos indígenas de América.

Se dice que los centros de origen del maíz comprenden desde Centro América, a partir del sur de México hasta Perú, extendiéndose después al norte, hasta Canadá y al sur hacia Argentina. En 1964 se describió la evolución de los especímenes del maíz basada en 24 000 especies que se encontraron cavernas localizadas en el Valle de Tehuacán, Puebla en México, cuya edad se calculó en 7000 años. A partir de ello se dedujo la probabilidad de que el maíz tenía mazorcas de 2.5 cm de altura cubiertas por 2 vainas; cuando los elotes envejecían las vainas se abrían permitiendo que las semillas se dispersaran. En la parte superior de la mazorca se encontraba la espiga macho que medía de 2.5 a 5 cm. Los granos eran

redondos que podían ser de color café o naranja. Al transcurrir el tiempo se hizo una selección de las semillas más grandes de las mazorcas que contaban con un mayor número de dientes de maíz que junto con otras características condujeron a la apariencia actual del maíz. Se cree que esa especie antigua se trataba de la teosinta (*Z. mexicana*). Existe una segunda teoría que dice que el maíz proviene de una vaina silvestre que después fue domesticada. Sin embargo, particularmente en México hay una gran relación entre la teosinta y el maíz, probablemente ocurrida durante siglos y siglos hasta nuestros días ^(1, 2).

1.2 CARACTERISTICAS DE LA PLANTA DE MAIZ.

El maíz es una planta anual que pertenece a la familia de las gramíneas, al género *Zea mays*, el cual cuenta con una sola especie, pero con diferentes variedades que se caracterizan por la forma de la semilla. Es una planta herbácea que alcanza de dos a cuatro metros de altura con raíz fasciculada, tallo recto formado por nudos cilíndricos de mayor o menor diámetro unidos por nudos de los cuales nacen las hojas a uno y otro lado (disticas), clasificándose como alternas, envainantes, ásperas, velludas, con nervaduras paralelas (Figura 1.1) ^(1, 2, 3).

La planta de maíz es monoica por lo que sus flores son unisexuales, encontrándose en diferentes partes de la planta. Los órganos masculinos se localizan en la extremidad del tallo, denominándose panojas. Los órganos femeninos están formados por una espiga gruesa que nace en los nudos, las partes

flores están insertadas de dos en dos en filas a lo largo del eje de la espiga y llevan seis envolturas que protegen al ovario que se continúa con un largo estilo (cabellito de elote) [2].

El grano de maíz es un fruto completo ya que se trata del ovario desarrollado de la planta. La mazorca está constituida por el carozo, los granos y las brácteas. El carozo es un eje cilíndrico cubierto de celdillas en hileras, entre las cuales se insertan los granos; las brácteas son hojas modificadas que envuelven a la mazorca y son ásperas, fibrosas, elásticas e impermeables. La primera capa que cubre a los granos es muy fina y por grados va perdiendo elasticidad y finura [2, 3].

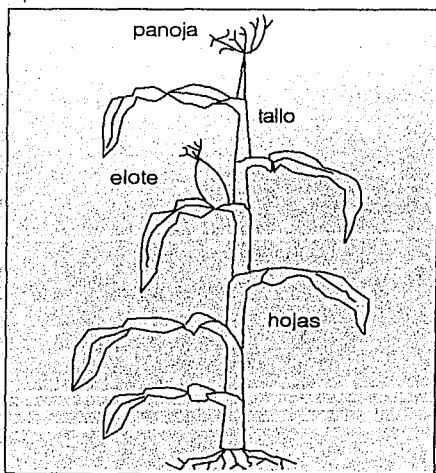


Figura 1.1: Planta de maíz.

1.3 ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ.

El maíz es un fruto individual conocido como grano o diente, se clasifica botánicamente como un carióspside; que es del tipo de frutos en los que la pared del ovario maduro (pericarpio) no se separa naturalmente de la semilla. (como en todos los granos de cereales); sus principales partes anatómicas son: el germen, endospermo, aleurona, punta y pericarpio (Figura 1.2). El grano se une al carozo por el pedicel, el cual se encarga de conducir los productos de la fotosíntesis en el desarrollo del grano. Al desprenderse el grano del carozo queda una estructura cónica adherida al diente de maíz conocida como punta o "cabeza" [1, 2].

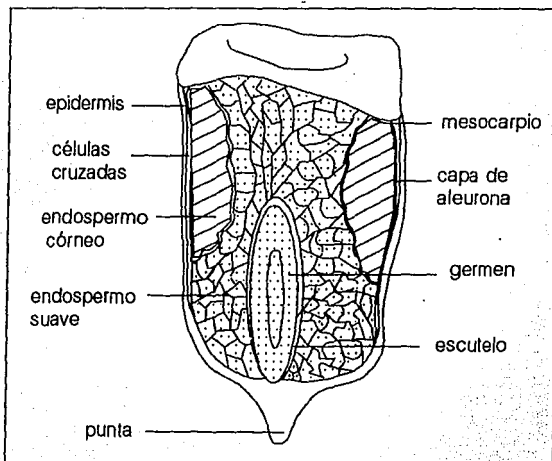


Figura 1.2. Estructura del grano de maíz.

- GERMEN. El germen ocupa del 10-12% del peso en base seca del grano de maíz (Tabla I.1); se compone del embrión, del escutelo y de la plúmula. El escutelo tiene la función de ser el sistema nutritivo del embrión y se conoce como la primera hoja. Su función también es la de alimentación, pues ayuda a la digestión del endospermo durante el crecimiento inicial de la semilla. El germen almacena nutrientes y hormonas ^[2].

- ENDOSPERMO. El endospermo es la parte más grande que compone al grano de maíz ya que constituye del 82-84% del peso base seca del grano de maíz y se compone de 86-89% de almidón (Tabla I.1). El endospermo es de dos tipos harinoso (o suave) y córneo, distinguiéndose por la composición de la matriz proteica que los cubre y por el tipo de células ^[2].

- ALEURONA. La aleurona es una capa de células simples localizadas entre el endospermo y el pericarpio, ocupa alrededor del 2% base seca del grano de maíz. Está capa cubre completamente al endospermo y al germen, interrumpiéndose en la "capa de hilar" localizada en la punta del maíz ^[2].

- PERICARPIO. Todos los tejidos o capas externas que cubren a la semilla son la protección del fruto y colectivamente se llaman pericarpio. El pericarpio es cerca de 5-6% en base seca del total del grano de maíz (Tabla I.1). La capa celular más interna, esta formada por una fila de tubos longitudinales unidos fuertemente a la capa de aleurona. La siguiente capa es la de células cruzadas de estructura muy

suave debido a sus espacios intercelulares. Dicha capa está cubierta por otra capa pegajosa y compacta, conocida como mesocarpio ⁽¹⁾.

TABLA I.1. COMPOSICION DEL GRANO DE MAIZ POR PARTES IMPORTANTES Y COMPONENTES QUIMICOS.

Parte anatómica	Peso seco del grano de maíz (%)	Almidón (%)	Grasa (%)	Proteínas (%)	Caninos (%)	Azúcares (%)
Endospermo						
media	82.9	87.6	0.80	8.0	0.30	0.62
rango	81.8-83.5	86.4-89.9	0.7-1.0	6.9-10.4	0.2-0.5	0.5-0.8
Germen						
media	11.1	8.3	33.2	18.4	10.5	10.8
rango	10.2-11.9	5.1-10.0	31.1-35.1	17.3-19.0	9.9-11.3	10.0-12.5
Pericarpio						
media	5.3	7.3	1.0	3.7	0.8	0.34
rango	5.1-5.7	3.5-10.4	0.7-1.2	2.9-3.9	0.4-1.0	0.2-0.4
Punta						
media	0.8	5.3	3.8	9.1	1.6	1.6
rango	0.8-1.1	.....	3.7-3.9	8.1-10.7	1.4-2.0	.....
Grano completo						
media	100	73.4	4.4	9.1	1.4	1.9
rango	.....	67.8-74.0	3.9-5.8	8.1-11.5	1.3-1.5	1.6-2.2

Fuente: Watson, Stanley, "Corn: Chemistry and Technology" ⁽²⁾.

- PUNTA. El interior de la punta es esponjoso, con células formando una estrella, conectadas solamente por los extremos, de esta manera forman una estructura continua con la capa de células cruzadas. La cabeza constituye cerca del 1% del peso en base seca del grano ^[2] (Tabla I.1).

1. 4 VARIEDADES DE MAIZ.

La clasificación entre las razas se basa en 1) características típicas de la planta y la mazorca, 2) diferencias fisiológicas, genéticas y citológicas y 3) origen geográfico de la variedad^[2, 3]. En general, los tipos principales de maíz son:

1. *Zea indentata* (maíz dentado). Sus granos tienen forma de diente con una hendidura en la cresta. El maíz dentado, el cual es el grupo de mayor cultivo en el mundo, se utiliza para alimentación animal y para consumo humano ^[3].

2. *Zea tunicata* (maíz envainado o tunicado). El grano de esta variedad tiene una corona redondeada y los granos son duros debido a un gran volumen de endospermo córneo. Se distingue del maíz dentado porque el grano es de forma redonda y no presenta la hendidura en la cresta. Esta clase de maíz ha tenido importancia como material genético para el mejoramiento del maíz, aunque es utilizado como alimento en Argentina, algunas partes de Italia y África ^[2, 3].

3. *Zea amylacea* (maíz harinoso). El grano que corresponde a esta variedad tiene una cima redonda o aplanada con un endospermo suave, es sumamente largo, comparado con otros tipos. El endospermo es muy delgado y el pericarpio es menos

resistente que el de la variedad dentada. Esta característica facilita su molienda para la producción de harina. Esta variedad de maíz se cultiva solamente en ciertas poblaciones campesinas en América Latina para autoconsumo. También se ha utilizado en programas para el mejoramiento genético del maíz ^[2, 3].

4. *Zea saccharata* (maíz dulce). El desplazamiento de azúcares solubles al endospermo, que restringe la cantidad de almidón en el mismo, es la característica más importante de esta variedad. La apariencia de los granos es traslúcida, el pericarpio muy delgado, los granos arrugados y peculiarmente quebradizos. Su período vegetativo es muy corto por lo tanto se utiliza para la obtención de elote, cuyo uso es para consumo en fresco o bien para enlatar ^[1, 2].

5. *Zea evarta* (maíz palomero). El maíz palomero es de granos pequeños, duros y redondos con un mínimo de endospermo harinoso. Su principal característica es que con altas temperaturas revienta, debido a la presión ejercida por el vapor de agua sobre el endospermo, dando paso a las "palomitas de maíz". Tiene una relativa importancia en la economía por su uso en confituras ^[1, 2].

A nivel mundial se han identificado hasta 1 974305 razas de maíz, llamadas maíces criollos, de las cuales 32 son mexicanas. Entre los principales maíces criollos están: el pepitilla, el olotón, el palomero, toluqueño, el blando de Sonora, el cónico norteño, el reventador, el cacahuacintle o pozolero, el zapalote grande y chico, el chalqueño, el mushito, el conejo, el celaya, el tuxpeño, el vandeño. Estás

tres últimas razas pertenecen al grupo del maíz dentado y se utilizan para la fabricación de tortillas y sus derivados [3].

Los dientes de maíz pueden ser de color amarillo, blanco, naranja, rojo, morado o café. Las diferencias de color se deben a diferencias genéticas en el pericarpio, aleurona, germen y endospermo. Solamente el maíz blanco o amarillo son cultivados comercialmente en el mundo [2].

1.5 COMPOSICION QUIMICA DEL MAIZ..

- CARBOHIDRATOS. El mayor carbohidrato del maíz es el almidón, ya que contiene aproximadamente 72% en base seca (Tabla 1.1 p-11). La mayoría del almidón se encuentra en el endospermo (98% del total, Tabla 1.2), aunque cantidades importantes se han encontrado en el embrión, el germen y la punta. Los azúcares presentes son principalmente sacarosa, glucosa y fructuosa, en cantidades de 1-3%. Los azúcares se han encontrado en todas las partes del grano, sin embargo se ha encontrado que el germen y el embrión contienen 70% del azúcar total [1, 2].

El almidón que se encuentra dentro del maíz está formado por gránulos redondos del endospermo harinoso y gránulos polédricos del endospermo córneo. El diámetro del los gránulos tiende a medir entre 2 a 20 micrones. El gránulo de almidón está compuesto por dos polímeros, la amilosa y la amilopectina. La amilosa que se encuentra entre un 25-30% del almidón es una molécula lineal de

glucosa unida con enlaces α -(1-4). La amilopectina compone de un 70-57% del almidón, es una molécula ramificada con enlaces α -(1-6) en los puntos de ramificación y en las regiones lineales uniones de enlace entre la glucosa α -(1-4). La estructura de la amilopectina es de dos longitudes 12-20 y 40-60 uniones de glucosa. Es posible el desarrollo de variedades con contenido del 55 al 80% de la fracción lineal que corresponda al total del almidón. También se conocen variedades céricas de maíz donde cerca del 100% del almidón se compone de amilopectina^[1,2].

TABLA 1.2. COMPOSICION QUIMICA POR FRACCION DEL GRANO DE MAIZ.

Parte	Almidón (%)	Grasa (%)	Proteínas (%)	Centzas (%)	Azúcares (%)
Endospermo	98.1	15.4	73.8	17.9	28.9
rango	97.8-98.7	13.3-17.4	69.5-78.9	12.6-23.3	23-37.3
Germen	1.5	82.6	26.2	78.4	69.3
rango	0.7-1.7	80.9-85.0	18.4-27.8	72.4-83.3	60.8-75.1
Pericarpio	0.6	1.3	2.6	2.9	1.2
rango	0.4-0.7	0.8-1.7	1.4-2.6	0.9-3.6	0.7-1.7
Cabeza	0.1	0.8	0.9	1.0	0.8
rango	.....	0.4-1.0	0.5-1.2	0.7-1.6	0.6-1.1

Fuente: Watson, Stanley, Corn: Chemistry and Technology^[2].

Otro carbohidrato, la celulosa, forma las paredes de las células. El pericarpio se compone de 40% de celulosa y 40% de hemicelulosa. La fibra cruda se encuentra entre 2.1- 2.3%, encontrándose en el pericarpio del 41 al 46% del total^[2].

También se reporta la existencia de rafinosa, 0.9-1.9%, de sacarosa (es el mayor disacárido presente en el grano de maíz) así como pequeñas cantidades de mio-inositol y glicerol ^[1, 2].

- COMPUESTOS NITROGENADOS. El maíz contiene 4 tipos de proteínas: albúminas, globulinas, glutelinas, y prolaminas. La proteína dominante en el maíz es la zeína, que es una prolamina. La mayoría de las proteínas del maíz se localizan en el endospermo (74% del total Tabla 1.2). El maíz es un cereal de calidad proteica pobre, debido a que generalmente es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y metionina ^[1, 2].

- LÍPIDOS Y COMPONENTES RELACIONADOS. El contenido de lípidos en distintas variedades de maíz varía de 1.2 a 5.7%. El germen es el mayor depósito de lípidos (83% del total presente en el maíz, Tabla 1.2). La mayoría de los lípidos del germen son triglicéridos, los cuales al extraerse, dan el aceite de maíz ^[1, 2].

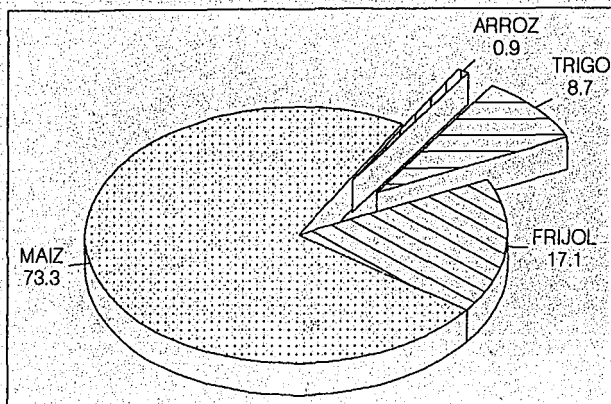
Los triglicéridos se componen de 56% de ácido linoleico, 30% de oleico y 0.7% de linolenico; en cantidades insignificantes los ácidos esteárico y palmítico. Además los glucolípidos, esteroides, ácidos grasos libres, carotenoides (precursores de la vitamina A), tocoles (vitamina E) y ceras, son todos los lípidos encontrados en el grano de maíz^[1, 2].

- **VITAMINAS.** El maíz contiene 2 vitaminas liposolubles, A (β -caroteno) y E. La mayoría de vitaminas encontradas en el maíz son hidrosolubles. El contenido de β -caroteno es generalmente variable entre las diferentes variedades de maíz y se destruye gradualmente por oxidación, junto con otros pigmentos carotenoides durante un almacenamiento prolongado. También se han encontrado cantidades significantes de vitaminas como la Niacina (28 mg/Kg), Pirimidina (5.3 mg/Kg), Acido fólico (0.3 mg/Kg, Biotina (0.06 mg/Kg) y la Tiamina (3.8 mg/Kg). Las vitaminas en el grano de maíz se encuentran principalmente en el embrión y la capa exterior del endospermo ^[1, 2].

- **MINERALES.** El mineral más abundante del maíz es el fósforo (0.29%), y el azufre (0.14%) es el cuarto elemento más abundante. El maíz es una fuente importante de selenio (0.08 mg/kg), Potasio, (0.08%), Magnesio (0.37%), Cloro (0.12%), Calcio (0.05%), sodio (0.03%), Iodo (385 mg/kg); entre los más importantes ^[2].

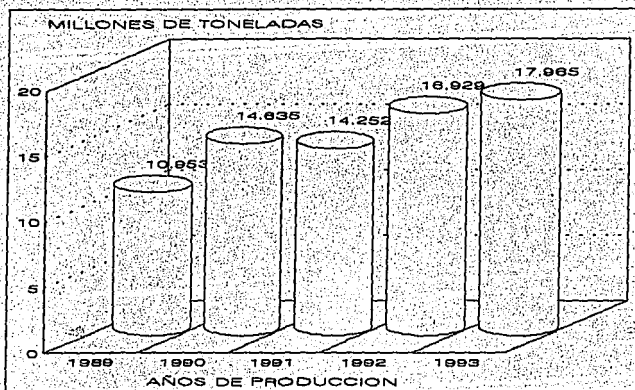
1.6 ASPECTOS ECONOMICOS DEL MAIZ EN MEXICO.

En nuestro país el cultivo de maíz es el más importante, debido a que se trata de un alimento esencial en la dieta de la mayor parte de la población. Con respecto al total del área dedicada al cultivo en México la proporción que corresponde al maíz nunca es menor al 51%. En 1993 el área cultivada con granos básicos se repartió de la siguiente manera: 8.7% para trigo, 0.9% para arroz, 17.1% con frijol y para maíz 73% (Gráfica 1.1) ^[2, 4, 5, 6].



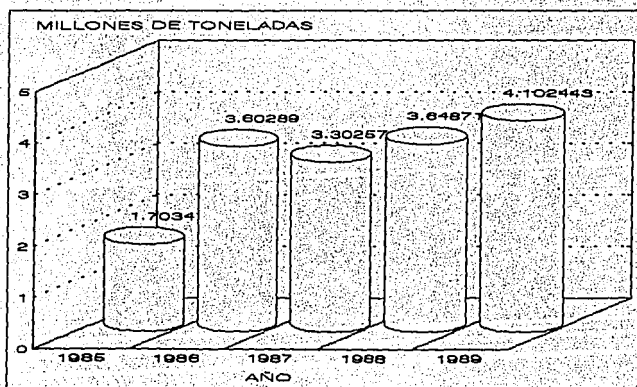
Gráfica I.1. Superficie sembrada con granos básicos en México (1993).
Fuente: "Consumos Aparentes de Productos Agrícolas". SARH. 1994⁽⁹⁾

La producción de maíz en el período de 1989-1993 fue de 10,963, 14,636, 14,252, 16,928, y 17,968 millones de toneladas, respectivamente (Gráfica I.2). Aún cuando se ha registrado un aumento en la producción de maíz, como puede comprobarse de los datos estadísticos citados, para cubrir las demandas de su consumo se ha tenido que recurrir a la importación de este grano. En los últimos años la importación de maíz fue de 1.7 millones de toneladas en 1989, para 1990 la cantidad fue de 3.60 millones de toneladas, más del doble del año anterior, mientras que para 1993 se importaron 4.10 millones de toneladas^[3.7] (Gráfica I.3).



Gráfica 1.2. Producción de maíz en México (1989-1993).

Fuente: 'Consumos Aparentes de Productos Agrícolas'. SARH. 1994⁽⁶⁾



Gráfica 1.3. Importaciones de maíz en México (1985-1989).

Fuente: 'Abasto y Comercialización de Productos Básicos'. INEGI. 1990⁽⁷⁾

1.6.1 INDUSTRIA DE LA TORTILLA EN MEXICO.

En México se calcula que el 72% del total de la producción de maíz se usa para alimento humano, principalmente en forma de tortilla [2, 4, 8]; en promedio, 50% de la producción nacional de maíz se destina a la elaboración de tortilla [9], mientras que el otro 50% se reparte entre elaboración de almidones, harinas, dextrinas y aceite, principalmente. Este hecho ha generado una industria de la tortilla que aún cuando se encuentra dividida en miles de establecimientos es de enorme importancia económica [3].

La tortilla es uno de los alimentos básicos en la dieta del mexicano, contribuye con proteínas y carbohidratos principalmente; proporciona del 30 al 40% de la energía contenida en la dieta de la clase media. Importantes estudios sobre el consumo de tortilla de familias mexicanas de la clase media, estimaron un promedio de 11 tortillas por persona al día. Sin embargo, a causa del bajo costo de la tortilla, alcanza una mayor proporción de su consumo diario en familias de la clase baja [9].

La tortilla constituye el ingrediente básico de la dieta alimentaria popular, ya que su consumo excede en un 128% al que en conjunto representa el de trigo, frijol y arroz. En términos económicos la eficiencia proteica que aporta el maíz a través de la tortilla es 69% más barata que la de trigo incluida en el pan. El promedio de consumo anual de maíz por persona en México es de 186 Kg, que en las áreas rurales suministra aproximadamente el 70% de las calorías ingeridas. En 1989 el

consumo de tortilla se calculó en 268.25 g al día. Actualmente se consumen 800 millones de kilogramos de tortilla al día ^[2, 6, 7, 9].

La industria del maíz para elaboración de tortilla se conformaba en México para 1985, de 12 019 molinos de nixtamal que produjeron entonces 176.48 millones de toneladas de masa; 10 422 tortillerías que en ese año dieron al mercado 24.6 millones de toneladas de tortillas, además de 9 557 molinos-tortillerías mismos que produjeron 877.3 millones de toneladas de masa. La cantidad total de masa producida se tradujo en 657.9 millones de toneladas de tortilla en el año. En el año de 1989 el número de molinos era de 12 390, de tortillerías 10 642 y 9 659 de molinos-tortillerías. El 76% del total de los establecimientos relacionados con la producción de tortilla en la república mexicana, se encuentran localizados en el centro del país, destacando el D.F. y los estados de México y Jalisco; que contribuyen con casi un tercio del total ^[3, 7].

La elaboración de tortillas hoy en día se realiza tanto a partir de masa fresca como de harina de maíz nixtamalizado. La industria del harina de nixtamal en México, tuvo su origen a principios de los años cincuenta y nuestro país es el principal productor a nivel mundial. Para 1989, la planta industrial mexicana para la elaboración de harina de maíz nixtamalizado se integraba por plantas localizadas en el Estado de México, Veracruz, Chiapas, Jalisco, Sinaloa, Tamaulipas, Sonora, Sinaloa, Nayarit, Chihuahua, Nuevo León, Michoacán; de las compañías MINSA, ICONSA y MASECA. Las plantas de mayor producción son las

localizadas en el Estado de México, ya que producían 20% del total y correspondientes a MINSA y a MASECA. De las tres empresas del ramo la de mayor producción es la de MASECA, con 38% del total de la producción. La capacidad de producción de harina para el año de 1989 fue de 2.4 millones de toneladas ^[3, 4, 7].

1.7 PROCESO TRADICIONAL DE ELABORACION DE TORTILLA.

Entre el maíz y la tortilla, como producto final, el paso obligado es el proceso de *nixtamalización* (palabra Náhuatl, de *nextli* que significa cenizas o cenizas de cal y *tamalli* que significa masa de maíz cocido) ^[5]. Este proceso fue desarrollado por las culturas precolombinas, el cual que consiste en el calentamiento del maíz con cal y agua para producir el "nixtamal". Este producto se muele para dar la masa; que se amasa, moldea y cocina para la producción de la tortilla ^[4, 10, 11]. La *nixtamalización* tiene como objetivos principales: suavizar el grano para la molienda, gelatinizar parcialmente el almidón del grano, promover modificaciones en los grupos -SH de las proteínas del endospermo mediante la captación de calcio, así como solubilizar la celulosa y hemicelulosa del pericarpio del grano ^[10, 12].

La Figura 1.3 muestra el diagrama de bloques del proceso de elaboración de tortilla de maíz ^[2, 11], cuya descripción se detalla a continuación:

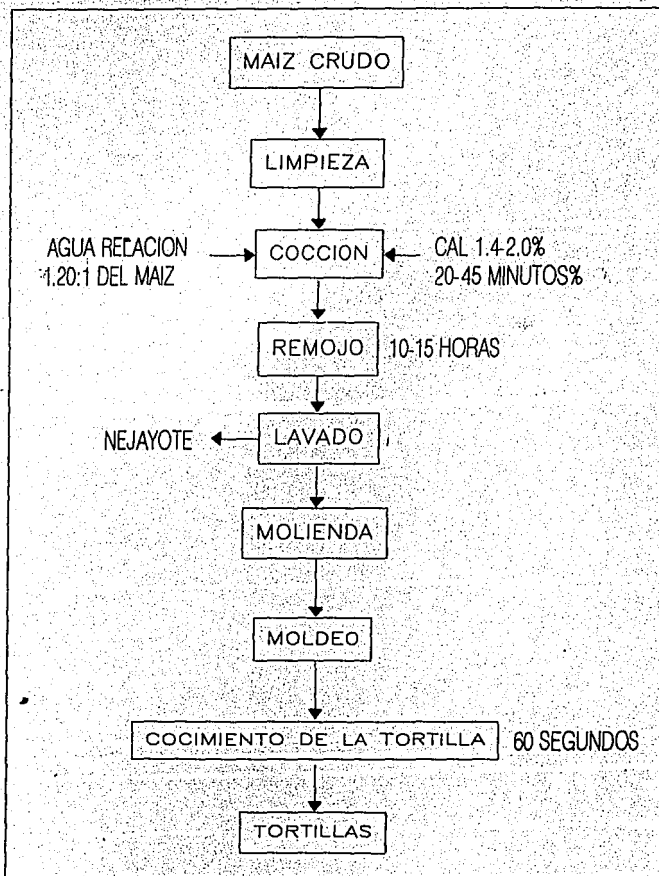


Figura 1.3: Diagrama de bloques para elaboración de tortilla de maíz.

- Limpieza. Su objetivo es la de dejar la materia prima libre de impurezas y se realiza en base a las propiedades físicas del grano; por ejemplo, peso específico, densidad, etc.

- Cocción. El maíz se combina con una dosis de cal de 1.4- 2% y agua en relación de 1.20, cantidades con respecto al peso del maíz, y se calienta durante 20-45 minutos. El cocimiento alcalino imparte sabor, gelatiniza el almidón y remueve parcialmente el pericarpio y el germen de los granos de maíz. El grano de maíz se coce parcialmente ^[4, 11].

Tres son los factores importantes que deben considerarse en esta etapa: la temperatura, la cantidad de agua y la concentración de cal. En el primer caso, no debe elevarse la temperatura de 80°C, ni mucho menos llegar a la ebullición del agua, ya que resultaría una masa pegajosa, debido a la transformación parcial o total del almidón contenido en el grano; obteniendo una masa impropia para la elaboración de tortillas. En el segundo caso, el agua que se debe usar tiene que ser proporcional a la cantidad de maíz (agua en relación de 1.2 a 1 con respecto a la cantidad de maíz). En cuanto al tercer caso, la cantidad de cal adicionada no debe adicionarse ni en exceso ni en menor cantidad; un exceso provoca una masa amarilla y de sabor alcalino; mientras que una concentración menor a la necesaria de cal causa que el producto sea frito de elasticidad o poco adhesivo, lo cual dificulta la elaboración de la tortilla ^[10].

- **Remojo.** La mezcla se deja en reposo de 10-15 horas, tiempo durante el cual se distribuye la humedad y la cal en todo el grano de maíz ^[11].

- **Lavado.** Esta operación inicia con una decantación del maíz cocido y remojado (nixtamal) seguida de un lavado con agua. En la decantación se extrae el nejayote (palabra compuesta de dos vocablos de origen Náhuatl: nextli, que significa ceniza y ayotl que quiere decir caldo). En el lavado se elimina el exceso alcalino y el tejido de pericarpio suelto. También se elimina parte del germen ^[2, 12].

- **Molienda.** El nixtamal se muele en metate (molino de piedra volcánica), con lo cual se obtiene la masa. La molienda rompe los gránulos hinchados y gelatinizados; distribuye el almidón hidratado y las proteínas alrededor de porciones de almidón no gelatinizadas del endospermo de maíz, debido a lo cual tiene lugar la formación de la masa ^[11].

- **Moldeo.** La masa se lamina en forma de discos delgados de más o menos 15 cm de diámetro y 3 mm de espesor, con el fin de dar la forma final a la tortilla.

- **Cocimiento de la tortilla.** La masa moldeada se cuece en comales, de cada cara, por un total de 30-60 segundos, para formar la tortilla. Al final del cocimiento la tortilla se hincha de una de las caras, fenómeno conocido como "panza" o "ampolla". La formación de la ampolla se debe a la presión que ejerce el vapor generado durante el cocimiento ^[2].

1.8 HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

El proceso tradicional de nixtamalización para elaborar masa para tortillas ha sido modificado para la producción más conveniente y funcional de harina de maíz nixtamalizado. El uso de harina de maíz nixtamalizado permite que solo requiera hidratarse para producir la masa ^[2, 8].

La producción industrial de harina de nixtamal se realiza usando varios procedimientos, de forma continua o en lotes, basados en la nixtamalización, el lavado del maíz, la molienda y el secado. En general, el proceso comprende las siguientes etapas ^[12, 13] :

- Nixtamalización. La cal (0.6-1.0% basada en el peso del maíz) se mezcla con partes iguales de maíz y agua en un largo transportador de tornillo adaptado con chorros de vapor. Se afirma que la cocción del maíz debe hacerse abajo de los 100°C, hasta que el contenido de humedad este entre 35-50% ^[2, 8].

- Remojo. El remojo al contrario del proceso tradicional, se lleva a cabo en un corto tiempo de 2-3 horas.

- Lavado. El nixtamal se lava para remover el exceso de cal y los fragmentos de pericarpio sueltos.

- Molienda. El nixtamal se muele en un molino de martillo.

- Secado. El secado es la operación más crítica del proceso se realiza comúnmente, en túneles largos, torres de secado, o secadores de tambor; en los que el aire caliente fluye a contracorriente de la masa. El secado del nixtamal con

la humedad recomendada es a una temperatura por debajo de la temperatura de gelatinización del almidón del maíz ^[12, 13].

- Segunda molienda. El material seco se muele y se tamiza. Las partículas tamizadas se mezclan con harinas de distribución de tamaño de partícula similar para satisfacer los requerimientos para diferentes aplicaciones. Las partículas demastado grandes son remolidas ^[2, 13].

- Empacado. El harina de maíz nixtamalizado se empaqueta en bolsas de papel kraft con la cantidad establecida para uso industrial o doméstico.

En un proceso continuo, el remojo no se lleva a cabo ya que es posible realizar el cocimiento alcalino más intensivamente para evitar remojar ^[13].

1.9 PRODUCCION INDUSTRIAL DE TORTILLA.

1.9.1 METODOS PARA OBTENER LA MASA DE NIXTAMAL.

Hoy en día aún cuando hay plantas que utilizan una complicada tecnología para la producción de productos basados en la nixtamalización su principio se sigue utilizando ^[8, 14].

El proceso industrial en los molinos de nixtamal típicos en México, se inicia con la limpieza del maíz. El proceso de nixtamalización se lleva a cabo en tinajas de cocción de gran capacidad donde se coloca el maíz, la cal y por último agua caliente ^[3].

El remojo se lleva a cabo en la misma tina de cocción. El nixtamal es desalojado en forma manual y se lava. Después se procede a la molienda, la cual se lleva a cabo en molinos de discos de piedra volcánica^[8, 12]. Obtenida la masa se aglomera para obtener las llamadas "maletas" de aproximadamente 50 kg de peso que se utilizan directamente para la obtención de la tortilla. Este método es el denominado tradicional, se usa para capacidades de producción pequeñas^[4].

Un método utilizado sólo por grandes compañías inicia con el cocimiento del maíz en marmitas donde bombean agua, después se agrega el maíz seco y la cal en polvo. Posteriormente, se inyecta vapor hasta que la temperatura sea cercana a la de ebullición. Mientras tanto, la mezcla se agita para suspender la cal inyectando aire comprimido y vapor. La alta temperatura se mantiene constante durante un cierto tiempo^[2, 4].

Después del remojo el maíz es depositado en los lavadores por medio de un sistema de lecho fluidizado o por gravedad. La mayoría de los lavadores son barriles o cilindros rotatorios horizontales donde el maíz se rocía con agua a presión para remover el pericarpio y los solubles producidos en la cocción. El nixtamal lavado se muele con molinos de discos de piedras de lava u óxido de aluminio para obtener la masa^[2, 4].

La cocción del maíz también se puede llevar a cabo por medio de vapor, a presión o por extrusión, procesos usados solo por plantas con gran capacidad de producción^[4, 14].

1. 9. 2 OBTENCION DE LA TORTILLA.

La elaboración de tortilla a partir de la masa se lleva a cabo en máquinas tortilladoras donde se realiza el moldeo y la cocción, aunque en forma manual se usan aparatos como la máquina de aplastón, que moldea trozos pequeños de masa prestonándolos entre dos placas circulares. Entre las máquinas más comunes utilizadas para la elaboración mecánica de tortilla en México se encuentran ⁽¹⁵⁾:

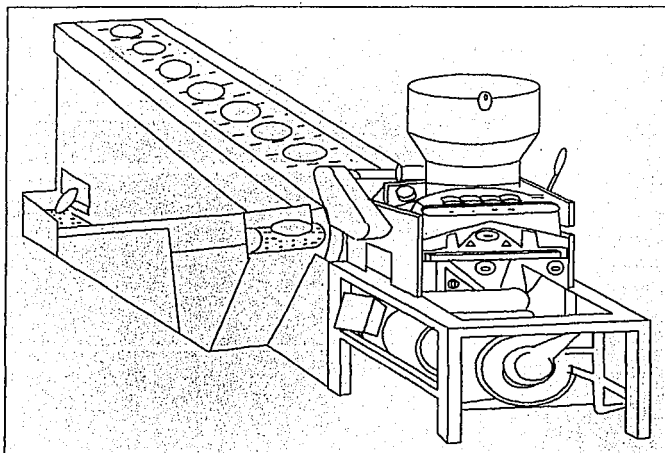


Figura 1.4. Máquina Celorio sencilla.

- Máquina Celorio sencilla. Tiene una tolva en forma de embudo donde se deposita la masa (Figura 1.4). En el interior de la tolva se encuentra un impulsor helicoidal que empuja la masa hacia una cámara que envuelve a 6 tornillos sin fin,

los cuales la inyectan para hacerla salir por una rendija, donde se forma la tortilla por medio de una placa movable que obtura la salida de la masa. La tortilla cruda se conduce a través de una banda de malla de alambre hasta el cocedor mecánico de quemadores de gas.

- Máquina TOR-TEC. Utiliza el principio de extrusión de la máquina anterior y el horno es de tres etapas. En esta máquina se trata de aprovechar más la energía, empleando como aislante una doble pared de asbesto (Figura 1.5).

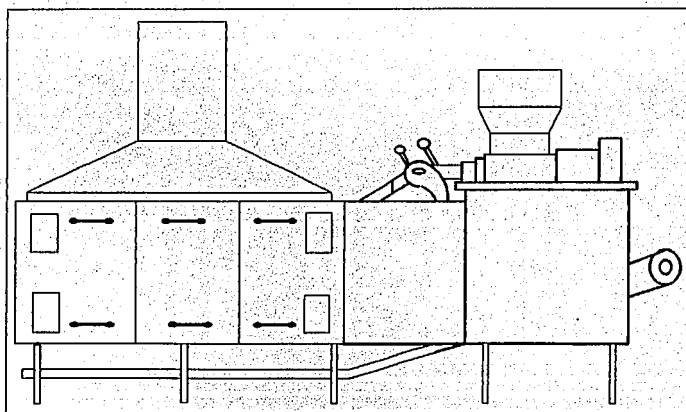


Figura 1.5. Máquina TOR-TEC.

1.9.3 USO DE HARINA DE NIXTAMAL EN LA ELABORACION DE TORTILLA.

En el uso de harina de maíz nixtamalizado para tortillas a nivel mecánico se dice que hay ventajas de rendimiento, con respecto al uso de masa derivada del método tradicional, principalmente porque evita mermas presentadas en la industria molinera común. El ahorro obtenido del proceso de industrialización de harina como sustituto de la masa de nixtamal sería del 17-18%, lo que se ilustra con más detalle en la Tabla 1.3 ^[2, 8, 12].

TABLA 1.3. COMPARACION DEL RENDIMIENTO DE MAIZ PARA TORTILLA DE MASA FRESCA CON TORTILLA DE HARINA DE NIXTAMAL.

Maíz (g)	Harina (g)	Masa (g)	Tortilla (g)
1 000	—	1 800	1 313
1 000	935	2 104	1 543

Fuente: SARH. Simposio Nal. : "El maíz en México: presente pasado y futuro" ^[8].

Los beneficios que presenta el uso de harina de maíz nixtamalizado en la producción masiva de tortilla son: la conversión relativamente fácil de harina a tortilla, disminución de la contaminación microbiana en el manejo de la masa, lo que permite que se obtenga un producto más higiénico, un control mayor de la calidad tanto del harina como de la tortilla y la conveniencia de que el harina puede almacenarse por un largo período. En nuestro país la producción de harina de

nixtamal cuenta con Norma Oficial Mexicana desde 1955, la cual establece los siguientes requisitos, entre los más importantes ^(3, 8, 16):

Definición. El harina de maíz nixtamalizado es el producto que se obtiene de la molienda de los granos de maíz (*Zea Mays*) sanos, limpios, previamente nixtamalizados y deshidratados; además, debe cumplir las siguientes especificaciones:

- Color. Debe ser blanco amarillento o característico de la variedad del grano empleado;

- Aspecto. Debe ser granuloso con una finura tal que el 75% como mínimo pase a través de un tamiz de 0.250 mm de abertura de malla, tamiz malla 60 U.S.

- Químicas. Las especificaciones se mencionan en la Tabla I.4

TABLA I.4. ESPECIFICACIONES QUIMICAS DEL HARINA DE NIXTAMAL.

Especificaciones	Mínimo	Máximo
Humedad (%)	—	11
Proteínas (%)		
(Nitrógeno x 6.25)	8.0	—
Cenizas (%)	—	1.5
Extracto etéreo (%)	4.0	—
Fibra cruda (%)	—	2.0

- Microbiológicas. No debe contener microorganismos patógenos, ni más de 1000 Col/g de hongos.

- Contaminantes químicos.

* Plaguicidas. Los límites máximos para estos contaminantes quedan sujetos a lo que establezca la SSA.

* Contaminantes metálicos. No debe exceder 0.3 mg/kg (ppm) de arsénico.

* Biotoxinas. Aflatoxinas 20 g/kg (0.02 mg/kg) (0.02 ppm).

* Materia extraña objetable. Debe estar libre de fragmentos de insectos, pelos, y excretas de roedores, así como de cualquier materia extraña.

- Ingredientes básicos: maíz, agua y cal.

1.10 CAMBIOS DURANTE LA ELABORACION DE LA TORTILLA DE MAIZ.

1. 10. 1 EFECTOS EN COMPOSICION QUIMICA.

En las operaciones involucradas en la elaboración de tortilla de maíz ocurren una serie de cambios físicos y químicos que tienen consecuencia sobre la composición química final del producto. Las pérdidas en cantidad dependen del tipo de maíz, concentración de cal, del tiempo y temperatura de cocción, del tiempo de remojo, de la extensión del frotamiento durante la molienda y lavado, así como del método y recipiente de cocción utilizados para el proceso ^(2, 11).

Las pérdidas o cambios de los componentes químicos durante la producción de tortilla puede darse por dos caminos: 1) pérdidas físicas de los componentes del grano durante el proceso (pericarpio, germen, etc.); y 2) pérdidas o transformaciones químicas ⁽¹¹⁾.

Las pérdidas físicas se deben a la separación completa o parcial de fracciones del grano de maíz con lo cual se eliminan los componentes químicos contenidos en ellas. La magnitud de las pérdidas dependen de la severidad en la nixtamalización y en la elaboración de la tortilla, en general puede decirse que las pérdidas en este aspecto varían de 5 a 14%. Las pérdidas químicas son debidas a reacciones ocurridas durante el proceso, como hidrólisis, solubilización o interacciones de los componentes químicos contenidos en el grano de maíz [2, 11].

Durante el proceso de nixtamalización las pérdidas en los componentes del maíz son en promedio, de un 60% de la tiamina, 52% de la riboflavina, 32% de la niacina, así como un 10% de nitrógeno, 40% del extracto etéreo y 46% de la fibra cruda, en total se dice que se pierden aproximadamente del 17-20% de sólidos. Este tipo de pérdidas esta en función el tipo de maíz, por ejemplo se ha encontrado que en el maíz amarillo las pérdidas son mayores que en el maíz blanco. El maíz amarillo pierde el 21% de carotenoides hasta la preparación de la masa. En el caso de las proteínas se ha establecido por medio de estudios biológicos realizados con ratas, que el tratamiento térmico-alkalino incrementa el valor nutricional efectivo del maíz. En general, el maíz es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, presentando también una mala relación leucina-isoleucina, hecho que afecta el paso de triptófano a niacina, miembro del complejo de vitaminas B, cuya carencia produce la enfermedad pelagra. Durante el proceso de nixtamalización, se mejora la calidad proteica del maíz, ya que aumenta la relación de lisina 2.8

veces más, otros aminoácidos esenciales como treonina, histidina y metionina, aumentan al doble en concentración; el triptófano aumenta ligeramente y la relación leucina-isoleucina se incrementa 1.8 veces. Además, se libera la niacina, la cual de alguna forma se encuentra acomplejada en el grano de maíz por lo que evita su disponibilidad ^[17, 18].

El cambio en la calidad proteica del maíz se debe a que el calcio interacciona con los enlaces disulfuro de la fracción glutenina del grano, por lo que se abre la proteína y deja disponible la lisina, por otro lado la fracción deficiente en lisina y triptófano, se hace menos digerible en tanto que la glutenina aumenta su digestibilidad ^[18].

En relación a los gránulos de almidón, solamente una pequeña parte son gelatinizados durante la cocción y el remojo. Los gránulos de almidón pierden su birrefringencia, su solubilidad aumenta y se tornan más susceptible a la acción de las enzimas amilolíticas ^[12].

1. 10. 2 CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL MAÍZ.

Durante la nixtamalización el endospermo del maíz se modifica debido a que algunos gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan, mientras que la matriz proteica se hidrata. Al interior del maíz algunas áreas no están completamente cocidas. En general, la cocción ocurre primero en el pericarpio, germen y endospermo suave y después se mueve al endospermo vítreo. El álcali solubiliza y

debilita parcialmente al pericarpio con lo que hay una eliminación total o parcial de éste durante el lavado. El pericarpio comúnmente se rompe del área de cruce de las células tubulares. Las células de aleurona permanecen intactas en la mayoría de los granos y juntas al endospermo feculento. La membrana y las células de las paredes son particularmente degradadas y solubilizadas. El cocimiento correcto de los granos de maíz consiste de una gelatinización parcial e hinchamiento de los gránulos de almidón, así como de la hidratación de la matriz proteica para producir la masa en la mollienda ^[2, 12].

En la mollienda, los componentes del grano al estar preacondicionados por la cocción y el remojo, se rompen: esta cohesión es la causa de la formación de la masa. La masa la forman pedazos del germen, el remanente de pericarpio y partículas de endospermo que se mantienen juntas como una mezcla unida con pegamento con gránulos de almidón "derretidos" y "hojas" de matriz proteica, además de lípidos emulsificados ^[12].

1. 10. 3 ASPECTOS INVOLUCRADOS EN LA PRODUCCION DE HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO.

La temperatura y el tiempo de cocción son menores para preparar harina de maíz nixtamalizado que en la nixtamalización tradicional, debido a que el secado causa una gelatinización adicional del almidón sobre la masa seca en las partículas húmedas de maíz. Dicho subcocimiento causa una insuficiente absorción de agua

y debilita la estructura del endospermo, restringe el hinchamiento de los gránulos de almidón y limita la lixiviación de la amilosa durante el paso inicial de calentamiento. El corto tiempo de remojo limita la redistribución del agua y la reorganización de la estructura molecular como sucede en el remojo habitual para preparar la masa de nixtamal. La gelatinización del almidón es incompleta para este caso porque los gránulos de almidón están expuestos a muy limitadas cantidades de agua durante el corto tiempo de cocimiento y remojo; ya que se localizan al interior de las células de endospermo ^[2, 13].

La mollienda del nixtamal libera algunos gránulos de almidón del endospermo y algunos polímeros de almidón hinchado dispersos, así como gránulos de almidón parcialmente gelatinizados. El rápido secado de la masa causa gelatinización y reorientación del almidón ^[13].

El harina de maíz nixtamalizado contiene gránulos de almidón de forma irregular a causa de la destrucción de su integridad esférica. El nixtamal obtenido en esta forma contiene gránulos de almidón en el interior de las células del endospermo que se hinchan más que los gránulos de almidón del proceso tradicional para masa ^[2, 13].

La distribución de tamaño de partícula es el criterio más importante para la aplicación del harina de maíz nixtamalizado. Para tortillas se requiere de harina que tenga un tamaño de partícula fino, mientras que para frituras se requiere de un tamaño de partícula grueso. En el último caso, las partículas más grandes se

requieren porque los poros que producen son necesarios para permitir el escape de vapor durante el freído, esto se debe a que dichas partículas interrumpen la red que se forma en la masa, lo que reduce el hinchamiento en la cocción y disminuye la absorción de aceite en el freído lo cual proporciona la característica crujiente de estos productos. Las partículas más pequeñas son responsables de que al preparar la masa haya una mayor absorción de agua, cohesividad, viscosidad, y plasticidad en la tortilla; se retenga el vapor con el fin de que pueda hincharse durante el cocimiento, proporcione textura lisa además de desarrollar flexibilidad y cohesividad dentro de las tortillas ^[2, 13].

Las características de manejo de la masa preparada con harina de maíz nixtamalizado no son como las de la masa fresca. El harina de maíz nixtamalizado al rehidratarse produce una masa menos plástica y cohesiva que la masa fresca. La masa mantiene cohesividad debido a una mezcla que contiene almidón gelatinizado, proteínas hidratadas y sales de calcio. El harina de maíz nixtamalizado contiene algunos gránulos de almidón gelatinizados y partículas aglomeradas que la mantienen junta y que pueden llegar a formar un material con consistencia pegajosa. Del mismo modo, las tortillas manufacturadas con harina de maíz nixtamalizado son de textura diferente a las hechas de masa fresca, y tienen poco sabor; además se dice que se endurecen más rápido debido a las condiciones en que el almidón se encuentra en el harina ^[2, 13].

USO DE ADITIVOS EN ALIMENTOS DERIVADOS DE CEREALES

2.1 FENOMENOS QUE DETERIORAN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DE CEREALES.

La industria de productos horneados derivados de cereales, tales como el pan y la tortilla, enfrenta el gran problema de encontrar el camino de retrasar el envejecimiento de sus productos. El envejecimiento en este tipo de alimentos es un fenómeno complejo, relacionado a una serie de cambios fisicoquímicos ocurridos durante y después del cocimiento, que traen como consecuencia efectos adversos en la textura y sabor del producto. El aumento de la resequeidad en los productos derivados de cereales es la forma como se manifiesta el envejecimiento y frecuentemente se usa para evaluar su nivel. Se ha atribuido una gran parte de responsabilidad en el envejecimiento a la retrogradación del almidón, por lo que ha sido ampliamente estudiada ^[19, 20].

2.1.1 RETROGRADACION DEL ALMIDON.

La gelatinización del almidón se produce cuando una mezcla de almidón con agua se calienta y los dos tipos de carbohidratos que componen el almidón (amilosa y amilopectina, Figuras II.1 y II.2 respectivamente) se hinchan y forman un gel ^[20]. En la gelatinización los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen, dejando disponibles grupos hidróxilo, lo que permite la absorción de una gran cantidad de agua. En estas condiciones sucede un aumento considerable del tamaño del gránulo. A medida que se incrementa la temperatura, aumenta el agua absorbida, parte de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular se disuelven y difunden fuera del gránulo, mientras que las cadenas de mayor tamaño permanecen en él impidiendo que exista más solubilización de las de bajo peso molecular del gránulo. Después los gránulos se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa y amilopectina, con lo cual la viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor donde se estabiliza. La temperatura a la que se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de gelatinización y se expresa como un intervalo ^[5].

Las modificaciones más importantes que sufre una suspensión acuosa de almidón, como consecuencia directa del hinchamiento de los gránulos, son el aumento en la solubilidad del almidón, una mayor claridad en la suspensión y una mayor viscosidad ^[5].

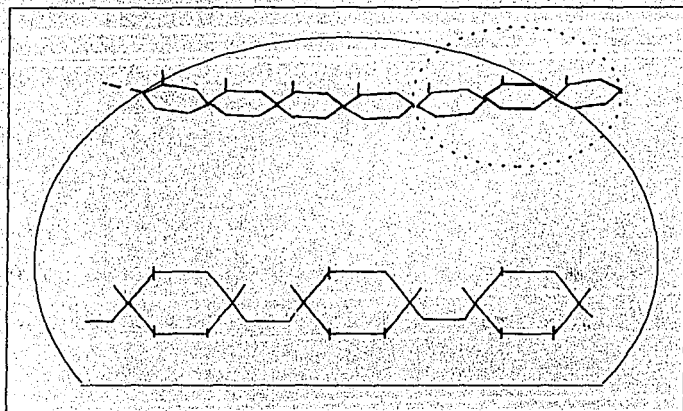


Figura II.1. Estructura de la amilosa.

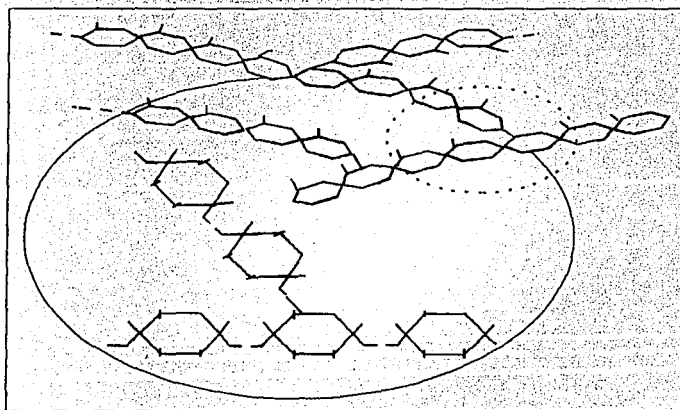


Figura II.2. Estructura de la amilopectina.

En el enfriamiento y deshidratación del grano parcial o totalmente gelatinizado, ocurre un proceso de cristalización del almidón, que se conoce como retrogradación. Este fenómeno ocurre debido a que los grupos hidróxilo de las moléculas de amilosa y amilopectina presentan una fuerte tendencia a formar puentes de hidrógeno a través de sus grupos hidróxilo con lo cual los componentes del almidón pueden recristalizarse lentamente para interactuar, lo que provoca la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa. Se ha considerado que dicha retrogradación es la mayor responsable del proceso de envejecimiento en los productos de cocción de cereales. La retrogradación de la amilosa ocurre más rápidamente que la de amilopectina debido a la diferencia en tamaño molecular y estructura de los dos tipos de carbohidrato. La retrogradación de la amilopectina en solución es más difícil debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno entre moléculas paralelas. Cuando las fracciones de amilosa o las secciones lineales de la amilopectina retrogradan, forman zonas con una organización cristalina muy rígida dentro de la propia estructura del almidón ^[5, 21].

2.1.2 ENVEJECIMIENTO EN TORTILLA DE MAÍZ.

Hay pocos estudios sobre los mecanismos involucrados durante la cocción y envejecimiento de la tortilla de maíz, mientras que para el pan de trigo han sido muy estudiados. Las rutas que retardan el envejecimiento en el pan son diferentes

a las que funcionarían para la tortilla de maíz ya que su composición es diferente. La calidad de la tortilla de maíz depende de las propiedades del almidón durante el cocimiento ^[22].

La tortilla de maíz tiene una vida de anaquel corta debido, principalmente a cambios que se relacionan con la retrogradación del almidón y a contaminación microbiológica, los cuales provocan que las propiedades de flexibilidad y facilidad de enrollamiento (formación del "taco") vayan disminuyendo hasta que se torna un producto completamente tieso. Lo anterior se agrava aún más al considerar que la tortilla requiere recalentarse para su consumo, lo que acentúa la pérdida de propiedades con respecto al tiempo ^[19, 20].

En tortillas hechas de harina de maíz nixtamalizado se piensa que el envejecimiento sucede más rápido que las de origen de masa hechas por método tradicional, a causa de las áreas cristalinas del almidón restante después de la preparación de la harina de maíz nixtamalizado las cuales actúan como núcleo para la asociación molecular del almidón. La rehidratación de la harina y el horneado de las tortillas son incapaces de destruir este núcleo. La tortilla que es delgada y de una alta área superficial favorece la rápida evaporación del agua con lo que se acentúa el fenómeno. Por lo anterior, se piensa que cualquier aditivo que amarre agua y que interrumpa el crecimiento del cristal de almidón puede mejorar el enrollamiento, disminuir la firmeza y el desmoronamiento de las tortillas de maíz hechas con harina de maíz nixtamalizado. Además, la adición de aditivos pueden ayudar al

mejoramiento del manejo de la masa de harina de nixtamal, en términos de la facilidad de moldeo^[13].

Existen harinas de maíz nixtamalizado que se les incorpora aditivos desde su producción, como gomas o conservadores, diseñados con el fin de facilitar su uso y conseguir las características deseadas para un producto en particular. Se dice que la adición de monoglicéridos en la tortilla de maíz puede retardar su envejecimiento y mejorar la calidad^[13].

En el presente ha ido en aumento la tendencia del almacenamiento de la tortilla de maíz a temperaturas ambiente, de refrigeración o congelación, sin embargo después de un corto período de almacenamiento bajo estas condiciones el producto se vuelve muy seco y tieso, perdiendo su facilidad de enrollamiento. Además otro problema que se presenta es el de la conservación. Esto ha hecho que se genere interés en determinar porque la vida de anaquel de la tortilla de maíz es corta, así como los mejores caminos para retardar el envejecimiento y mejorar sus propiedades de funcionalidad^[19].

2.2 AGENTES TENSOACTIVOS.

Los tensoactivos grado alimenticio son generalmente, ésteres de ácidos grasos comestibles, derivados de fuentes animales o vegetales y alcoholes polivalentes tales como glicerol, propilenglicol y sorbitol. La efectividad emulsificante de estos compuestos puede aumentar al ser modificados por

reacciones con óxido de etileno o por esterificación con ácidos orgánicos, como son el ácido acético, ácido diacetil tartárico, ácido succínico, ácido cítrico o ácido láctico ^[23].

Los términos surfactante, agentes tensoactivos, emulsificantes y agentes emulsificantes son encontrados comúnmente en la literatura para referirse al mismo tipo de compuestos. Estas denominaciones se utilizan indistintamente ^[24]. Para este caso el término a utilizar será el de tensoactivo.

2.2.1 FUNCION DE LOS AGENTES TENSOACTIVOS.

En general los emulsificantes pueden dividirse dentro de tres grandes grupos de acuerdo a su funcionalidad ^[25]:

1. Los que reducen la tensión superficial en la interfase de una emulsión: remueven la emulsificación y la formación de la fase de equilibrio al colocarse en la interfase, lo que estabiliza el sistema emulsionado.

2. Aquellos que interactúan con los componentes de almidón y proteínas de los alimentos modificando sus propiedades de manejo.

3. Los que modifican la cristalización de las grasas y aceites.

Un tensoactivo para uso alimentario no debe ser tóxico, ni cancerígeno y no provocar alergias ^[25].

Los aditivos utilizados en los diferentes países se regulan por lo general por sus propios códigos hechos para tal efecto, como en el caso de los Estados Unidos

o Canadá que están regulados por la Food and Drug Administration y por la Canadian Food and Drug Act., respectivamente. Muchos otros países utilizan el Codex alimentario de la FAO, el cual califica a los tensoactivos como aditivos alimentarios. La lecitina, los mono y diglicéridos y los ésteres ácidos de diacetil tartárico de mono-diglicéridos se rigen por un estatuto GRAS (generalmente reconocidos como seguros) y por lo tanto pueden utilizarse en casi todos los productos a niveles probados ⁽²⁵⁾.

2.3 MONOGLICERIDOS.

La reacción base para la preparación de monoglicéridos es la transesterificación (Figura II.3); en la cual los triglicéridos se calientan con glicerol y un catalizador, usualmente hidróxido de sodio, a vacío y a 200°C. Como los ácidos grasos se separan de los triglicéridos, algunos emigran para los hidróxidos libres de las moléculas de glicerol para formar mono-y diglicéridos. Las materias primas base son tocino, sebo, aceite de algodón, o de girasol. En general, estas materias primas han sido hidrogenadas previamente a fin de saturar sus ácidos grasos. No hay ninguna diferencia básica entre los monoglicéridos de fuentes animales y vegetales en lo que respecta a sus propiedades funcionales, pero se prefiere el uso de monoglicéridos de fuentes vegetales. Los mono-diglicéridos resultantes de la reacción pueden presentar diferentes estructuras (Figura II.3). Según las proporciones molares y la temperatura de reacción la mezcla obtenida puede

contener 40-60% de monoésteres, 30-40% de diésteres y 10-20% de triésteres. Esta mezcla básica puede comercializarse sin otro tratamiento ^[23, 24, 25].

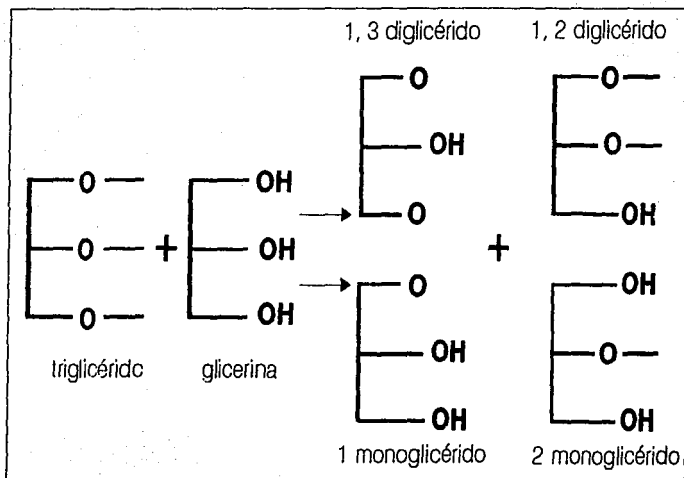


Figura II.3. Transesterificación para la fabricación de mono- y diglicéridos.

Al determinar que solo los monoglicéridos son las partes funcionales de interés se crea la necesidad de la purificación del producto obtenido de la transesterificación típica, para tener un mayor éxito en su aplicación. El método de purificación está basado en la destilación del monoglicérido a una temperatura de 200 °C, al vacío con 0.1 mm de Hg. Los monoglicéridos más volátiles que los di y triglicéridos se evaporan y se recuperan por condensación en un sistema intermedio

de refrigeración situado en el centro de la columna de destilación. El producto obtenido puede contener hasta 95% de monoésteres ^[24, 26].

2.4 TEORIAS SOBRE LA FUNCIONALIDAD DE LOS TENSOACTIVOS EN PRODUCTOS DE CEREALES.

Se dice que la adición de monoglicéridos reduce la velocidad de envejecimiento de la miga del pan a causa, principalmente, de su efecto al unirse con la amilosa, pero la interacción con la fracción lineal de amilopectina también es posible ^[27, 28].

Las compañías de cocción de cereales para retrasar el envejecimiento han utilizado suavizantes como monoglicéridos o mezclas de mono-diglicéridos, pero el efecto que tienen tales aditivos en mejorar la vida de anaquel crea controversias. Por un lado se piensa que los monoglicéridos forman un complejo helicoidal con la fracción de amilosa, lo que causa un ablandamiento sin influenciar la rapidez de endurecimiento en el alimento. Por otra parte, se descubrió que la adición de tensoactivos tiene un mínimo o nulo efecto en la firmeza inicial de la miga del pan, sin embargo afectan la rapidez de desarrollo de firmeza durante su almacenamiento. De cualquier forma el papel de los monoglicéridos en la reducción del envejecimiento es entonces, probablemente relacionado a su interacción con la amilosa y la amilopectina ^[19, 20, 25].

2.4.1 FORMACION DE COMPLEJOS CON LA AMILOSA.

Se ha descubierto que los efectos favorables de los monoglicéridos en el envejecimiento de los productos de cereales se deben a la formación de un complejo insoluble por inclusión con la amilosa (Figura II.4). Los monoglicéridos previenen la formación de un gel de amilosa y consecuentemente la retrogradación la cual tiene consecuencias negativas en la textura de la miga [26, 28].

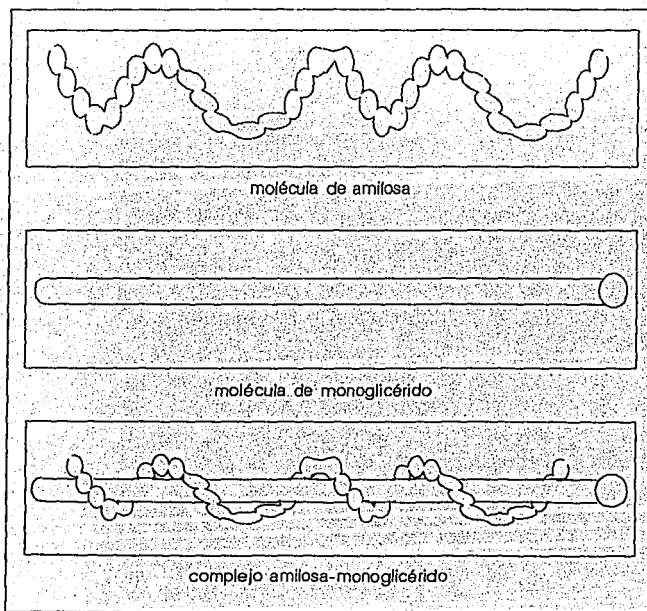


Figura II.4. Representación del complejo amilosa-monoglicérido

La amilosa en dilución acuosa tiene una configuración en espiral y se supone que los materiales que forman compuestos con la amilosa son encerrados por la hélice de amilosa. El diámetro interior de la hélice de amilosa es de aproximadamente 4.5 \AA cuando la hélice consiste de 6 residuos de glucosa por vuelta de la hélice; en caso de que el diámetro interior de la hélice este entre $4.5\text{-}6.0 \text{ \AA}$ la hélice consiste de 6 o 7 residuos de glucosa por vuelta de la hélice. El límite de espacio dentro de la hélice determina como las largas moléculas pueden ordenarse para ser incluidas en ella. El interior de la superficie de la hélice consiste solamente de átomos de hidrógeno, lo que le da carácter lipofílico y esta es probablemente la razón por lo que las largas cadenas hidrocarbonadas de los monoglicéridos tienen una gran afinidad por el interior de la hélice de amilosa. El agente complejante es atrapado dentro de la cadena helicoidal de la amilosa. Estructuralmente el complejo de ácidos grasos es muy parecido al complejo que forma la amilosa con el yodo ^[24, 29].

El complejo que forman los monoglicéridos con la amilosa es insoluble en agua. Las soluciones de almidón con monoglicéridos tienen una temperatura de gelatinización más alta que sin ellos y presentan un aumento de la viscosidad. Los monoglicéridos son efectivos en la formación de complejos con la amilosa debido a que tienen cadenas rectas hidrocarbonadas y pequeños grupos polares ^[29, 30].

La habilidad de los tensoactivos para formar complejos con la amilosa varía, los monoglicéridos destilados son los que mejor se desempeñan. En un estudio

efectuado sobre la relación del complejo con la amilosa, para evitar su retrogradación, y los tensoactivos se obtuvo que los tensoactivos más efectivos para formar complejos con la amilosa son los materiales saturados tales como los monoglicéridos destilados con un 90% como mínimo de monoéster. Los mono- y diglicéridos con 45% de monoéster fueron mucho menos efectivos que los monoglicéridos destilados; aún cuando los segundos eran probados en la misma concentración que los primeros, calculada a partir de su contenido de monoéster. Se ha pensado que esto se deba a la formación de emulsiones con los di- y triglicéridos presentes, los monoglicéridos son amarrados hacia la interfase aceite/agua y consecuentemente no están disponibles para la interacción con la amilosa presente en la fase acuosa, por lo cual no tienen ningún efecto favorable en la firmeza de la miga ⁽²⁹⁾.

2.4.2 RELACION CON LA AMILOPECTINA.

Se dice que la retrogradación de la amilopeptina es el factor responsable del aumento de la firmeza en el pan durante el almacenamiento. La reducción de la retrogradación de la amilopeptina es especialmente importante para productos de panificación con un largo tiempo de almacenamiento (> 3 días). En tales productos se encontró que el uso de una alta concentración de monoglicéridos (>1%) puede disminuir efectivamente la retrogradación de la amilopeptina durante el almacenamiento, teniendo como resultado un aumento de la vida de anaquel de los

productos. Para el pan de trigo se encontró que si los monoglicéridos se usan en grandes cantidades, (1% en base al peso del harina) puede aumentar la interacción con la amilopectina lo que resulta en una drástica reducción de su retrogradación y de la firmeza de la miga. Este hecho se debe posiblemente a que con una alta concentración de monoglicéridos el complejo que forman con la amilosa se aproxima a su máximo valor y sea aquí cuando se presenta una interacción de los monoglicéridos con la amilopectina lo que reduce su retrogradación y su influencia en el envejecimiento del pan ^[20, 27].

El complejo formado entre la amilopectina y los monoglicéridos es mucho menos evidente que el que los monoglicéridos forman con la amilosa, debido a las ramificaciones de la molécula de amilopectina. En las soluciones de amilopectina con monoglicéridos no se presenta precipitación y la afinidad de la amilopectina por el todo se reduce ligeramente. De todas formas se ha estudiado poco la afinidad de los monoglicéridos por la amilopectina ^[27, 29].

2.4.3 FENOMENOS QUE DETERMINAN LA FUNCIONALIDAD DE LOS MONOGLICERIDOS.

Los monoglicéridos interactúan con los componentes de un producto en los distintos pasos que componen el proceso de elaboración, lo cual determina su funcionalidad así como los efectos que se deseen obtener. Los factores que se involucran en la funcionalidad de los monoglicéridos se han estudiado mucho en el

proceso para pan, y deben relacionarse con ciertas reservas para otros tipos de productos.

El aumento de la firmeza del pan inicia durante el proceso de horneado cuando la parte de amilosa sale de los gránulos de almidón, ya disueltos en el agua y durante el enfriamiento forman un gel relativamente firme entre los gránulos hinchados del pan recientemente horneado. Este gel de amilosa contribuye a la firmeza inicial en la estructura del pan. La amilosa puede, con el tiempo, recrystalizar a su forma insoluble original (retrograda), con lo que la miga llega a ser quebradiza y dura por lo que la suavidad de la miga se reduce ^[29].

En la manufactura del pan el uso de monoglicéridos puede mejorar el proceso en general, disminuir el tiempo requerido y dar la posibilidad de trabajar con muchas masas. En general, puede decirse que hay una mejora en el manejo mecánico en la producción de pan ^[26].

Durante el proceso de envejecimiento el agua es liberada del almidón cristalizado y emigra a otras partes del pan. La presencia de monoglicéridos puede, al formar complejos con la amilosa, disminuir la cantidad de agua que emigra. Cuando los monoglicéridos destilados se adicionan a la masa, el comportamiento del almidón se lleva a cabo en dos pasos. Primeramente, algunos de los monoglicéridos pueden ser absorbidos sobre la superficie de los gránulos de almidón durante el mezclado. Para que esto suceda es importante que el monoglicérido se incorpore hidratado o como polvo con partículas pequeñas;

ambas formas pueden garantizar una buena distribución del monoglicérido en la masa. Después durante el proceso de horneado, cuando la temperatura alcanza aproximadamente 55°C el monoglicérido puede entrar dentro de un estado líquido llamado α -cristalino (mesofase) en conjunción con la parte del agua presente. En esta forma puede interactuar con la amilosa y formar un complejo hellicoide insoluble a causa de que los monoglicéridos bajo la mesofase α -cristalina obtienen cierta "libertad" molecular que facilita su interacción. Los monoglicéridos destilados poseen una larga cadena de carbonos la cual es fácilmente atrapada por la configuración hellicoide de la amilosa. Esta reacción puede elevar la temperatura de gelatinización de los gránulos de almidón y así reducir la cantidad total de almidón gelatinizado en la miga del pan ^[26, 29, 30].

Cuando el pan se enfría la amilosa que no reaccionó se retrogradará pero la amilosa que forma parte del complejo con monoglicéridos no presenta tal cambio, lo que quiere decir que el gel de almidón tendrá menos amilosa y la miga será más suave. Esto trae como consecuencia que el complejo de amilosa no puede recrystalizar en el enfriamiento y por lo tanto no puede contribuir al envejecimiento del pan ^[26, 27].

Se ha determinado que el uso de tensoactivos presenta también efectos sobre la estructura de las proteínas de trigo, que influyen en la textura de la miga del pan. Sin embargo las teorías de la interacción de proteínas de harina de trigo con monoglicéridos es menos clara que la referente al almidón ^[19, 26].

2.5 GOMAS DE USO ALIMENTARIO.

El término gomas se usa para referirse a un vasto grupo de polímeros hidrocoloides de cadenas largas y alto peso molecular, que se pueden dispersar o disolver en agua fría o caliente produciendo un aumento de la viscosidad, obteniendo un efecto gelificante o espesante. Originalmente las gomas se consideraban como productos de exudación de plantas, sin embargo, actualmente dentro de este grupo se incluyen muchos polímeros sintéticos. Los hidrocoloides tanto naturales como sintéticos se utilizan ampliamente en la industria alimentaria para muchos productos, en concentraciones que varían de 0.05 hasta 5% ^[5, 31].

2.5.1 SELECCION DE GOMAS PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS.

La selección recomendable de una goma para una formulación específica puede basarse en la comprensión de sus propiedades físicas y químicas así como de interacciones sinérgicas con otros hidrocoloides o compuestos del alimento. En general, los principios que guían para escoger un espesante o gelificante se sitúan a diversos niveles entre los que se sitúan: a nivel organoléptico, más bien desde el punto de vista de la apariencia más que de la textura del alimento y a nivel de la reglamentación, puesto que no todos los hidrocoloides están autorizados ^[32].

2.6 FUNCIONES DE LAS GOMAS HIDROSOLUBLES USADAS EN PRODUCTOS DE CEREALES.

Las gomas son muy utilizadas en la industria alimentaria en una gran cantidad de productos. Bajo condiciones apropiadas pueden funcionar como adhesivos, espesantes, emulsificantes, ligadores de agua y lubricantes ^[31].

Las propiedades funcionales de las gomas son afectadas por el tamaño molecular, orientación de sus moléculas, formación de puentes de hidrógeno, enlaces iónicos (uniones iónicas), tamaño de partícula, temperatura, concentración, las interacciones que tenga con otros constituyentes y muchos otros factores. En la industria de productos de cereales hay algunas aplicaciones típicas de las gomas (Tabla II.1). En el caso de frituras y bocadillos su uso es importante ^[31,32].

Los hidrocoloides son comúnmente adicionados a los productos de panadería para dar estabilidad en el anaquel por la retención de más agua y para retardar el envejecimiento. Sin embargo la adición de hidrocoloides también afecta al proceso y las cualidades del producto. Por lo tanto debe encontrarse el equilibrio entre impartir estabilidad en el anaquel, buena eficiencia en el proceso y cualidades parecidas a un muestra sin hidrocoloides o incluso mejorarias. Las compañías de tortillas de trigo adicionan gomas para aumentar la retención de agua, mejorar el enrollamiento, entre otras funciones indicadas en la Tabla II.2 ^[19, 33, 34].

TABLA II. 1. FUNCIONES TÍPICAS DE LAS GOMAS EN PRODUCTOS DE CEREALES Y EN MATERIAS PRIMAS EMPLEADAS EN SU ELABORACION.

Función	Producto	Ejemplo
Adhesivo	Frituras de maíz, barras de granola	Goma acacia
Agente encapsulante	Saborizantes secados por aspersión para bocadillos	Goma acacia
Emulsificante	Bocadillos horneados, pan danés	Tragacanto
Aditivo para fibra	Granola, Frituras de maíz	Goma acacia Guar
Formación de película	Cubierta de nueces para pastel	Derivados de celulosa Goma acacia
Plastificante	Tacos suaves y dorados	Derivados de celulosa Guar
Extender proteína	Galletas y bizcochos con poco desarrollo de gluten	Carragenina-Alginato
Espesante	Salsas para frituras	Guar Xantana Pectina
Formación de una barrera de aceite	Bocadillos fritos	Derivados de celulosa
Reemplazo de grasa	Bocadillos con carne bajos en grasa, sazonadores	Goma acacia-alginato
Ligar agua	Saborizantes de queso y extruidos de maíz	Locust bean Xantana

Fuente: Ward, F.M. "Water-Soluble Gums Used in Snack Foods". 1993.^[32]

TABLA II.2. GOMAS Y EFECTOS DE SU USO EN TORTILLAS DE TRIGO.

Goma	Niveles de uso	Efectos
* Guar	0.25-0.50%	* Mejoran el manejo de la masa.
* Carboximetil celulosa		* Disminuyen la textura pegajosa en la masa y el producto.
* Xantana		* Retardan el envejecimiento.
* Arábiga		* Mejoran el enrollamiento y la facilidad de doblar la tortilla.
		* Ligan una gran cantidad de agua.
		* Mejoran las propiedades después del congelamiento.
		* Disminuyen la pérdida de agua.

Fuente: Qarrooni, Jalal. "Wheat Flour Tortillas". Technical Bulletin. 1993 ⁽³⁴⁾.

El uso de gomas solubles en agua como ingredientes en los productos de cereales probablemente aumente en el futuro. Las cantidades de gomas utilizadas para lograr los propósitos deseados son bastante bajas y por lo tanto no aumentan significativamente el precio del producto final. Debido a su capacidad para retener cantidades importantes de agua y a sus propiedades reológicas producen diferentes beneficios a los alimentos a los que se añaden, incluyendo retención de agua, aumento de la vida de anaquel y una mayor estabilidad. Además, muchas gomas pueden calificarse como de origen natural y fibra cruda soluble, estas

propiedades aünadas a la disminuci3n de la grasa contribuyen a mejorar la imagen de los productos de cereales ante el consumidor ^[32].

2.7 CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

La goma Carboximetil celulosa se encuentra dentro de los hidrocoloides que presentan un alto consumo para fines alimentarios a nivel mundial. Esta goma se utiliza en una gran variedad de productos alimenticios como estabilizante o para retener agua. Las consideraciones importantes para su uso con relaci3n a la legislaci3n, son que no se transforma en el organismo, no tiene valor alimenticio y se excreta sin modificaciones en las heces fecales ^[24, 31].

2.7.1 CARACTERISTICAS DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

La Carboximetil celulosa de sodio (CMC) es un hidrocoloide en polvo, derivado de la celulosa por sntesis quımica, mediante la introducci3n a su mol3cula de un n3mero controlado de grupos Carboximetil s3dicos.

En la fabricaci3n de Carboximetil celulosa de sodio, la celulosa purificada es tratada primeramente con hidr3xido de sodio para hinchar las fibras, y luego reacciona con monocloroacetato de sodio bajo condiciones rıgidamente controladas. Te3ricamente una reacci3n completa significa la introducci3n de tres grupos Carboximetil por unidad de anhidroglucosa, resultando un producto que

tendría un grado de sustitución de 3. Para la aplicación de la Carboximetil celulosa de sodio en alimentos, el grado de sustitución está limitado a un máximo de 0.9 ^[35].

2.7.2 ESTRUCTURA DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

La estructura de la molécula de celulosa (Figura II.5) se observa como una cadena polimérica compuesta de unidades de celobiosa (entre corchetes) dichas unidades están compuestas por dos unidades de anhidroglucosa (residuos de β -glucopiranos) (Figura II.51a). En esta estructura, n es el número de unidades de anhidroglucosa (las cuales están unidas a través de enlaces 1,4 glucosídicos), donde n representa el grado de polimerización de la celulosa. La estructura de la CMC se muestra en la Figura II.5b. El número promedio de grupos hidróxilo sustituidos por uniones anhidroglucosa se conoce como el grado de sustitución o GS. Si los tres grupos hidróxilos son reemplazados el máximo grado de sustitución teórico es de tres, imposible en la práctica ^[36]. La Carboximetil celulosa de sodio (CMC) es un polisacárido lineal formado de uniones β -anhidroglucosa [D-glucosa β -(1-4)]. La CMC tiene como origen botánico la madera o el algodón ^[3, 5, 7].

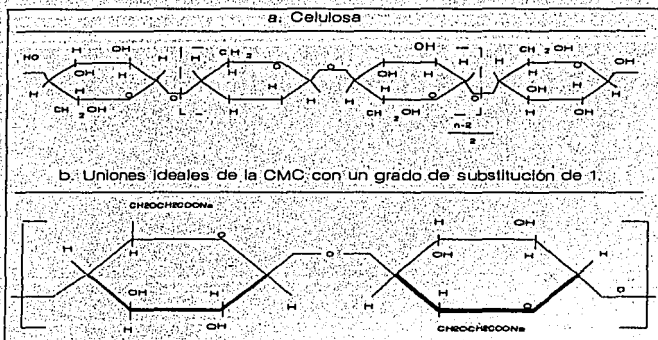


Figura II.5. Estructura de la celulosa y de la carboximetil celulosa de sodio.

2.7.3 COMPOSICION DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

La Carboximetil celulosa de sodio se compone, principalmente, de polisacáridos pero puede contener trazas de proteínas, lípidos y sales minerales como se observa en la Tabla II. 3 ^[32].

TABLA II.3. COMPOSICION QUIMICA DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

Componente	Cantidad
Proteína (%)	0.0
Cenizas (%)	8.0
Fibra (%)	75.0
Sodio (mg/100g)	8 000

Fuente: Ward, F.M. "Water-Soluble Gums Used in Snack Foods". 1993 ^[32]

2.7.4 SOLUBILIDAD DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

Las características de solubilidad en agua de la Carboximetil celulosa de sodio dependen del grado de sustitución y de la uniformidad de la distribución de los grupos Carboximetil sustitutos en la cadena del polímero. Entre más uniforme es la distribución, las soluciones son más tersas y menos tixotrópicas. Esta goma tiene en promedio un alto grado de polimerización por lo que produce soluciones de alta viscosidad ^[35,36]. La CMC es soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos, pero es soluble en mezclas de agua con solventes solubles en agua, como el alcohol y la acetona. Se pueden preparar soluciones de CMC en agua con un aumento en la viscosidad de la solución con concentraciones desde 0.02%. La excelente propiedad de absorción de agua de la CMC y su excelente habilidad para hidratarse en bases frías son dos factores para considerar su uso ^[35, 36].

2.7.5 APLICACIONES DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA EN ALIMENTOS DE CEREALES.

Las funciones principales que la Carboximetil celulosa de sodio puede desempeñar en los productos alimenticios son la de estabilizante, espesante, absorción y retención de agua ^[31] (Tabla II. 4).

TABLA II.4. FUNCIONES PRINCIPALES DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO EN ALIMENTOS.

Alimento	Función	Concentración (%)
Helado	Espesante, estabilizante	0.1-0.3
Bebidas de frutas	Espesante	0.1-0.4
Leches agrias	Estabilizante	0.1-0.2
Mezclas para pastel	Retención de agua	0.2-0.4
Nieves	Espesante, liga agua	0.1-0.2
Batidos	Espesante, estabilizante	0.2-0.4
Almíbares	Estabilizante	0.1-0.3
Mezclas secas para bebidas	Estabilizante	0.2-0.6

Fuente: Información Técnica de Ideal CMC. Carboximetil Celulosa de Sodio. ^[35]

En el caso de los productos de cereales se ha encontrado una gran gama de aplicaciones para la CMC tanto para mejorar el producto como para ayudar durante el proceso. Por ejemplo, en el proceso de panificación la presencia de Carboximetil celulosa ejerce un efecto sinérgico en presencia de gluten de trigo; debido a que acelera la absorción de agua y el desarrollo del gluten, lo cual resulta en un menor tiempo de mezclado, aumento en la capacidad de retención de agua de las harinas y el volumen de las masas; durante el horneó aumenta el volumen y mejora la calidad del pan ^[35].

La presencia de Carboximetil celulosa de sodio puede retardar el endurecimiento en los panes o pasteles, con lo que se alarga su vida de anaquel. El uso de Carboximetil celulosa de sodio puede aumentar la retención de humedad al menos cinco días más y el pan o pastel que resulta es más suave. Se piensa que el efecto de la Carboximetil celulosa de sodio en el fenómeno de envejecimiento se debe a que la goma y el agua recubren los gránulos de almidón, haciendo más lentos los cambios normales durante el proceso de endurecimiento del pan ^[35].

En las masas para donas de los tipos con o sin levadura la goma Carboximetil celulosa de sodio se utiliza a concentraciones de 0.25% para mejorar el rendimiento, disminuir la absorción de grasa, enfatizar la suavidad, mejorar la adherencia del glase y alargar la vida de anaquel ^[35].

En productos extruidos de harina de maíz, la adición de bajas cantidades de Carboximetil celulosa de sodio a los ingredientes principales antes de la extrusión pueden afectar las variables de proceso y la calidad del producto final. Se encontró que el uso de CMC al 0.1% en frituras de maíz preparadas por extrusión, producía una disminución significativa en el porcentaje de carga relativa que entraba al proceso, comparada la de un control de harina de maíz sola. Además, las mejoras aparentes de la resistencia de los extruidos tratados con CMC pueden conducir a mejoras en las propiedades de manejo tales como, reducir el rompimiento durante el empaque, transporte, almacenamiento y comercialización ^[32].

Por otra parte, en evaluaciones sensoriales realizadas con bocadillos de maíz en las que se compararon muestras con goma y sin ella, se obtuvo una mayor aceptación de los productos que contenían Carboximetil celulosa de sodio. La aceptación del producto que contenía el hidrocoloide puede atribuirse su capacidad de ligar agua en el producto lo cual producía una mejor sensación al ingerirla ^[32].

En la tortilla de trigo se ha utilizado la Carboximetil celulosa de sodio con buenos resultados tanto en el proceso como en las características finales de la tortilla. En un estudio de la adición de varios tipos de gomitas en tortilla de trigo se encontró que el manejo de la masa se afectaba por el tipo y cantidad de goma adicionada. Las masas con goma Guar, arábica o Xantana eran menos resistentes en el laminado, formaban una masa cohesiva en menor tiempo y tenían malas características en el mezclado. Masas con 1% de gomitas derivadas de celulosa modificada eran rígidas, pegajosas y poco cohesivas, aparentemente no se desarrollaban completamente en el mezclado y tenían un manejo regular; al disminuir la concentración a 0,3% de gomitas de celulosa modificada se tenía un buen manejo en comparación con las de gomitas Guar, Xantana o Arábica. En general, en el proceso de elaboración y en las características de la tortilla de trigo se obtenían mejores resultados con los derivados de Carboximetil celulosa que con las gomitas Guar, Xantana y Arábica ^[33].

2.8 CONSERVADORES ALIMENTARIOS PARA PRODUCTOS DE CEREALES.

El uso de conservadores en alimentos derivados de cereales es muy común, siendo los más usados aquellos que inhiben el crecimiento de hongos.

Los conservadores alimentarios son sustancias químicas que al ser añadidas intencionalmente a un alimento tienden a prevenir o retardar el deterioro causado por microorganismos, en esta clasificación se excluye al azúcar, vinagre y especias. También se excluyen plaguicidas; por considerarse contaminantes ^[5, 37].

Se considera un conservador ideal aquél que inhibe hongos, levaduras y bacterias; que no sea tóxico para el ser humano, fácilmente biotransformable por el hígado, no acumulable en el medio ambiente o en organismos vivos, soluble en agua, estable, que no imparta sabor, ni olor y que sea de bajo costo. No deben ser usados para ocultar efectos de proceso o hacer pasar por buenos alimentos descompuestos ^[31].

2.9 SORBATO DE POTASIO.

El Sorbato de Potasio pertenece a los ácidos grasos monocarboxílicos y es uno de los más usados en la industria alimentaria. Puede presentarse como un polvo fino formado por cristales de color blanco o píldoras de las sales de potasio del ácido sórbico; presenta cualidades fungísticas y es de uso común como

conservador en la industria alimentaria. Se derrite a 270°C con descomposición. Es soluble en alcohol y fácilmente soluble en agua ^[37].

La fórmula química del sorbato de potasio es: $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCOOK}$.

2.9.1 USOS DEL SORBATO DE POTASIO.

El uso del sorbato de potasio se patentó en 1945 para ser aplicado como fungicida en alimentos y empaques. Se ha utilizado por tradición contra levaduras y hongos, pero también puede ser útil para controlar *Clostridium botulinum*, *Stafilococcus aureus* y *Salmonella*. Se ha explorado su uso en pescado, alimentos para ganado, vegetales frescos, queso cottage, productos de panadería, bebidas, jarabes, jugos, vinos, jaleas, mermeladas, aderezos para ensalada encurtidos, margaritas y embudidos secos. Actualmente se está empleando como conservador de ciruela pasa, higo, aceituna, jugos de naranja, limón y manzana. También se usa para conservar la cosecha de cítricos, de pimlento, apio y fresa. Se ha probado en forma de aspersión sobre pan para inhibir la presencia de hongos. En tortillas de maíz se ha aplicado con éxito, ya que se consiguió un aumento en su vida de anaquel de 3 a 21 días a temperatura ambiente ^[37].

El sorbato de potasio se considera bajo la legislación "GRASS", en realidad representa un riesgo mínimo a la salud humana ya que se biotransforma a CO_2 , agua y energía; su desventaja es el alto costo, pero este hecho puede compensarse debido a que se usa en menor cantidad que otros conservadores ^[37].

2.10 ACIDO FUMARICO.

El ácido fumárico es un ácido orgánico muy común en la naturaleza. En el metabolismo de mamíferos, el ácido fumárico es la intermediario clave en el ciclo del ácido tricarbóxico para la biosíntesis de los ácidos orgánicos (el ciclo de Krebs); además también es esencial en la vida de las plantas ^[38].

El ácido fumárico, como otros ácidos orgánicos comúnmente usados en la industria de los alimentos, tiene varias funciones como regular el pH, efecto sinérgico con los antioxidantes, prevención de reacciones de oscurecimiento, saborizante, inhibidor del crecimiento microbiano e impedir la germinación de esporas. Su principal efecto en inhibir el crecimiento microbiano es la ionización, disociación y permeabilidad de las membrana celular con lo que se inhibe el funcionamiento normal del NADH. El ácido fumárico esta aprobado para encubrir algunos defectos del procesamiento térmico de frutas, además influye en la viscosidad, así como en la fluidez de los diferentes componentes de productos de repostería ^[5, 37].

El ácido fumárico puede producirse en forma natural o sintética con resultados idénticos. El método tradicional de preparación de dicho ácido consiste de hacerlo con N-butano, el cual es oxidado a ácido málico y después isomerizado a ácido fumárico ^[38].

Las fórmulas general del ácido fumárico es: $C_4H_4O_4$.

2.10.1 UTILIZACION DE ACIDO FUMARICO EN ALIMENTOS.

El ácido fumárico se usa para dar suavidad a la carne y para mejorar su sabor ya cocida. También se emplea como acidulante desde 1946. Se ha utilizado en el procesamiento de tortillas de harina, pan de centeno, masas refrigeradas para bisquets, bebidas de jugos de frutas, postres de gelatina, auxiliares de la gelificación, relleno para pastel y vinos. Estudios con ácido fumárico muestran que mejora la calidad y reduce los costos de proceso de muchos productos alimenticios tales como frutas en conserva, productos de repostería, entre otros. El ácido fumárico se usa en tortillas de harina de trigo para bajarles el pH a 5.5, además es un ácido que se aprovecha por su capacidad para disolverse lentamente. Con el uso de ácido fumárico, el gas de dióxido de carbono se libera durante el horneado de la tortillas no antes, como sucede con otros ácidos como el cítrico. Por lo tanto puede usarse menos polvo para hornear ^[37, 38, 39].

El ácido fumárico y sus sales de calcio, magnesio, potasio y sodio están aceptadas para su uso en alimentos no estandarizados, pero requieren aprobación de la FDA o del ministerio de salud correspondiente. Este ácido parece poseer propiedades neurotóxicas en ratas, y con relación a esta propiedad se ha estudiado su efecto al alterar la conformación de proteínas de la membrana de eritrocitos. También se ha encontrado que el ácido fumárico aumentó la concentración de cadmio, acumulado en el hígado y el riñón de cerdos, bajo una dieta que contenía 1.1 mg de cadmio/kg con suplemento del 2% de ácido fumárico ^[37].

Los beneficios que presenta el uso de ácido fumárico en alimentos son: bajo costo, mejor estabilidad en el sabor, debido a que no absorbe agua la cual degrada el sabor de los ingredientes en mezclas secas de productos y como no absorbe agua permanece seco y con una fluidez libre.

2.11 USO DE SORBATO DE POTASIO Y ACIDO FUMARICO EN TORTILLA.

El uso del sorbato de potasio y ácido fumárico es muy común en tortillas de trigo y maíz. En la tortilla de trigo su uso es más frecuente (Tabla II.5), aún así se ha utilizado una mezcla de los dos compuestos a una proporción de 0.30% de ácido fumárico y 0.34% de sorbato de potasio con base en el peso de la harina de maíz nixtamalizado en la preparación de tortilla [22, 34].

TABLA II.5. USO DE ACIDO FUMARICO Y SORBATO DE POTASIO EN TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.

Conservador	Concentración (%)	Efectos
* Acido Fumárico	0.1-0.2	* Inhiben crecimiento de hongos
* Sorbato de potasio	0.4	* Catalísis con algunos conservadores
		* Ajustes de pH.

Fuente: Qarooni, Jalal. "Wheat Flour Tortillas". Technical Bulletin. 1993 [36]

MATERIALES Y METODOS

3.1 DISEÑO DE EXPERIMENTOS.

Este trabajo se enfocó al estudio del efecto de las siguientes variables para alargar la vida útil de la tortilla de maíz:

- Tres concentraciones de Carboximetil celulosa de sodio cuyo orden experimental fue: 0.20, 0.075 y 0.050% .

- Tres concentraciones de Mono- y diglicéridos. La concentración inicial fue la de 0.10%, seguida de 0.20% y finalizando con 0.40%.

- Tres concentraciones de Monoglicéridos destilados. Se comenzó con la concentración de 0.10%, se continuó con 0.20% y por último se experimentó con 0.40% .

La secuencia que se siguió en el desarrollo de esta investigación se observa en el Diagrama General de Trabajo (Figura III.1).

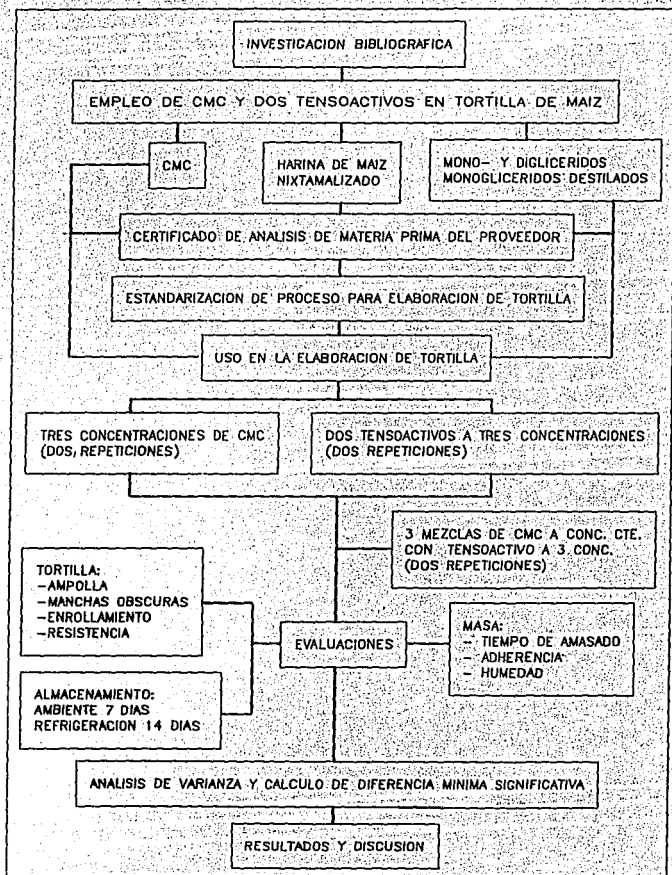


Figura III.1: Diagrama General de Trabajo.

Las concentraciones de la goma y de los tensoactivos con las que inició la experimentación (0.20 y 0.10% respectivamente) se eligieron conforme a la bibliografía consultada y a recomendaciones de los proveedores de estas materias primas. Las siguientes concentraciones de la Carboximetil celulosa de sodio y de los dos tensoactivos, en el orden ya indicado arriba, se eligieron a partir de los resultados obtenidos del efecto de su adición en la masa y en la tortilla durante su almacenamiento en función de las variables de respuesta, las cuales fueron, para la masa: adherencia, tiempo de amasado y humedad, mientras que para la tortilla: presencia de manchas oscuras en su superficie, aparición de ampolla en el final del cocimiento, enrollamiento y resistencia. También se utilizaron tres mezclas que contenían 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio con 0.40, 0.20 y 0.15% de Mono- y diglicéridos respectivamente, utilizándose en este mismo orden, a partir de sus efectos en las variables de respuesta. Estas mezclas se seleccionaron debido a que se considero el efecto individual favorable de la goma y el tensoactivo sobre las variables de respuesta.

Un total de 26 experimentos se llevaron a cabo, ya que cada variación propuesta se realizó por duplicado, considerando además el testigo, (sin tensoactivos ni goma solamente con el conservador) para fines de comparación.

3.2 MATERIAL Y EQUIPO.

3.2.1. ELABORACION DE TORTILLA.

- Mezcladora de paletas con capacidad de 100 kilogramos.
- Máquina Tortilladora marca TOR-TEC. De cuatro motores, correspondientes 2 a el extrusor (1.5 y 2 HP c/u); uno al horno (3/4 HP) y el último al mezclador (1/3 HP).
Con capacidad de 125 tortillas por minuto.

3.2.2 PRUEBAS EN LABORATORIO.

- Estufa de laboratorio Blue M. Electric Company. Modelo DV 18a. Con temperatura máxima de 288°C.
- Máquina metálica para pastas (Figura III.2). Marcato, AMPIA. Modelo 150 mm. Consta de un par de rodillos lisos en los que se puede variar la distancia que los separa. Esta máquina se utilizó para la prueba de resistencia de la tortilla.
- Cuatro cilindros de 0.5, 0.70, 1 y 1.50 cm de diámetro. Cilindros utilizados para la prueba de enrollamiento de la tortilla.
- Parrilla con termostato Sybron-thermolyne. Tipo 2 200. Modelo HPA 2235M.

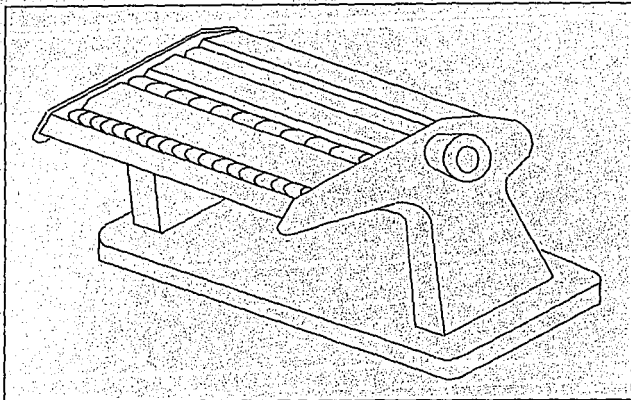


Figura III.2: Máquina para prueba de resistencia.

3.3 PROPIEDADES DE LA MATERIA PRIMA.

3.3.1 HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

Las características de la harina de maíz nixtamalizado se obtuvieron a partir del certificado de análisis elaborado por sus proveedores y se comparó con lo que especifica la Norma Oficial Mexicana para dicho producto. El certificado de análisis contenía lo que a continuación se indica:

- Nombre comercial: MASECA.
- Presentación: costal con 20 kg.

* Los componentes químicos más importantes del harina de maíz nixtamalizado se observan en la Tabla III.1.

TABLA III.1. COMPONENTES QUÍMICOS DEL HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO.

Componente	Especificación de NOM*	Análisis
Humedad	Máximo 11.0	10.19
Proteínas	Mínimo 8.0	8.86
Cenizas	Máximo 1.5	1.23
Extracto etéreo	Mínimo 4.0	4.58

* NOM = Norma Oficial Mexicana.

* Finura: 79% de muestra pasó por un tamiz de malla 60.

3.3.2 CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO.

Las características de la Carboximetil celulosa de sodio se consultaron con su proveedor a partir del certificado de análisis correspondiente; el cual contenía la siguiente información:

* Nombre comercial: Ideal CMC (FG) de Ingeniería y Desarrollo Alimentario.

* Características químicas. Las características químicas de la Carboximetil celulosa de sodio se encuentran en la Tabla III.2.

TABLA III.2. CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LA CARBOXIMETIL CELULOSA
DE SODIO.

Característica	Análisis	Especificación
pH (solución al 1% en agua bidestilada)	7.0	7 ± 1
Humedad (%)	4.7	8 Máximo
Pureza (%)	99.5	99.5 Mínimo
Grado de sustitución	0.74	0.74 - 0.90

3.3.3 TENSOACTIVOS: MONOGLICERIDOS DESTILADOS Y MONO- Y DIGLICERIDOS.

Las características de los Mono- y diglicéridos y de los Monoglicéridos destilados fueron proporcionadas por los vendedores de dichas materias primas con la expedición de los certificados de análisis correspondientes, los cuales contenían los siguientes puntos:

- Mono- y diglicéridos:

• Nombre comercial: Kirnol de Henkel Mexicana.

• Características químicas. Las características químicas de los Mono- y diglicéridos se encuentran indicadas en la Tabla III.3.

TABLA III.3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS MONO- Y DIGLICERIDOS.

Característica	Análisis	Especificación
Índice de acidez (mg/g)	1.832	Máximo 5.0
Alfa monoglicéridos (%)	43.90	Mínimo 43.0
Glicerina (%)	2.292	Máximo 7.0
Índice de saponificación		Mínimo 155.0
(mg/kg)	169.8	Máximo 170.0
Humedad (%)	0.8287	Máximo 2.0

- Monoglicéridos destilados:

* Nombre comercial: Amidan de Grindsted.

* Características químicas. Las características químicas más importantes de

los Monoglicéridos destilados se encuentran en la Tabla III.4.

**TABLA III.4. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LOS MONOGLICERIDOS
DESTILADOS.**

Característica	Análisis (%)	Especificación (%)
Glicerol libre	0.25	Máximo 1.0
Monoglicéridos totales	95.30	Mínimo 90
Humedad	1.38	Máximo 2

3.3.4 CONSERVADOR.

Se utilizó un conservador comercial llamado G-100 Conservador para tortillas, elaborado por Alimentos Framex. Este conservador se basa en una mezcla de Acido fumárico y Sorbato de potasio, se adicionó al 1.0% sobre el peso del harina.

3.4 CONDICIONES DE PROCESO PARA LA ELABORACION DE TORTILLAS DE MAIZ.

Se realizaron observaciones preliminares con el fin de conocer el funcionamiento de la máquina tortilladora así como las condiciones que se manejaron en el proceso, siempre con el apoyo de un operador. Con esto se llegó al establecimiento de los siguientes puntos con los cuales se llevó a cabo la experimentación (Figura III.3):

1. Mezcla de polvos. El porcentaje de la Carboximetil celulosa de sodio o los tensoactivos en polvo (Monoglicéridos destilados y Mono- y diglicéridos) se adicionaron con base en el peso del harina de maíz nixtamalizado. La cantidad mínima de harina para trabajar fue de 20 kg para un buen funcionamiento de la máquina.

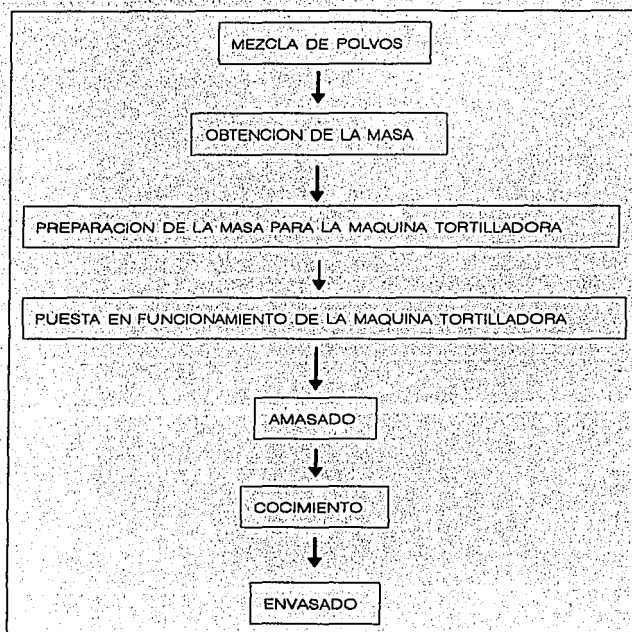


Figura III.3. Diagrama de bloques para tortilla de harina de nixtamal.

El proceso iniciaba cuando el harina se vertía en una mezcladora de paletas, después se adicionaban los tensoactivos o la mezcla de Carboximetil celulosa de sodio con Mono- y diglicéridos y el conservador; (la mezcla de tensoactivo o de goma más Mono- y diglicéridos con el conservador se hacía previamente) se colocaba la tapa y se mezclaban por 15 minutos ^(19, 22).

La Carboximetil celulosa de sodio se dispersaba primero en agua para su posterior adición al harina, debido a que al hacer pruebas preliminares con la concentración inicial se observó la formación de grumos con lo que se decidió su dispersión. La goma se incorporaba poco a poco en el agua a temperatura ambiente que se adicionaba al harina, mientras se iba agitando manualmente con una paleta de madera, al término de la incorporación de la goma se continuaba con la agitación manual hasta que se formaba una mezcla más o menos uniforme. Por otro lado, mientras tanto se mezclaban el harina y el conservador en la mezcladora de paletas.

Las mezclas de Carboximetil celulosa de sodio + Mono- y diglicéridos se incorporaron al proceso por medio de mezcla de polvos, indicada más arriba; debido a que los Mono- y diglicéridos no son solubles en agua, por lo cual se decidió realizar la mezcla con la goma primero y después adicionarla.

2. Obtención de la masa. Pasados los 15 minutos de mezclado de polvos, se agregaba el agua (25 litros para el testigo según recomendación del fabricante) con la ayuda de un recipiente implementado para el volumen de líquido necesario. Se mezclaba por 5 minutos; durante el mezclado de acuerdo a la textura que la masa iba teniendo, el operador indicaba la necesidad de agregar más agua para asegurar un buen manejo de la masa en la máquina tortilladora. En los casos donde se requería la adición de más agua se utilizaba un recipiente de 250 mililitros, y se agregaba poco a poco mientras se iba mezclando.

3. Preparación de la masa para la máquina tortilladora. Una vez que la masa se obtenía se vaciaba en una charola colocada debajo de la mezcladora, donde se aglutinaban pedazos de la misma hasta formar piezas grandes de forma casi esférica de aproximadamente 60 cm de diámetro y 10 kg de peso.

4. Puesta en funcionamiento de la máquina tortilladora. Se encendían los calentadores de gas de la máquina tortilladora con un trozo largo y delgado de madera con la punta empapada en petróleo. Se colocaba la antorcha en los primeros quemadores (banda transportadora de comales superiores), se abrían las válvulas de gas un poco, hasta que aparecía la flama y se continuaba con los quemadores de la banda transportadora de los comales de en medio y de la parte inferior. Después se regulaba la flama con la válvula de paso del gas hasta conseguir que fuera de color azul. Pasado lo anterior, a las bandas de comales se les ponía teflón líquido con una borra. Las piezas de masa del punto anterior se colocaban en la tolva de la máquina hasta su máxima capacidad. Después se conectaba la energía eléctrica de la máquina tortilladora y por último se ponía en funcionamiento el tornillo sin fin de la tolva y el extrusor (también llamado dado formador).

5. Amasado. El diámetro y espesor de la tortilla se regulaban a la salida del extrusor; mientras se iban devolviendo a la tolva las tortillas crudas que aún no estaban listas. Se terminaba de regular el tamaño de la tortilla cuando tenía

aproximadamente 16 cm de diámetro, espesor de 4mm y un peso de 35 g. Las tortillas estaban listas para cocerse cuando presentaban una apariencia uniforme, momento en el que ya no se regresaban a la tolva y se dirigían a la banda de cocimiento.

6. Cocimiento. Los comales se calentaban por 10 minutos. Pasado este tiempo y de acuerdo al punto anterior las tortillas crudas, se cocinaban por 57 segundos a una temperatura de 250°C (según dato proporcionado por el encargado de mantenimiento de la máquina tortilladora).

7. Envasado. A medida que las tortillas iban cayendo al cesto de la máquina tortilladora se colocaban en una báscula hasta juntar un kilogramo y se envolvían en papel de estraza. Después, se iban colocando en montones de 2 paquetes en una mesa.

3.5 EVALUACION DEL EMPLEO DE GOMA CARBOXIMETIL CELULOSA DE SODIO Y DOS TENSOACTIVOS.

Una vez establecidas las condiciones de proceso para la elaboración de tortilla de maíz, se empleó por separado la Carboximetil Celulosa, Monoglicéridos destilados y los Mono- y diglicéridos; continuando con una mezcla de la Carboximetil celulosa de sodio y los Mono- y diglicéridos, elegida como ya se ha indicado. Además se corrió un testigo sin Carboximetil celulosa de sodio ni

tensoactivos, solo con el conservador con fines de comparación. El efecto los aditivos se evaluó en la masa, durante el proceso de elaboración y en la tortilla.

3.5.1 EVALUACIONES EN LA MASA

1. Tiempo de amasado. Fue el tiempo que transcurría desde que la masa se colocaba en la tolva de la máquina tortilladora en funcionamiento, hasta que la tortilla ya moldeada y cruda al salir del dado formador de la máquina, no presentaba grietas ni pliegues con lo que estaban listas para el cocimiento.

2. Adherencia de la masa. La adherencia de la masa se evaluó con una medida subjetiva después de evaluar el tiempo de amasado. Se tomaban 4 tortillas crudas al salir del extrusor, presionándolas entre sí con la mano derecha, se determinaba al tacto si se pegaban a los dedos o no; otorgándose un valor de 1 = para masa no pegajosa, 2 = masa más o menos pegajosa y 3 = si la masa era pegajosa.

3. Humedad. Se determinó la humedad de la masa por medio del método No. 44-15A descrito en el AACC^[40]. Secado por estufa. Para esta determinación se tomaban 4 tortillas crudas cuando aproximadamente la mitad de la masa de la tolva de la máquina tortilladora se había procesando.

3.5.2 TOMA DE MUESTRAS.

Las tortillas que se emplearon para las evaluaciones fueron las que correspondían, aproximadamente a la mitad de la masa procesada; descartando las primeras y las últimas tortillas, se tomaban cuatro kilogramos.

Las determinaciones iniciales de enrollamiento, resistencia y textura se realizaron pasada una hora de la recolección.

3.5.3 ALMACENAMIENTO.

1. Cuando las tortillas estaban frías, tres horas después de terminado el proceso, se despegaban y envasaban en bolsas de polietileno de bajo calibre. Cada bolsa contenía 15 piezas. Las bolsas eran cerradas con ligas de goma. Al introducir el producto en la bolsa se extraía todo el aire en forma manual.

2. La mitad de los paquetes de tortilla del punto anterior se almacenaron en condiciones ambientales, lejos de corrientes de aire; mientras que la otra mitad permaneció en refrigeración a 6 °C.

3. Tiempo de almacenamiento. Para las tortillas almacenadas a temperatura ambiente el tiempo de almacenamiento fue de 7 días. Con respecto a las tortillas que se encontraban en refrigeración el almacenamiento fue de 14 días.

4. Las pruebas de enrollamiento y resistencia se realizaron diariamente a las tortillas que se encontraban en condiciones ambientales y cada dos días a tortillas almacenadas en refrigeración.

5. La determinación de humedad se realizaba todos los días a tortillas almacenadas a temperatura ambiente y cada dos días a las que estaban en refrigeración. La humedad se determinaba en tortillas sin recalentar.

6. Las pruebas de enrollamiento y resistencia se llevaban a cabo en tortillas recalentadas bajo las siguientes condiciones controladas:

- Se colocaba un comal en una parrilla. La parrilla se calentaba al máximo calor.
- Pasados 10 minutos se colocaba la tortilla en el comal, dejándola 15 segundos de cada lado.

3.5.4 EVALUACIONES EN LA TORTILLA.

1. Ampolla. Era el hinchamiento de una de las caras de la tortilla que se presentaba al final de la cocción. Fue medida de una forma subjetiva la ausencia o presencia de ampolla, calificándose con un valor de 1 = si no se presentaba hinchamiento o éste era poco, 2= si el hinchamiento era parcial, pero más o menos considerable y 3= cuando el hinchamiento era en toda la superficie de la tortilla. Esta evaluación también se registró para el recalentamiento de la tortilla.

2. Manchas oscuras en la tortilla. Se midió subjetivamente por observación de la tortilla, la presencia de manchas oscuras al término del cocimiento. Se asignaron los siguientes valores: 1 = ausencia de manchas oscuras, 2 = poca presencia de manchas oscuras y 3 = una gran cantidad de manchas oscuras en la superficie de la tortilla.

3. Peso tortilla. Se registró el peso de las tortillas individualmente. Se tomaban 10 tortillas y se obtenía el promedio.

4. Se registraban cambios de color, sabor u olor tanto en la masa como en las tortillas.

5. Determinación de humedad. Se determinó la humedad de la tortilla por medio del método No. 44-15A descrito en el AACC⁽⁴⁰⁾. Secado por estufa.

6. Prueba de enrollamiento. En ésta evaluación se pretendió simular la acción de hacer un "taco". La tortilla se enrollaba en cilindros de diferentes diámetros desde 0.5 hasta 1.5 cm. La prueba comenzaba con el cilindro de mayor diámetro, al término del enrollamiento de la tortilla en el cilindro se desenrollaba y se determinaba a simple vista si había sufrido algún daño. Esta evaluación se calificaba de acuerdo con el cilindro donde sufría alguna avería y al tipo de ésta, como se indica en la Tabla III.5.

TABLA III.5. EVALUACIONES PARA PRUEBA DE ENROLLAMIENTO EN LA
TORTILLA DE MAIZ.

☉	Daño sufrido por la tortilla					
	Díámetro de cilindro (cm)	Sin daño	Separación de las caras por la orilla	Grietas	Roturas en una cara	Roturas en ambas caras
	0.50	10	9.75	9.50	9.00	8.50
	0.70	—	7.75	7.50	7.00	6.50
	1.0	—	5.75	5.50	5.00	4.50
	1.5	—	3.75	3.50	3.00	2.50

En el caso de los cilindros de 0.70, 1.0 y 1.5 cm no se da calificación debido a que si la tortilla no sufría daño al enrollarla en dichos cilindros, inmediatamente se enrollaba en el cilindro siguiente.

7. Prueba de resistencia. Esta prueba se basaba en el daño que sufría una tortilla cuando se introducía a diferentes aberturas entre dos rodillos de la máquina para pastas (Figura III.2). La evaluación consistía en tomar la tortilla y unir la por dos lados quedando a la mitad, introduciéndola después entre los rodillos, observando si sufría algún daño. Se utilizaron 4 diferentes distancias entre rodillos y se comenzaba con la mayor. La evaluación consideraba el número de abertura donde se presentaba el daño y el grado de daño como se muestra en la Tabla III. 6. En las

aberturas 3, 2 y 1 no se otorgaba ninguna calificación ya que si la tortilla no sufría daño alguno en éstas aberturas, se continuaba con la abertura siguiente.

TABLA III.6. EVALUACION PARA LA PRUEBA DE RESISTENCIA EN LA TORTILLA DE MAIZ.

Abertura entre cilindros (De menor a mayor)	Daño sufrido por la tortilla				
	Sin daño	Separación de las caras por la orilla	Grietas	Roturas en: una cara	Roturas en ambas caras
4	10	9.75	9.50	9.00	8.50
3	—	7.75	7.50	7.00	6.50
2	—	5.75	5.50	5.00	4.50
1	—	3.75	3.50	3.00	2.50

9. Las pruebas de enrollamiento y resistencia se aplicaron a cinco tortillas en cada evaluación.

10. Textura de la tortilla. La evaluación de textura se realizó en forma subjetiva considerando la facilidad de manipulación de la tortilla cuando se llevaban a cabo las pruebas de enrollamiento y resistencia. Esta prueba se calificaba utilizando la siguiente escala: 1 = tiesa, 2 = más o menos suave y 3 = suave.

3.6 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO.

En las evaluaciones de tiempos de amasado, porcentaje de humedad de la masa, peso y porcentaje de humedad de la tortilla se realizó un análisis de varianza de dos factores, del cual se obtuvo el efecto de las variables estudiadas a partir de determinar si el valor de F calculada era mayor al de F de tablas ⁽⁴¹⁾.

En lo que respecta a las pruebas de enrollamiento y resistencia durante el almacenamiento se contemplaron los siguientes parámetros:

1. Análisis de regresión lineal, atendiendo a las siguientes variables:
 - ETA. Enrollamiento a temperatura ambiente vs tiempo de almacenamiento.
 - ETR. Enrollamiento a temperatura de refrigeración vs tiempo de almacenamiento.
 - RTA. Resistencia a temperatura ambiente vs tiempo de almacenamiento.
 - RTR. Resistencia a temperatura de refrigeración vs tiempo de almacenamiento.

2. La pendiente obtenida del análisis de regresión lineal es igual a la velocidad de pérdida de calidad para cada variable dependiente (enrollamiento y resistencia).

3. Las pendientes se usaron como variable de respuesta en un análisis de varianza de dos factores (A y B) en un arreglo factorial de parcelas divididas realizado por un programa de computadora, el cual calculó la probabilidad exacta (P), evitando así la búsqueda de F en tablas, considerando que si $P > 0.05$ el efecto no es significativo, si $P < 0.01$ el efecto es altamente significativo y si $0.05 \leq P \leq 0.01$ el efecto es significativo ⁽⁴¹⁾, de acuerdo al orden presentado en la Tabla III.7.

TABLA III.7. VARIABLES PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA.

Variable A = 1 = Tipo de aditivo con 4 niveles:				
1= Carboximetil celulosa de sodio (CMC)				
2= Mono- y diglicéridos (T1)				
3= Monoglicéridos destilados (T2)				
4 = Mezcla de CMC con Mono- y diglicéridos (M)				
Variable B = 3 = Concentraciones con 3 niveles:				
Concentración	Niveles			
	Aditivo 1	Aditivo 2	Aditivo 3	Aditivo 4
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2
3	3	3	3	3

Los valores de la variables utilizadas quedaron definidos como sigue:

1. Para repetición de 1 a 2 ya que corresponde a la prueba y su respectiva repetición.
2. En el caso de aditivo es de 1 a 4 por los que se utilizaron, 1-Carboximetil celulosa de Sodio; 2- Mono- y diglicéridos; 3- Monoglicéridos destilados y 4 mezcla de Carboximetil celulosa de sodio y Mono-y diglicéridos.

Lo que correspondió a concentraciones quedó como lo indica la Tabla III.8.

TABLA III.8. CONCENTRACION DE ADITIVOS PARA EL ANALISIS DE VARIANZA.

Aditivo	Concentración (%)
1	0.200
1	0.075
1	0.050
2	0.100
2	0.200
2	0.400
3	0.100
3	0.200
3	0.400
4*	0.050+0.40
4*	0.050+0.20
4*	0.050+0.15

* En el aditivo 4 (mezcla) el orden de componentes fue: el primer número corresponde a la Carboximetil celulosa de sodio y el segundo a los Mono- y diglicéridos.

Una vez obtenido el análisis de varianza, se aplicó el método de las Diferencias Mínimas Significativas de la prueba (DMS), los cálculos se hicieron solamente en los casos en que el análisis de varianza indicaba la existencia de una diferencia significativa y altamente significativa entre las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 EVALUACIONES EN LA MASA.

4.1.1 HUMEDAD DE LA MASA.

La Tabla IV.1 muestra los resultados obtenidos de humedad para la masa de tortillas de maíz. El análisis de varianza indicó que existen efectos significativos en la humedad de la masa por parte del tipo de aditivo y por las concentraciones, mientras que en el caso de la interacción aditivo-concentración esto no sucede (Tabla IV.2). En la Tabla IV.1 se observa que la Carboximetil celulosa de sodio a la concentración de 0.20% y la mezcla de Carboximetil celulosa de sodio (CMC) a 0.050% y Mono-y diglicéridos (T1) a 0.40% tuvieron humedades muy cercanas a la del testigo (comparando con el resto de las pruebas).

TABLA IV. 1. HUMEDAD DE LA MASA CON ADITIVOS.

Aditivo	CMC			Mono- y diglicéridos (T1)			Monoglicéridos destilados			Mezclas		
	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Concentración (%)	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Humedad (%)	56.17	57.77	57.91	56.92	57.69	58.40	55.88	57.37	57.81	55.79	58.06	57.30
δ	0.35	0.26	0.22	0.57	0.51	0.11	0.60	0.19	0.55	2.79	3.35	3.11
C.V.	0.63	0.44	0.40	1.00	0.88	0.19	1.10	0.34	0.95	4.50	5.77	5.43
Testigo						Humedad ($\delta = 2.96$, C.V. = 5.28) 55.98%						

Donde:

- CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

- δ = Desviación estándar.

- C.V. = Coeficiente de variación.

- En las columnas de las concentraciones usadas en las mezclas (*) aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

TABLA IV.2. RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA HUMEDAD DE LA MASA PARA TORTILLAS DE MAIZ CON ADITIVOS.

Fuente de variación	F calculado	Comparación	F de tablas
Aditivo (A)	3.67	>	2.53
Concentración (B)	4.64	>	3.03
Interacción AxB	1.88	<	3.43

En el caso de la Carboximetil celulosa de sodio (CMC) como es un hidrocoloide que por su estructura y tipo de sustituyentes tiene una gran capacidad para absorber agua, fue posible adicionar una cantidad mayor de este líquido lo que repercutió en que la humedad de la masa a las concentraciones de 0.075 y 0.050% de CMC fuera mayor que la del testigo, esto hizo suponer que a la concentración de 0.20% de CMC el agua tendría que ser aumentada y con ella el contenido de humedad de la masa, lo que no sucedió (Tabla IV.1). Se piensa que la hidratación total de la CMC no se lograba; porque al agregarse el agua al harina en la preparación de la masa, debía obtenerse una consistencia prefijada para poderla trabajar en la máquina donde se elaboraban las tortillas; en caso contrario no se podía trabajar. Para que la masa tenga un buen manejo en la máquina debe presentar una consistencia tal que permita su amasado sin pegarse a las partes involucradas de la máquina, que en el moldeo se forme una tortilla fácilmente con un aspecto uniforme, que no se agriete, ni que se pegue a las bandas de cocimiento

y que sea posible la formación de una tortilla manualmente. Estas características son consecuencia de la adhesividad entre las moléculas de almidón y proteínas de la harina de maíz nixtamalizado, que de no cumplirse la tortilla saldría defectuosa ^[19]. Es por ello que se atendió a las indicaciones al respecto del operador de la máquina tortilladora. Aún así con la adición de hidrocoloides se tiene la posibilidad de una mayor absorción de agua por parte de la masa, pero debe tomarse en cuenta como puede afectar esto en su manejo para la preparación de la tortilla.

Los Mono- y diglicéridos y los Monoglicéridos destilados presentaron humedades de la masa similares entre sí en todas sus concentraciones y a 0.10% de estos dos tensoactivos su humedad fue como la del testigo (Tabla IV.1).

En el caso de la primera mezcla utilizada que contenía 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio (CMC) + 0.40% de Mono- y diglicéridos no presentó los resultados esperados, ya que la humedad de la masa para este caso fue menor que las obtenidas para los Mono- y diglicéridos y la CMC individualmente a las mismas concentraciones (Tabla IV.1); se pensó que con el uso de dicha mezcla el contenido de humedad de la masa iba a ser mayor. Esto lleva a pensar que la concentración de Mono- y diglicéridos (0.40%) fue excesiva en la mezcla, debido a que la masa resultante era difícil de manipular y al tratar de moldearla manualmente se agrietaba. Tal vez el hecho de considerar que la concentración de 0.40% de Mono- y diglicéridos fue excesiva en la mezcla se deba al hecho de que al

disminuir la concentración a 0.20% la humedad de la masa fue mayor y su manipulación fue mejorada con respecto a la primera mezcla (Tabla IV.1).

4.1.2 ADHERENCIA DE LA MASA.

Las masas conteniendo Mono y -diglicéridos (T1) o Monoglicéridos destilados (T2) fueron de una consistencia diferente a la masa testigo, ya que presentaban cierta suavidad al tacto con respecto a su facilidad para manipularla; de acuerdo tanto a apreciaciones personales como del operador. Esto se debe a la actividad de superficie que contienen los tensoactivos ya que pueden actuar como agentes dispersantes, lo que permite que el agua se incorpore mejor a los componentes del harina, evitando la formación de grumos, lográndose una consistencia más homogénea y suave ^[42].

Las únicas masas que presentaron adherencia con una calificación de 3 (pegajosa) eran las elaboradas con Carboximetil celulosa de sodio al 0.20% y más o menos pegajosa con una calificación de 2 las masas que contenían CMC a la concentración de 0.075% y 0.05% (Tabla IV.3). El hecho anterior se atribuye a la propiedad de aumento de la viscosidad del sistema que imparte la CMC al hidratarse, lo que provocaba que la masa fuera pegajosa. Las masas que contenían las mezclas de tensoactivos y goma no fueron pegajosas.

TABLA IV.3. ADHERENCIA DE LA MASA EN TORTILLAS DE MAIZ CON ADITIVOS.

Aditivo	Concentración	Adherencia de la masa
Mono- y diglicéridos (T1)	0.10	1
	0.20	1
	0.40	1
Monoglicéridos destilados	0.10	1
	0.20	1
	0.40	1
Carboximetil celulosa de sodio (CMC)	0.200	3
	0.075	2
	0.050	2
Mezcla	0.050 CMC + 0.40 T1	1
	0.050 CMC + 0.20 T1	1
	0.050 CMC + 0.15 T1	1
Testigo	—	1

Donde: 3 = Pegajosa, 2 = más o menos pegajosa y 1 = no pegajosa.

4.1.3 TIEMPO DE AMASADO.

En el análisis de varianza para tiempos de amasado se encontró que el tipo de aditivo, la concentración y la interacción aditivo-concentración tuvieron efectos significativos sobre el tiempo de amasado (Tabla IV.4). Se supuso que al adicionar

tensoactivos o gomas el tiempo de amasado de la masa en la máquina tortilladora disminuiría con respecto al del testigo; ya que estos aditivos podrían ayudar a una rápida hidratación de los componentes de la masa, logrando en un menor tiempo la adhesividad de la misma. Pero esto no ocurrió, ya que como puede observarse en la Tabla IV.5, se presentó un aumento en el tiempo de amasado en la mayoría de los casos, encontrándose el mayor para Carboximetil celulosa de sodio a 0.050%. El menor tiempo de amasado se encontró con Mono- y diglicéridos a la concentración de 0.10%, aunque la diferencia con respecto al testigo fue sólo de 3 segundos.

TABLA IV.4. RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA TIEMPOS DE AMASADO.

Fuente de variación	F calculado	Comparación	F de tablas
Aditivo (A)	12.58	>	2.53
Concentración (B)	4.59	>	3.03
Interacción A x B	25.87	>	3.42

TABLA IV. 5. TIEMPOS DE AMASADO EN LA MAQUINA TORTILLADORA.

Aditivo	CMC			Mono- y diglicéridos (T1)			Monoglicéridos destilados			Mezclas		
	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Concentración (%)	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Tiempo (min. y seg.)	6'45"	7'08"	8'03"	6'37"	6'41"	7'02"	7'01"	6'55"	6'48"	7'07"	7'38"	6'51"
δ	33.94	42.43	33.94	18.30	19.80	41.03	32.53	8.49	14.85	16.97	25.46	41.01
C.V.	8.38	9.91	7.03	4.63	5.01	9.72	7.73	2.04	3.74	3.97	5.56	9.98
	Testigo						Tiempo ($\delta = 39.60$, C.V. = 9.90) 6'40"					

Donde:

- CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

- δ = Desviación estándar.

- C.V. = Coeficiente de variación.

- En las columnas de las concentraciones usadas en las mezclas (*) aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

Debe considerarse que el tiempo de amasado, depende tanto de la rapidez con que se manejen las partes de la máquina tortilladora en la operación: ajuste del tamaño y espesor de la tortilla en la máquina por parte del operador; así como de las propiedades de la masa; sin embargo en este caso se atribuye al primer caso la mayor influencia en los tiempos obtenidos. El efecto verdadero de la adición de aditivos en el tiempo de amasado sólo hubiera sido posible determinarlo con el tiempo total de producción de la prueba; pero esto no fue posible debido a que la máquina no podía quedarse sin masa suficiente después de haber recolectado las tortillas necesarias para la prueba porque debía continuarse con la producción normal en el local.

4.2 EVALUACIONES EN LA TORTILLA DE MAIZ.

4.2.1 MANCHAS EN LA TORTILLA.

Todas las concentraciones de los tensoactivos y la Carboximetil celulosa de sodio en proporción de 0.075% y 0.050% no incrementaban el número de manchas por quemadura en las tortillas o por reacción con alguno de los componentes; lo que se explica por el hecho de que los tensoactivos y la Carboximetil celulosa de sodio no contienen grupos reductores por lo que no incrementaban las reacciones por obscurecimiento de Maillard ^[22].

En contraste las tortillas elaboradas con CMC a la concentración de 0.20% se les otorgó una calificación de 2 ya que se considero la presencia de algunas manchas oscuras en la cara que corresponde a la ampolla. Este comportamiento se presentaba debido a que por la característica pegajosa de la masa a esa concentración, la tortilla cruda se pegaba más a los comales en la primera parte del cocimiento lo que provocaba manchas oscuras por quemaduras ^[22].

4.2.2 AMPOLLA.

Las únicas tortillas que obtuvieron una ampolla con un 50% de superficie total de la tortilla, por lo que se les calificó con 2; contenían Carboximetil celulosa de sodio a la concentración de 0.20%. El resto de las pruebas tuvo una ampolla normal (Tabla IV.6). El hecho de que se presentará dicho comportamiento en la masa conteniendo 0.20% de Carboximetil celulosa de sodio se atribuyó a que era pegajosa, por lo que en la formación de la ampolla, esta tendía a adherirse con la otra superficie, por lo que la presión de vapor no era suficiente para permitir el máximo volumen.

Por otra parte, se menciona que una concentración adecuada de Carboximetil celulosa de sodio mejora la retención de vapor y extensión de la ampolla en la tortilla de maíz ^[22].

TABLA IV.6. AMPOLLA EN LA TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS.

Aditivo	Concentración (%)	Ampolla
Mono- y diglicéridos (T1)	0.10	3
	0.20	3
	0.40	3
Monoglicéridos destilados	0.10	3
	0.20	3
	0.40	3
Carboximetil celulosa de sodio (CMC)	0.200	2
	0.075	3
	0.050	3
Mezcla	0.050 CMC + 0.40 T1	3
	0.050 CMC + 0.20 T1	3
	0.050 CMC + 0.15 T1	3
Testigo	—	3

Donde:

1=no había hinchamiento en la tortilla o era poco, 2= hinchamiento parcial y

3=hinchamiento en toda la superficie de la tortilla.

4.2.3 PORCENTAJE DE HUMEDAD.

El análisis de varianza (Tabla IV.7) indicó que el tipo de aditivo y la interacción aditivo-concentración tuvieron efectos significativos en el porcentaje inicial de humedad de la tortilla, mientras que el efecto de la concentración no fue significativo. El contenido de humedad inicial de todas las tortillas se encontraba entre 40-42% como muestra la Tabla IV.8. La diferencia entre la humedad del testigo y la mayoría de las tortillas con aditivos no es mayor de 1.5%, el mayor porcentaje de humedad lo presentaron las muestras con Monoglicéridos destilados al 0.40% (41.75%), que corresponde a una de las masas con mayor porcentaje de humedad comparando con el testigo (Tabla IV.1).

TABLA IV. 7. RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA HUMEDAD DE LA TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS.

Fuente de variación	F calculado	Comparación	F de tablas
Aditivo (A)	3.032	>	2.53
Concentración (B)	1.6524	<	3.03
Interacción AxB	3.9378	>	3.42

TABLA IV. 8. HUMEDAD DE LA TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS EN EL DIA CERO.

Aditivo	CMC			Mono- y diglicéridos (T1)			Monoglicéridos destilados			Mezclas		
	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Concentración (%)	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Humedad (%)	40.68	41.24	41.12	40.81	40.90	41.46	40.84	41.05	41.76	40.33	41.42	40.29
δ	1.45	0.57	0.49	1.27	1.87	0.95	0.53	0.37	0.62	1.57	1.17	0.41
C.V.	3.56	1.37	1.17	3.15	4.56	2.29	1.32	1.00	1.49	3.89	2.83	1.02
Testigo						Humedad ($\delta = 1.12$, C.V. = 2.77) 40.29%						

Donde:

- CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

- δ = Desviación estándar.

- C.V. = Coeficiente de variación.

- En las columnas de las concentraciones usadas en las mezclas (*) aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

Se tuvieron problemas en la determinación de humedad durante el almacenamiento de la tortilla sobre todo a temperatura de refrigeración. Sin embargo, se pudo apreciar que no hubo diferencias de humedad en las tortillas almacenadas a temperatura ambiente en ninguna de las concentraciones estudiadas con respecto al primer día; por tal motivo se decidió no reportar los datos. Las tortillas que se almacenaron en refrigeración, elaboradas con Carboximetil celulosa de sodio (CMC) y las mezclas de CMC + tensoactivo retuvieron más agua en comparación con el testigo. Estos resultados concuerdan con otras investigaciones e informaciones bibliográficas, que mencionan que los cambios en la calidad de la tortilla no dependen de la pérdida de humedad, sino de las propiedades del almidón durante el cocimiento y los cambios que sufra durante el almacenamiento ^[13, 19, 22].

4.2.4 PESO DE LA TORTILLA.

Los pesos de las tortillas con los distintos aditivos y el testigo aparecen en la Tabla IV.9. En el análisis de varianza (Tabla IV.10) resultó que la concentración y la interacción aditivo-concentración ejercieron efectos significativos sobre el peso de la tortilla, mientras que el efecto del tipo de aditivo no fue significativo.

TABLA IV. 9. PESO DE LA TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS.

Aditivo	CMC			Mono- y diglicéridos (T1)			Monoglicéridos destilados			Mezclas		
	0.20	0.075	0.050	0.10	0.20	0.40	0.10	0.20	0.40	0.05 + 0.40*	0.05 + 0.20*	0.05 + 0.15*
Concentración (%)	20.49	20.39	20.01	20.99	19.39	19.50	21.80	19.82	19.37	19.47	20.09	20.89
Peso (g)	2.14	0.92	0.23	0.10	2.57	0.21	1.84	0.52	0.30	1.77	0.19	1.60
δ	10.47	4.50	1.13	0.50	13.28	1.10	8.43	2.64	1.53	9.08	1.00	7.65
C.V.	Testigo						Peso ($\delta = 1.05$, C.V. = 4.85) 21.69 g					

Donde:

- CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

- δ = Desviación estándar.

- C.V. = Coeficiente de variación.

- En las columnas de las concentraciones usadas en las mezclas (*) aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

TABLA IV.10. RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA PESO DE LA TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS.

Fuente de variación	F calculado	Comparación	F de tablas
Aditivo (A)	2.41	<	2.53
Concentración (B)	6.19	>	3.03
Interacción AxB	16.53	>	3.42

La mayoría de los pesos de la tortilla con aditivos se encontraron por debajo de el del testigo (Tabla IV.9), excepto en el caso de Monoglicéridos destilados al 0.10% que fue de 21.80 g contra 21.69g del testigo. El menor peso lo presentaron tortillas con 19.39 g que corresponden a 0.20% de Mono- y diglicéridos. Las diferencias en el peso de la tortilla encontradas pueden atribuirse a que la adición de aditivos podría favorecer la adhesividad de la masa, por lo que durante el moldeo era posible que la masa se extendiera más, y se consiguieran las dimensiones de la tortilla con una menor cantidad de masa comparando con el testigo, con lo que ya cocidas resultarían un poco más ligeras. Debe recordarse que aunque se pretendió controlar las dimensiones de la tortilla en el moldeo, el manejo de las partes mecánicas involucradas en la operación depende de las observaciones del operador con respecto a las características de manejo de la masa, por lo que un control estricto en este aspecto no siempre es posible.

4.2.5 EVALUACIONES DE TEXTURA.

Los resultados obtenidos en las evaluaciones subjetivas de textura en el día cero se observan en la Tabla IV.11.

TABLA IV.11. EVALUACION SUBJETIVA DE TORTILLA DE MAIZ CON ADITIVOS EN

EL DIA.

Muestra	Concentración	Textura
Mono- y diglicéridos (T1)	0.10	3
	0.20	3
	0.40	3
Monoglicéridos destilados	0.10	3
	0.20	3
	0.40	3
Carboximetil celulosa de sodio (CMC)	0.200	2
	0.075	2
	0.050	2
Mezcla	0.050 CMC + 0.40 T1	3
	0.050 CMC + 0.20 T1	3
	0.050 CMC + 0.15 T1	3
Testigo	—	2

Donde: 3= suave, 2= más o menos suave y 3= tiesa.

En el día 0 las tortillas testigo y con Carboximetil celulosa de sodio a las tres concentraciones usadas tuvieron textura de 2, tortillas elaboradas con tensoactivos y las mezclas (Carboximetil celulosa de sodio + Mono- y diglicéridos) en todas sus concentraciones se calificaron con una textura de 3.

Las mejores tortillas desde el día cero y durante el almacenamiento, tanto en refrigeración como a temperatura ambiente, fueron las que contenían la mezcla de Carboximetil celulosa de sodio al 0.050% + 0.20% de mono- y diglicéridos, puesto que mantuvieron la textura del inicio (3) hasta el sexto día de almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración hasta el día 12; terminando con una textura de 2 para el día 14. En el testigo sucedió que al tercer día de almacenamiento a temperatura ambiente la tortilla estaba tiesa y quebradiza por lo que se le calificó con 1. En refrigeración estas características se presentaron al sexto día de almacenamiento. La mezcla de Carboximetil celulosa de sodio a 0.050% y 0.40% de Mono- y diglicéridos sólo mantuvo las características hasta el quinto día a temperatura ambiente y en refrigeración hasta el cuarto día con una textura de 3 y de 2 hasta el final del almacenamiento. La mezcla con 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.15% de Mono- y diglicéridos, se calificó con 3 en el primer día, 2 del segundo al cuarto y uno del quinto al final del almacenamiento a temperatura ambiente; mientras que en condiciones refrigeradas tuvo una textura de 3 hasta el segundo día, 2 al décimo y uno hasta que terminó el almacenamiento.

Los resultados obtenidos con las mezclas indicaron que se presentó un efecto favorable con la unión de las propiedades que imparte la Carboximetil celulosa de sodio (CMC) y las del tensoactivo que usándolos en forma separada, e incluso a una concentración menor de Mono- y diglicéridos (0.20%) que la seleccionada inicialmente (0.40%) se obtuvieron los mejores resultados, lo cual es favorable con respecto a costos.

Las mejores tortillas con Mono- y diglicéridos durante el almacenamiento fueron las de 0.40%, ya que mantuvieron la calificación de 3 hasta el quinto día a temperatura ambiente terminando con una textura de 2. En refrigeración éstas mismas tortillas mantuvieron la calificación de 3 hasta el octavo día, después tuvo una textura de 2 hasta el final del almacenamiento.

Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones hechas con Monoglicéridos con el fin de mejorar la textura de la tortilla. Los diferentes comportamientos durante el almacenamiento se pueden explicar en función de la facilidad que tienen los tensoactivos utilizados de interaccionar con la amilosa y amilopeptina ya que juegan un papel importante en ocasionar textura tiesa a causa del envejecimiento, y en el caso de la tortilla de maíz se piensa que tiene mayor influencia la amilopeptina y por tanto en este caso, importaría que un mayor porcentaje del tensoactivo reaccionará con la amilopeptina ^[19, 20].

4.3. ENROLLAMIENTO Y RESISTENCIA DE LA TORTILLA DE MAÍZ DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

En cuanto a las pruebas de enrollamiento y resistencia, se observó que conforme pasaba el tiempo disminuían éstas propiedades en todas las tortillas estudiadas, por lo que los resultados se ajustaron a cinéticas lineales, los coeficientes de correlación lineal obtenidos por medio de mínimos cuadrados, fueron de 0.9 o superiores, con una significancia menor a 0.05%⁽⁴¹⁾ lo que condujo a utilizar las pendientes de cada ecuación como una medida de la velocidad con que se perdía el enrollamiento y la resistencia en la tortilla de maíz tanto a temperatura ambiente como en refrigeración.

4.3.1 EVALUACION DE ENROLLAMIENTO EN LA TORTILLA.

En la prueba de enrollamiento las tortillas que no contenían ninguno de los aditivos estudiados, excepto el conservador (testigo) presentaron una de las pendientes mayores (-0.8420) que indicaba una mayor pérdida de la capacidad de enrollamiento de la tortilla durante el almacenamiento, en cambio las que contenían Carboximetil celulosa de sodio, tensocativos o la mezcla de Mono- y diglicéridos con Carboximetil celulosa de sodio presentaron una magnitud absoluta menor en sus pendientes en la mayoría de los casos; lo cual significaba que la pérdida de

enrollamiento en la tortilla ocurría una velocidad más lenta que en el testigo conforme pasaba el tiempo (Tabla IV. 12).

TABLA IV.12. PERDIDA DE ENROLLAMIENTO (PENDIENTE) DE LA TORTILLA DE MAÍZ CON ADITIVOS.

Aditivo	Concentración (% base harina)	Ordenada al origen		Pendiente	
		T°Amb	T°Ref	T°Amb	T°Ref
CMC	0.200	8.01	9.14	-0.8800 a	-0.4540 a
CMC	0.075	8.43	8.33	-0.6835 b	-0.4370 a
CMC	0.050	8.88	8.57	-0.7330 b,c	-0.3163 b
Mezcla 1	0.050+0.40	8.45	7.85	-0.6795 b,c	-0.3915 a
Mezcla 2	0.050+0.20	9.82	8.86	-0.600 b	-0.3040 c
Mezcla 3	0.050+0.15	7.76	7.94	-0.8205 a,c	-0.4025 a
DMS	-----	-----	-----	0.1206	0.0696
Testigo	-----	7.58	6.93	-0.8240	-0.3665

Donde:

* CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

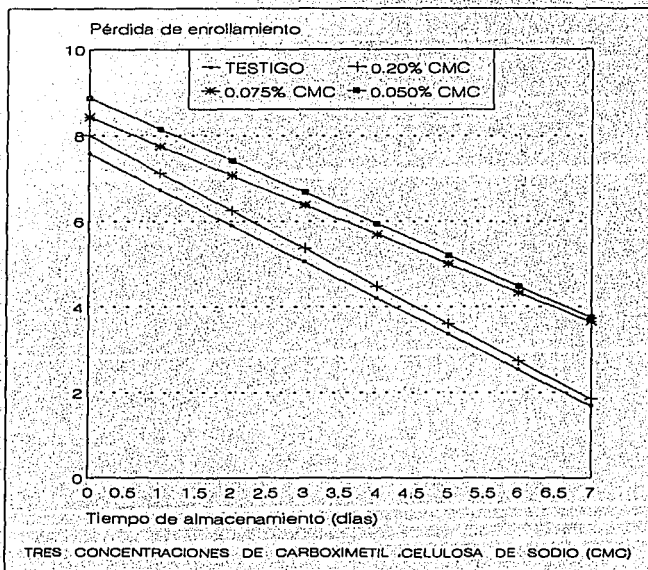
* En los renglones de las concentraciones usadas en las mezclas aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

* Aquellas pendientes que coincidan entre sí de acuerdo a las letras a, b o c, son similares considerando la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

En el día cero (de elaboración), todas las tortillas con Carboximetil celulosa de sodio (CMC) y aún el testigo obtuvieron la calificación más alta en la evaluación de enrollamiento. La estabilidad del enrollamiento durante el almacenamiento a temperatura ambiente se alargó por 3 días a una concentración de 0.050% de CMC, debido a que en el primer día de almacenamiento estas tortillas presentaron una calificación de 10, lo que indicaba que pasaron el cilindro 4 sin daño, en el segundo día obtuvieron la calificación de 9.50 ya que sólo exhibieron grietas al enrollarse en el cilindro 4. A partir del tercer día la capacidad de enrollamiento de dichas tortillas empezó a disminuir, por lo que se presentaron grietas en una cara al enrollarse en el cilindro 3 (calificación de 7.50), hasta que llegado el último día de almacenamiento la tortilla mostro grietas en su superficie al enrollarla en el cilindro 1. Las calificaciones obtenidas en los 3 primeros días de almacenamiento para la prueba de enrollamiento en tortillas con 0.050% de CMC, fueron las más altas de entre las otras concentraciones utilizadas de Carboximetil celulosa de sodio (Gráfica IV.1), así como de los tensoactivos en todas sus concentraciones. Por lo anterior para la mezcla con tensoactivo se seleccionó la concentración de 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio.

En el caso de las tortillas elaboradas con (CMC) a la concentración de 0.075% y 0.20% sufrieron daños al pasarlas por el segundo cilindro desde el segundo día de almacenamiento a temperatura ambiente, a causa de la poca flexibilidad de la tortilla. Además, dichas tortillas al realizar la prueba de enrollamiento daban la

sensación de manipular un plástico y conforme la tortilla se iba enfriando dicha característica aumentaba. Estas tortillas presentaban roturas en una de las caras al pasarlas por el tercer cilindro (calificación de 7) en el segundo día de almacenamiento; y en el séptimo día de evaluación se agrietaban al enrollarlas en el primer cilindro (calificación de 3.50); ambas concentraciones presentaron calificaciones similares todos los días de evaluación (Gráfica IV.1).



Gráfica IV.1. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada durante el almacenamiento a temperatura ambiente, conteniendo CMC.

Las tortillas que contenían CMC a una concentración de 0.075% presentaron la pendiente más baja (-0.6835, Tabla IV.12). Esto al parecer se contradice con los resultados expuestos anteriormente para 0.050% de CMC, pero se debió a que al iniciar del almacenamiento las tortillas que contenían Carboximetil celulosa de sodio a 0.050%, la velocidad de pérdida de enrollamiento se mantuvo constante, después fue más rápida y llegó a valores similares a los de 0.075% al final del almacenamiento, lo cual repercutió en que el valor de la pendiente fuera menor que para 0.075% (Gráfica IV.1, Tabla IV.12).

Una de las posibles explicaciones del porque la Carboximetil celulosa de sodio mejoró las características y la estabilidad del enrollamiento de la tortilla, se atribuye a que esta molécula es un hidrocoloide y debido a sus grupos sustituyentes (OH y $\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{COONa}$), principalmente, los primeros tienen gran capacidad de formar puentes de Hidrógeno con el agua, de esta manera se hidrata y no deja agua libre en el sistema, con lo que disminuye la movilidad de las moléculas presentes, lo cual ayudaría a disminuir el crecimiento de la cristalización del almidón y traería como consecuencia el mejoramiento del enrollamiento de la tortilla, haciendo más lenta la velocidad de retrogradación del almidón. En ciertas investigaciones se encontró que la Carboximetil celulosa de sodio disminuye la temperatura de gelatinización del almidón porque hay competencia por el agua en la masa, esto ocasionó que se mejoraran las propiedades de enrollamiento. Las mismas investigaciones mencionan que los hidrocoloides inhiben la cristalización del

almidón, disminuyen la temperatura de gelatinización y el envejecimiento del mismo^[13, 22]. Lo cual concuerda con los resultados de esta investigación.

Otra posible explicación del mecanismo de acción de la CMC es que durante la gelatinización del almidón la amilosa es puesta en libertad fuera del gránulo y forma una matriz externa; entonces este polímero tiene una más alta exposición a otros componentes de la masa, por lo que puede haber una interacción amilosa-hidrocolode. Esto provoca una competencia con la agregación de la amilosa-amilosa, disminuyendo de esta manera la probabilidad de la ocurrencia de la retrogradación del almidón^[43].

Se ha determinado que las tortillas hechas con harina de maíz nixtamalizado se endurecen más rápido, debido a la presencia de áreas cristalinas del almidón formadas durante el proceso de elaboración del harina, las cuales actúan como núcleos para la asociación posterior del almidón. La hidratación del harina y el cocimiento posterior de la tortilla, son incapaces de destruir este núcleo por lo que la retrogradación del almidón se favorece. Debe recordarse que en esta investigación se utilizó harina de maíz nixtamalizado, por tanto se podría explicar el por qué se mejoraron las características de enrollamiento y estabilidad durante el almacenamiento de la tortilla considerando, por un lado se dice que las moléculas con capacidad de captar agua y retenerla pueden evitar que aumenten de tamaño los núcleos de las áreas cristalinas de almidón; y por otra parte, dichas moléculas pueden también tener influencia en la disminución del grado de

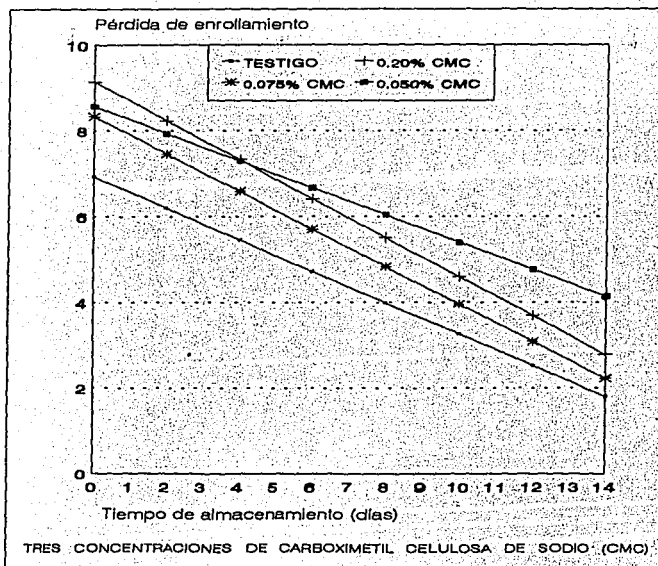
gelatinización durante la cocción de la tortilla, lo que trae como consecuencia que se mejoren las características de enrollamiento ^[13, 22].

Hay investigaciones que recomiendan no emplear hidrocoloides que desarrollen altas viscosidades en este tipo de productos porque impartirían características no deseables ^[33]. La Carboximetil celulosa de sodio (CMC) es un polisacárido que imparte altas viscosidades al hidratarse. Esto podría explicar el por que no funcionó la CMC a las concentraciones de 0.20 y 0.075%.

Las muestras de tortillas con CMC a temperatura de refrigeración presentaron una menor rapidez de la pérdida de enrollamiento, aunque con tendencia similar a pruebas a temperatura ambiente (Gráfica IV.2). Esto podría atribuirse a que se piensa que existe una relación entre la actividad microbiana, la vida de anaquel y la retrogradación del almidón con el envejecimiento de los productos de cereales; y en refrigeración la actividad microbiana es más lenta y en ocasiones ni se presenta ^[20]. La menor pendiente obtenida de la pérdida de enrollamiento para tortillas con CMC fue para la concentración de 0.050% (-0.3163, Tabla IV.12).

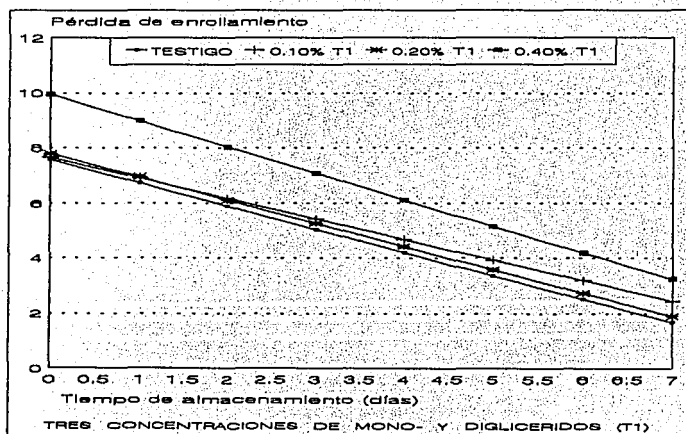
La pérdida de capacidad de enrollamiento de la tortilla almacenada a temperatura de refrigeración era menor si se comparaba con la que se almacenó a temperatura ambiente, por lo que se esperaba que las calificaciones en la prueba de enrollamiento fueran más altas o cuando menos iguales, pero las calificaciones en general, fueron más bajas (Gráfica IV. 1 y IV.2 para el caso de CMC). Esto tal vez

se debió a que las tortillas en refrigeración perdían agua durante el almacenamiento y sumada a la que perdían al recalentarlas para hacer la evaluación de enrollamiento, lo que provocaba que la tortilla sufriera daños más fácilmente al enrollarse en los cilindros, como por ejemplo agrietamiento o roturas en una cara o de las dos, lo cual ocasionaba que se le dieran calificaciones más bajas que a tortillas con igual formulación en condiciones ambientales.



Gráfica IV.2. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada durante el almacenamiento refrigerado, conteniendo CMC.

El comportamiento de las tortillas elaboradas con los Mono- y diglicéridos se caracterizó porque las concentraciones de 0.10 y 0.20% mostraron un comportamiento similar al testigo, en las dos condiciones de almacenamiento (pendientes de -0.7415, -0.8425 y -0.8420 respectivamente para temperatura ambiente, Tabla IV.13). La concentración que dió los mejores resultados fue la de 0.40% de Mono- y diglicéridos aunque se debe hacer notar que esto fue en los primeros días de almacenamiento y en el último día presentó una calificación igual a la del testigo (Gráfica IV.3). Siendo esta la razón para que se localizó por debajo del resto de los aditivos con respecto al valor de su pendiente (Tabla IV.13).



Gráfica IV.3. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada en el almacenamiento a temperatura ambiente, con Mono- y diglicéridos.

TABLA IV.13. PERDIDA DE ENROLLAMIENTO (PENDIENTE) DE LA TORTILLA DE MAIZ CON TENSOACTIVOS.

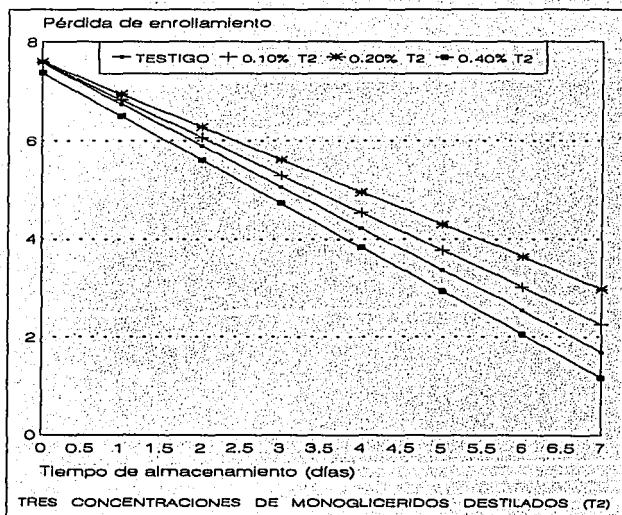
Aditivo	Concentración (%base harina)	Ordenada al origen		Pendiente	
		T° Amb.	T° Ref.	T° Amb.	T° Ref.
Mono-y diglicéridos	0.10	7.65	7.92	-0.7415 _{a,b} *	-0.3743 _a
Mono-y diglicéridos	0.20	7.80	7.60	-0.8425 _{b,c}	-0.3255 _a
Mono-y diglicéridos	0.40	9.95	8.49	-0.9575 _c	-0.3190 _a
Monoglicéridos destilados	0.10	7.57	6.65	-0.7615 _{a,b}	-0.3223 _a
Monoglicéridos destilados	0.20	7.60	7.72	-0.6610 _a	-0.3623 _a
Monoglicéridos destilados	0.40	7.36	7.63	-0.8880 _c	-0.4575 _b
DMS	—	—	—	0.1206	0.0696
Testigo	—	7.58	6.93	-0.8240	-0.3665

Donde:

* Aquellas pendientes que coincidan entre sí de acuerdo a las letras a, b o c, son similares considerando la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

La pendiente para 0.40% fue de -0.9575, por el hecho de que aunque inicio con calificación alta, perdió muy rápido la propiedad de enrollamiento; en el primer día de almacenamiento a temperatura ambiente presentó grietas en la superficie al pasar la tortilla por el cilindro 4 (calificación de 9.50), al segundo día presentó grietas en el tercer cilindro (calificación de 7.50). A partir del tercer día los daños fueron más graves y finalmente al séptimo presentó grietas en el cilindro 1 (Calificación de 3.5). En el caso del otro tensoactivo, Monoglicéridos destilados (T2), no mejoró las características de enrollamiento de la tortilla a ninguna de las concentraciones estudiadas ya que obtuvo las calificaciones más bajas durante todo el almacenamiento. Presentó comportamiento similar (DMS=0.1206) con el testigo a las concentraciones de 0.10 y 0.40% en el almacenamiento a temperatura ambiente (Gráfica IV.4) y a las concentraciones de 0.10 y 0.20% (DMS=0.0696) en las evaluaciones del almacenamiento refrigerado (Tabla IV.13). Los resultados con los tensoactivos no fueron los deseados, a pesar de que los Monoglicéridos destilados se encuentran entre los más eficientes para formar complejos con la amilosa por su alto valor de monoéster ^[28]; los Mono- y diglicéridos poseen un valor medio en este rubro, debido a que tienen una poca cantidad de di y triglicéridos en su estructura por lo que pueden interactuar con otros componentes, reduciendo su posibilidad de interactuar con la amilosa ^[29]; esto último puede ser la razón por la que con los Mono- y diglicéridos hayan tenido mejores resultados en la tortilla de maíz. En

el caso del otro tensoactivo, Monoglicéridos destilados (T2), se determinó que no mejoró las características de enrollamiento de la tortilla a ninguna de las concentraciones estudiadas ya que obtuvo las calificaciones más bajas durante todo el almacenamiento. Presentó comportamiento similar (DMS=0.1206) con el testigo a las concentraciones de 0.10 y 0.40% en el almacenamiento a temperatura ambiente (Gráfica IV.4) y a las concentraciones de 0.10 y 0.20% (DMS=0.0696) en las evaluaciones del almacenamiento refrigerado (Tabla IV.13).



Gráfica IV.4. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada en el almacenamiento a temperatura ambiente, con Monoglicéridos destilados.

Los resultados con los tensoactivos no fueron los deseados, a pesar de que los Monoglicéridos destilados se encuentran entre los más eficientes para formar complejos con la amilosa por su alto valor de monoéster ^[26]; los Mono- y diglicéridos poseen un valor medio en este rubro, debido a que tienen una poca cantidad de di y triglicéridos en su estructura por lo que pueden interactuar con otros componentes, reduciendo su posibilidad de interactuar con la amilosa ^[29]; esto último puede ser la razón por la que con los Mono- y diglicéridos hayan tenido mejores resultados en la tortilla de maíz.

El por qué los tensoactivos seleccionados no dieron los resultados esperados (disminuir la pérdida de enrollamiento), se puede atribuir a varios factores, entre los que se puedan mencionar: el manejo de los tensoactivos y el estado físico en que se incorporan a la masa que determinan la disposición de los Monoglicéridos para formar complejos de inclusión con la amilosa ^[30]. Estos factores se explicaran más adelante.

Se dice que el mecanismo de acción de los Monoglicéridos inicia cuando algunas de las moléculas de los tensoactivos son absorbidos sobre la superficie de los gránulos de almidón durante el mezclado. Para que esto suceda es necesario que el monoglicérido se presente hidratado, contentando finos cristales o en forma de polvo fino. Se dice que ambas formas pueden garantizar una buena distribución del Monoglicérido en la masa para su interacción con la amilosa durante el proceso ^[27, 29]. Considerando lo anterior en la experimentación se adicionó en forma de polvo

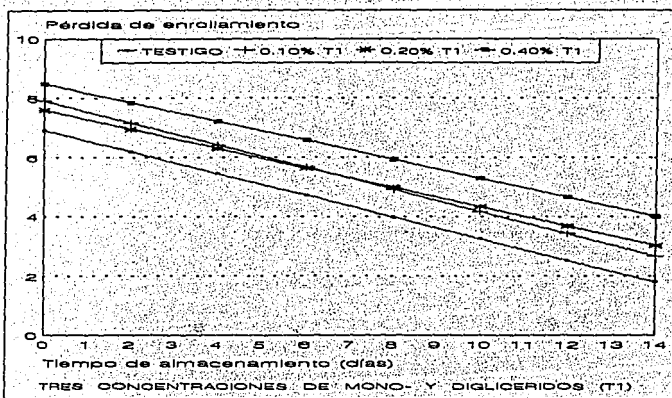
pensando que así sería efectivo. Podría ser una opción probar estos tensoactivos en la tortilla de maíz, incorporándolos al inicio del proceso en forma de dispersión acuosa, como se ha hecho en el pan ^[27], con el fin de comprobar si efectivamente no funcionan en tortilla de maíz o se debió al estado físico en que se adicionaron en esta investigación.

Otro factor que pudo haber influido en la acción de los Monoglicéridos es la temperatura. Se ha observado que los mejores resultados para la formación de complejos de inclusión entre los monoglicéridos y la amilosa se obtienen a alrededor de los 60 °C. La razón por la cual a esta temperatura tienen mayor efectividad es porque las moléculas del monoglicérido adquieren movilidad dentro del sistema y con ello la facilidad para la formación de complejos con la amilosa. Si bien es cierto que las temperaturas que se emplean en el cocimiento de las tortillas son altas (250°C), es por tiempos cortos (57 segundos), comparados con los empleados para el pan de harina de trigo.

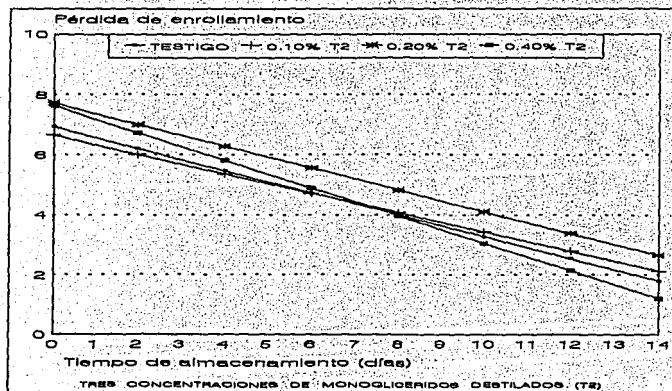
Otra posible explicación del por qué no funcionaron adecuadamente los tensoactivos en la tortilla de maíz serían las vías de retrogradación del almidón. En el almidón del trigo los cambios que ocurren se deben, principalmente, a la retrogradación de la amilosa y en segundo término a la amilopectina. En el caso de la tortilla de maíz se piensa que los cambios se deben, esencialmente, a la retrogradación de la amilopectina. Además, algunas investigaciones mencionan que la retrogradación de la amilopectina es reversible con calor y la de la amilosa

no; lo que se comprueba durante el recalentamiento de la tortilla ^[26]. Los tensoactivos tienden a reaccionar primero con la amilosa debido a su conformación helicoidal. En cambio con respecto a la amilopectina no hay muchas investigaciones que determinen la formación de complejos con los tensoactivos debido a su estructura ramificada; se ha mencionado que en la tortilla de maíz los principales cambios de calidad se deben a la amilopectina, de ahí que tal vez al agregar el tensoactivo los cambios no fueran tan notorios. Es también, importante mencionar que se adicionaron los tensoactivos en concentraciones por abajo de las recomendadas por algunos investigadores, ya que se dice que cuando se añaden a concentraciones elevadas estos tensoactivos, después de interactuar con la amilosa; pueden interactuar con la fracción lineal de amilopectina, reduciendo su retrogradación ^[27].

El comportamiento de las muestras de tortillas con tensoactivos a temperatura de refrigeración se caracterizó por una tendencia similar a la de temperatura ambiente, pero perdieron la propiedad de enrollamiento más lentamente (Tabla IV.13, Gráficas IV. 5 y IV.6) .



Gráfica IV.5. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada en el almacenamiento refrigerado, con Mono- y diglicéridos.



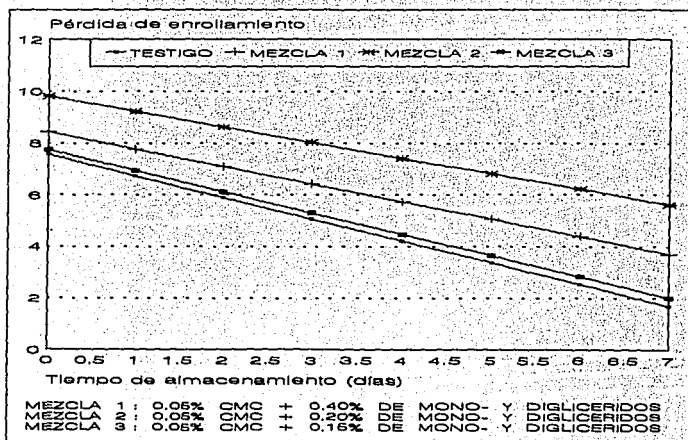
Gráfica IV.6. Enrollamiento de la tortilla de maíz en el almacenamiento refrigerado, con Monoglicéridos destilados.

Las mezclas se comportaron a temperatura ambiente y en refrigeración como se preveía, pues hubo un efecto sinérgico entre las propiedades de la Carboximetil celulosa de sodio y el tensoactivo (Mono- y diglicéridos) dando mejores resultados al mezclarlos, pese a usarse en concentraciones menores a las que dieron buenos resultados individualmente.

Los mejores resultados se obtuvieron para la mezcla 2 (0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.20% de Mono- y diglicéridos), en cuanto a que con ésta la tortilla conservaba por mayor tiempo la propiedad de enrollamiento (4 días), y por consiguiente con esta mezcla se obtuvo la pendiente menor (-0.3040 a refrigeración, -0.600 a temperatura ambiente; contra -0.3665 y -0.8420 del testigo respectivamente). Aunque de acuerdo a la Diferencia Mínima significativa ($DMS=0.1206$ para temperatura ambiente y 0.0696 para almacenamiento refrigerado), presentó un comportamiento similar al de la mezcla 1 (0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.40% de Mono- y diglicéridos); esto quiere decir que se podría usar indistintamente cualquiera de las 2 mezclas, aunque por costos convendría usar la de menor concentración de tensoactivo, además deben considerarse las características que le imparte a la tortilla.

La mezcla 2 (0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.20% de Mono- y diglicéridos) obtuvo las calificaciones más altas en la prueba de enrollamiento en el almacenamiento a temperatura ambiente y en refrigeración (Gráfica IV.7), de entre todos los aditivos utilizados en la experimentación; debido a que el primer día

de almacenamiento al enrollar la tortilla en el cilindro 4, presentó únicamente separación de las orillas de la tortilla y mantuvo estas características hasta el cuarto día de almacenamiento tanto a temperatura ambiente como en refrigeración, al quinto día presentó grietas al pasarla por el rodillo 3, terminando los últimos días de almacenamiento en el segundo cilindro (Gráfica IV.7), teniendo las más altas calificaciones de entre todas las tortillas con aditivos. En cambio muestras de otros aditivos presentaron daño en el primer día de almacenamiento y en el último día la mayoría de dichas muestras quedaron en el cilindro 1, ya que sufrieron rotura en ambas caras de la tortilla.



Gráfica IV.7. Enrollamiento de la tortilla de maíz recalentada en el almacenamiento a temperatura ambiente, con mezclas.

TABLA IV. 14. RESULTADOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA ENROLLAMIENTO Y RESISTENCIA DE LA TORTILLA DE MAIZ.

Variable	Repetición	Aditivo	Concentración	Interacción aditivo-concentración
ETA	P = 0.239 P > 0.05 No significativo	P = 0.004 P < 0.01 Altamente significativo	P = 0.00 P < 0.01 Altamente significativo	P = 0.006 P < 0.01 Altamente significativo
ETR	P = 0.201 P > 0.05 No significativo	P = 0.0370 0.05 ≤ P < 0.01 Significativo	P = 0.254 P > 0.05 No significativo	P = 0.001 P < 0.01 Altamente significativo
RTA	P = 0.239 P > 0.05 No significativo	P = 0.00 P < 0.01 Altamente significativo	P >> 0.05 P > 0.05 No significativo	P = 0.00 P < 0.01 Altamente significativo
RTR	P >> 0.05 P > 0.05 No significativo	P = 0.004 P < 0.01 Altamente significativo	P = 0.013 0.05 ≤ P < 0.01 Significativo	P = 0.001 P < 0.01 Altamente significativo

Donde:

ETA = Enrollamiento durante el almacenamiento a temperatura ambiente.

ETR = Enrollamiento en el almacenamiento refrigerado.

RTA = Resistencia durante el almacenamiento en condiciones ambientales.

RTR = Resistencia en el almacenamiento a temperatura de refrigeración.

P = Probabilidad exacta, obtenida por programa de computadora para el análisis de varianza.

En el análisis estadístico a temperatura ambiente y refrigeración no se encontraron diferencias significativas entre repeticiones, en cambio si las hubo entre aditivo y las concentraciones. Así mismo presentó un efecto altamente significativo la interacción aditivo-concentración. (Tabla IV.14). La Diferencia Mínima Significativa (DMS), se calculó para una $\alpha = 0.050$, aplicándose en las variables donde se encontró diferencia significativa y altamente significativa de acuerdo al análisis de varianza.

Las mezclas presentaron los mejores efectos en la propiedad de enrollamiento a temperatura ambiente y refrigeración (DMS=0.06960 y 0.04019 respectivamente). Mientras que las muestras con Mono- y diglicéridos fueron las que en general, perdieron más rápido su facilidad de enrollamiento a temperatura ambiente.

4.3.2 RESISTENCIA DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

De acuerdo a los resultados estadísticos (Tabla IV.14) se encontró que hay un efecto altamente significativo del tipo de aditivo y de la interacción aditivo-concentración. Las mezclas de Carboximetil celulosa de sodio con Mono- y diglicéridos tanto en el almacenamiento refrigerado como a temperatura ambiente, fueron, las que tuvieron las pendientes más bajas ($DMS=0.03480$ y 0.05683 respectivamente), o sea las que perdieron más lentamente la resistencia al doblado; seguidas de Carboximetil celulosa de sodio, Mono y diglicéridos; Monoglicéridos destilados y por último el testigo.

De entre las tortillas elaboradas con CMC, los mejores resultados en la prueba de resistencia durante el almacenamiento a temperatura ambiente fueron para las que contenían 0.20%, ya que la pendiente era de -0.6335 , comparada con el testigo que fue de -0.7626 (Tabla IV.15 y Gráfica IV. 8). Estas tortillas fueron las que presentaron las características plásticas ya explicadas en la parte de enrollamiento de la tortilla. Las tortillas elaboradas con la mezcla 1 de 0.40% de Mono- y diglicéridos con 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio eran semejantes a las de 0.20% por lo que tuvieron un comportamiento similar ($DMS=0.09843$).

En las características de resistencia no hubo diferencias entre tortillas elaboradas con tensoactivos y el testigo (Tabla IV.16), resultados no esperados. Anteriormente se explicaron las causas de este comportamiento.

TABLA IV.15. PERDIDA DE RESISTENCIA DURANTE EL ALMACENAMIENTO
(PENDIENTE) DE LA TORTILLA DE MAIZ CON LA ADICION DE ADITIVOS.

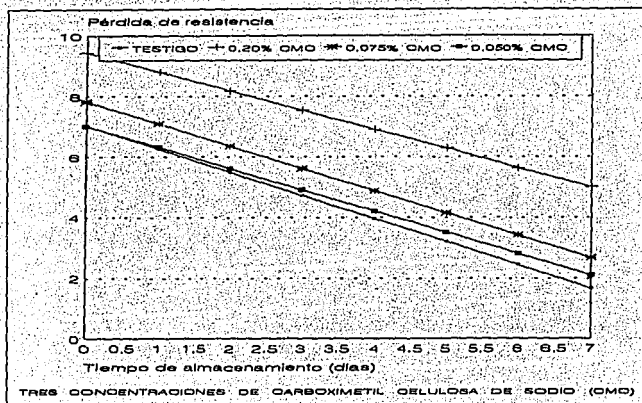
Aditivo	Concentración (% base harina)	Ordenada al origen		Pendiente	
		T° Amb	T° Ref	T° Amb	T° Ref
CMC	0.200	9.44	8.64	-0.6335 a	-0.3763a
CMC	0.075	7.82	8.20	-0.7350 b	-0.4010a,b
CMC	0.050	7.01	6.63	-0.6995 a, b	-0.3100 c
Mezcla 1	0.050+0.40	8.40	8.43	-0.5280 c	-0.3218a,c
Mezcla 2	0.050+0.20	7.25	6.50	-0.7620 b	-0.3108 c
Mezcla 3	0.050+0.15	6.29	6.02	-0.6020 a, c	-0.3023 c
DMS	—	—	—	0.09843	0.0603
Testigo	—	7.02	7.08	-0.7626	-3760

Donde:

* CMC = Carboximetil celulosa de sodio.

* En los renglones de las concentraciones usadas en las mezclas aparece primero la de la CMC y después la de los Mono- y diglicéridos.

* Aquellas pendientes que coincidan entre sí de acuerdo a las letras a, b o c son similares, considerando la Diferencia Mínima Significativa (DMS).



Gráfica IV.8. Resistencia de la tortilla de maíz recalentada en el almacenamiento a temperatura ambiente, con CMC.

Las tortillas elaboradas con la mezcla I (0.050% de Carboximetil celulosa de sodio con 0.40% de Mono- y diglicéridos) fueron las que mostraron los mejores resultados en la prueba de resistencia en el almacenamiento a temperatura ambiente, ya que se obtuvo la pendiente más baja -0.5280, pero de acuerdo al tratamiento estadístico ($DMS=0.09843$) no hay diferencia significativa con la mezcla 3 de 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.15% de Mono- y diglicéridos.

Hubo concordancia entre las otras determinaciones y la resistencia, de la tortilla, con respecto a que los mejores resultados se obtuvieron al mezclar el tensoactivo con la CMC. Aunque no hubo relación entre las características de enrollamiento y resistencia al doblado de la tortilla; ya que se presentaron tortillas

que podían enrollarse perfectamente, pero no pasaban la prueba de resistencia al doblado.

TABLA IV.16. PERDIDA DE RESISTENCIA DURANTE EL ALMACENAMIENTO (PENDIENTE) DE LA TORTILLA DE MAIZ CON LA ADICION DE TENSOACTIVOS.

Aditivo	Concentración (% base harina)	Ordenada al origen		Pendiente	
		T° Amb	T° Ref	T° Amb	T° Ref
Mono- y diglicéridos	0.10	8.34	8.19	-0.8510 α ,b	-0.4280 α
Mono- y diglicéridos	0.20	7.03	7.03	-0.7550 α ,c	-0.3255 b
Mono- y diglicéridos	0.40	7.34	7.34	-0.7505 c	-0.3645 b ,c
Monoglicéridos destilados	0.10	8.12	8.12	-0.8555 b	-0.3898 α ,c
Monoglicéridos destilados	0.20	6.53	6.53	-0.6315 d	-0.2968d
Monoglicéridos destilados	0.40	7.61	7.61	-0.8570 b	-0.4293 α
DMS	—	—	—	0.09843	0.0603
Testigo	—	7.02	7.02	-0.7626	-0.3760

Donde: * Aquellas pendientes que coincidan entre sí de acuerdo a las letras α , b, c o d son similares, considerando la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

En el caso de la pérdida de resistencia en el almacenamiento refrigerado se encontró; del análisis de varianza (Tabla IV.14), que no hubo efecto significativo de las repeticiones; la concentración tuvo un efecto significante; en cuanto al tipo de aditivo y a la interacción aditivo-concentración el efecto era altamente significativo. Por tipo de aditivo se obtuvo que los mejores resultados los proporcionaban las mezclas (CMC con Mono- y diglicéridos), seguidas de CMC, Monoglicéridos destilados y Mono- y diglicéridos (DMS = 0.03480). En el mismo orden que para resistencia a temperatura ambiente pero con la diferencia de que los tres últimos aditivos tenían comportamiento similar a condiciones de refrigeración, mientras que en el caso de temperatura ambiente no hubo comportamientos similares por tipo de aditivos. En relación a las concentraciones utilizadas, las mejores fueron las segundas de todos los aditivos (DMS = 0.03014), seguidas de las terceras. La interacción aditivo-concentración fue altamente significativa. Se encontró que las tortillas con Monoglicéridos destilados a 0.20% fueron las que más resistentes se mostraron en el almacenamiento, pero tuvieron un comportamiento similar (DMS = 0.0603) con muestras que contenían la mezcla 3 (0.15% de Mono- y diglicéridos + 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio), 0.050% de CMC, mezcla 2 (0.050% de Carboximetil celulosa de sodio + 0.20% de Mono- y diglicéridos), mezcla 1 (0.050% de Mono- y diglicéridos + 0.40% de Mono- y diglicéridos) y Mono- y diglicéridos a 0.20%, el resto de las tortillas con aditivos tuvieron un comportamiento similar al testigo (DMS = 0.0603) (Tabla IV. 16).

CONCLUSIONES

1. La vida útil de la tortilla de maíz se mejoró con el uso de una mezcla de 0.20% de Mono- y diglicéridos con 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio.

2. La propiedad de enrollamiento de la tortilla de maíz se mantuvo por tres días a temperatura ambiente, con la adición de 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio y por 4 días con una mezcla de 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio con 0.20% de Mono- y diglicéridos.

3. Los Monoglicéridos destilados no mejoraron ni conservaron las propiedades de enrollamiento y resistencia al doblado de la tortilla de maíz a ninguna de las concentraciones estudiadas .

4. La textura de la tortilla de maíz se mejoró y conservó por 6 días a temperatura ambiente y por 12 días en almacenamiento refrigerado, con la incorporación de una mezcla de 0.050% de Carboximetil celulosa de sodio con 0.20% de Mono- y diglicéridos.

5. En cuanto a los aditivos utilizados individualmente la Carboximetil celulosa de sodio fue la que dió los mejores resultados para mejorar y conservar las características de enrollamiento en la tortilla de maíz.

6. La concentración de Carboximetil celulosa de sodio con la que se obtuvieron los mejores resultados en el enrollamiento de la tortilla de maíz durante el almacenamiento fue la de 0.050%.

7. Los Mono- y diglicéridos fueron los que dieron los mejores resultados para mejorar y conservar la textura de la tortilla de maíz.

8. La concentración más efectiva de Mono- y diglicéridos fue la de 0.40%.

9. La mezcla de Mono- y diglicéridos con Carboximetil celulosa de sodio fue la que dio los mejores resultados en mejorar las características de enrollamiento y textura de la tortilla de maíz.

10. Al mezclar los Mono- y diglicéridos con la Carboximetil celulosa de sodio se redujo un 50% la concentración del tensoactivo con respecto al porcentaje que había funcionado bien en forma individual, con lo que se obtuvieron los mejores resultados.

11. El uso de gomas y tensoactivos afectan las características de manejo en la preparación de tortilla de maíz. Se encontró que concentraciones 0.20% de Carboximetil celulosa de sodio producen masas pegajosas que dificultan el proceso de fabricación en la máquina tortilladora, mientras que los tensoactivos utilizados, producían masas más suaves que el testigo.

12. Las características de resistencia al doblado de la tortilla de maíz se mejoraron con 0.20% de Carboximetil celulosa de sodio.

13. Para la adición de aditivos en la elaboración de tortilla de maíz fue más importante considerar la mejora y conservación de la propiedad de enrollamiento que la resistencia al doblado de la tortilla.

14. A pesar de que la mayoría de las evaluaciones realizadas en esta investigación fueron subjetivas si se lograron apreciar diferencias entre el testigo y muestras que contenían los aditivos estudiados.

RECOMENDACIONES

Por los resultados obtenidos en este trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

1. En cuanto a la adición de los monoglicéridos se recomienda hacerlo de tal forma que presenten su forma activa, con respecto a su disponibilidad para la formación de complejos, la opción es añadirlos en dispersión acuosa a 60°C como se ha hecho en investigaciones para pan.

2. Determinar si es posible la máxima absorción de agua para las concentraciones utilizadas de la goma Carboximetil celulosa de sodio en la masa, ya que esto conduciría a un aumento en el rendimiento de la producción de tortillas.

3. Evaluar los tiempos totales de proceso de elaboración de tortillas de maíz para los aditivos utilizados, para establecer si pueden ayudar en la disminución del tiempo de amasado.

4. Realizar pruebas de la adición de goma y tensoactivos a las concentraciones que mostraron los mejores resultados para este caso, con tortilla producida de masa fresca.

5. Probar otras gomas que desarrollen poca viscosidad con el fin de no alterar demasiado las características de manejo de la masa pero que influyan de manera positiva en las propiedades de la tortilla.

6. Realizar investigaciones con tensoactivos que hayan probado ser poco efectivos para formar complejos con la amilosa, pero que sean eficientes con la amilopectina.

7. Utilizar concentraciones más elevadas de monoglicéridos que las utilizadas, semejantes a las que han demostrado ser efectivas para acomplejarse con la amilopectina presente en el pan de trigo.

8. Evaluar la retrogradación o daño del almidón ocurrido desde la elaboración de la tortilla y durante el almacenamiento.

9. Determinar los efectos de la adición de aditivos durante el proceso y en la tortilla de maíz mediante métodos objetivos.

10. Realizar análisis sensoriales de las tortillas de maíz con aditivos.

BIBLIOGRAFIA

1. Matz, A. Samuel. "The Chemistry and Technology of Cereals as Food and Feed". An AVI Book. Segunda edición. New York, USA. 1991.
2. Watson, S.A. and Ramstad, P.E. "Corn: Chemistry and Technology". American Association of Cereal Chemists, INC. Primera edición. Paul, Minnesota, USA. 1991.
3. Fortson, R. James. "Papeles: El maíz -el Alimento del Hombre-". Impresora y Editora Cocoyoc. SARH. México. 1986.
4. Bedolla, M Santiago; Rooney L.W. "Cooking Maize for Masa Production". Cereal Foods World. 27 (5). 1982.
5. Badul, Dergal Salvador. "Química de los Alimentos". Alhambra Mexicana. Primera reimpresión. México. 1983.
6. "Consumos Aparentes de Productos Agrícolas". SARH. México. 1994
7. "Abasto y Comercialización de Productos Básicos: Maíz". INEGI. México. 1990
8. Memoria del Simposio Nacional: "El Maíz en México: su Pasado, Presente y Futuro". Llevado a cabo del 9-11 de febrero de 1981. SARH.
9. Teodoldi, J.S. "El maíz en México, su Pasado, Presente y Futuro". SARH. México. 1981.

10. Llanos, Company Manuel. "El maíz". Mundi Prensa. Primera edición. Madrid, España. 1984.
11. Bressani, Ricardo; Paz Ramiro and Scrimshaw Nevin. "Chemical Changes in Corn During Preparation of Tortillas". *Agricultural and Food Chemistry*. 6 (10). 1958.
12. Rooney, L.W. "Tortillas y Alimentos Tipo Botana de Maíz Nixtamalizado". *Soyamoticias*. Octubre-Diciembre 1993.
13. Gómez, M.H., Waniska, R.D. "Starch Characterization of Nixtamalized Corn Flour". *Cereal Chemistry*. 68 (6). 1991.
14. Pflugfelder, R.L.; Rooney, L.W.; Waniska R.D. "Dry Matter Losses in Commercial Corn Masa Production". *Cereal Chemistry*. 65 (2). 1988.
15. "El maíz: Fundamento de la Cultura Popular Mexicana". Publicación del Museo Nacional de Culturas Populares". SEP. México. 1982.
16. Norma Oficial Mexicana para Harina de Maíz Nixtamalizado. NOM-F-46-S-1980. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial.
17. Trejo, González A. "Estudio de Algunos Cambios Físicoquímicos de Cereales y Legumbres Sujetos a Tratamientos Térmicos Alcalinos". Conferencia. Congreso: Asociación de Tecnólogos en Alimentos. México, D.F. 1987.
18. Trejo, González A. "The Role of Lime in the Alkaline Treatment of Corn for Tortillas Preparation". *Advances in Chemistry Series*. 198. 1982.
19. Twillman, T.J. and White, P.J. "Influence of Monoglycerides on the Textural Shelf Life and Dough Rheology of Corn Tortillas". *Cereal Chemistry*. 65 (3). 1988.

20. Huang, J.J and White. "Waxy Corn Starch: Monoglyceride Interaction in a Model System". *Cereal Chemistry*, 70 (1). 1993.
21. "Functional Ingredients for Food". GRINSTED, Brabrand, Denmark. 1980
22. Yau, J.C.; Waniska R.D. and Rooney L.W. "Effects of Food Additives on Storage Stability of Corn Tortillas". *Cereal Foods World*, 39 (5). 1994.
23. Charalambous, George and Doxastakis. "Food Emulsifiers: Chemistry, Technology, Functional Properties and Applications". Elsevier, Netherlands. 1989
24. Lapatre, F. "Aditivos y Auxiliares de Fabricación en Industrias Agroalimentarias". Editorial Acribia. Zaragoza, España. 1988.
25. Lewis, Richard J. "Food Additive Hand Book". Van Nostrand, New York. 1989.
26. Tamstorf, Steen. "Emulsifiers for Bakery and Starch Products". Technical Paper, GRINSTED. TP g-1e.1980.
27. Krog, N.; Olesen, S. and Toemaes, H. "The influence of Food Emulsifiers on Staling Rate of Wheat Bread". GRINSTED, Products A/S. Denmark. TP g-1e. 1970.
28. Krog, N. and Nybo Jensen. "Interaction of Monoglycerides in Different Physical States with Amylose and their Anti-firming Effects in Bread". GRINSTED, Brabrand, Denmark. 1970.
29. Krog, N. "Amylose Complexing Effect of Food Grade Emulsifiers". Technical Paper, GRINSTED, Brabrand, Denmark. TP 6-1e.1971.
30. "Emulsifiers for the Baking Industry". GRINSTED, Brabrand, Denmark. 1980.

31. Trudso, J.E. "Hydrocolloids -Wath Can They Do? How Are They Selected?".
J. Inst. Can. Sci. Technol. Alim. 21 (3). 1988.
32. Ward, F.M.; and Andon S.A. "Water-Soluble Gums Used in Snack Foods
and Cereal Products". Cereal Foods World. 38 (10). 1993.
33. Friend, P. C., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. "Effects of Hydrocolloids on
Processing and Qualities of Wheat Tortillas". Cereal Chemistry. 70 (3). 1993.
34. Qarooni, Jalal. "Wheat Flour Tortillas". Technical Bulletin atb. XV (5). 1993.
35. Información Técnica de Ideal CMC (FG) de Ingeniería y Desarrollo
Alimentario.
36. Información Técnica. "Sodium Carboxymethyl Cellulose: Physical and
Chemical Properties". AQUALON.
37. Vega, Valle Pedro. "Toxicología de Alimentos". Centro Panamericano de
Ecología Humana y Salud. Programa de Salud Ambiental. Organización
Panamericana de Salud. OMS, México. 1991.
38. Información Técnica de Acido Fumárico. BARTEK.
39. "El Uso de Acido Fumárico en Tortillas de Harina de Trigo". Información
Técnica. NUTRIQUIM.
40. American Association of Cereal Chemists. "Cereal Laboratory Methods".
St. Paul Minn. USA. 1968.
41. Mendelhall, W. and L. Ott. "Understanding Statistics" Duxburd Press. North
Scituate, Massachusetts. 1980.

42. Giovanni, Quaglia. "Ciencia y Tecnología de la Panificación". Editorial Acribia. Segunda edición. España. 1991.

43. Ferrero, Cristina. "Effect of Freezing Rate and Xanthan Gum on the Properties of Corn Starch and Wheat Flour Pastes". Int. Jor. of Food Science and Technology". 28, 481-498. 1993.