



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
APLICACION DE EMULSIFICANTES Y
POLISACARIDOS EN TORTILLAS DE
HARINA DE TRIGO

Departamento de Exámenes Profesionales

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
EVA SAN GERMAN SAMPABLO

ASESOR: M. EN C. DORA LUZ VILLAGOMEZ ZAVALA

CAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO 2002

TELIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Aplicación de Emulsificantes y Polisacáridos en tortillas de
harina de trigo.

que presenta la pasante: Eva San Germán Sampaño
con número de cuenta: 8333356-3 para obtener el título de :
Ingeniera en Alimentos

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Enero de 2002

- PRESIDENTE M. en C. Rosa M. Arriaga Orihuela *Arriaga*
- VOCAL I.B.Q. Norma B. Casas Alencaster *Norma B. Casas*
- SECRETARIO M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala *Dora Luz Villagómez*
- PRIMER SUPLENTE I.A. Rosalía Meléndez Pérez *Rosalía Meléndez*
- SEGUNDO SUPLENTE I.A. Patricia Muñoz Aguilar *Patricia Muñoz*

Gracias:

A Dios por permitirme seguir disfrutando de la vida.

A los maestros de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por compartir conmigo su entusiasmo, tiempo y experiencias.

A la M. en C. Dora Luz Villagómez Zavala, al M. en C. José Saturnino Monroy Ruiz y a la I.A. Patricia Becerra Arteaga por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Gracias:

**A mis amados Padres por la bendición de tenerlos y ser parte de
ustedes.**

**A mis hermanos Roberto y José Antonio por llenar mi vida de
amor.**

A la familia Soto Alcántara por su amistad.

A todos lo que ya partieron pero se que están conmigo.

Los amo.

INDICE

	Pág.
RESUMEN	1
INTRODUCCION	2
I. ANTECEDENTES	4
1.1 PRODUCCION DE LA HARINA DE TRIGO	4
1.2 COMPONENTES DE LA HARINA DE TRIGO	5
1.2.1 Carbohidratos.....	5
1.2.2 Proteínas.....	6
1.2.3 Lípidos.....	7
1.3 LA TORTILLA DE HARINA DE TRIGO Y SU IMPORTANCIA	7
1.4 LA FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO	8
1.4.1 Ingredientes básicos.....	9
1.4.1.1 Harina.....	9
1.4.1.2 Agua.....	9
1.4.1.3 Grasa.....	9
1.4.1.4 Sal.....	10
1.4.2 Ingredientes opcionales.....	10
1.4.2.1 Agentes leudantes.....	10
1.4.2.2 Conservadores.....	10
1.4.2.3 Emulsificantes.....	10
1.5 EMULSIFICANTES: DEFINICION Y CLASIFICACION	10
1.5.1 Clasificación de los emulsificantes.....	11
1.5.1.1 Por su carga.....	11
1.5.1.2 Por su solubilidad.....	11
1.5.1.3 Por su grupo químico.....	12
1.6 PROPIEDADES DE LOS EMULSIFICANTES	12
1.6.1 Emulsificación.....	13
1.6.1.2 Formación de la emulsión.....	13
1.6.2 Formación de complejos con el almidón.....	14
1.6.3 Interacción con proteínas.....	61

..... 1.6.4 Modificación de la cristalización de la grasa.....	17
1.7 POLISACARIDOS.....	18
1.7.1 Goma Guar.....	19
1.7.2 Carboximetilcelulosa (CMC).....	20
1.7.3 Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC).....	20
1.8 REOLOGIA DE MASAS.....	21
1.8.1 Farinógrafo de Brabender.....	21
1.8.2 Extensógrafo de Brabender.....	23
1.9 PROCESO DE ELABORACION DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.....	25
II. OBJETIVOS.....	30
III. METODOLOGIA.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
4.1 ANALISIS DE LA HARINA DE TRIGO.....	37
4.2 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA.....	42
4.3 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA.....	45
4.4 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA.....	48
4.5 EVALUACION DE LA TORTILLA DE HARINA DE TRIGO.....	51
4.5.1 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS.....	51
4.5.2 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS.....	55
4.5.3 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LA PERDIDA DE HUMEDAD.....	59
4.6 EVALUACION DE LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA.....	61
4.6.1 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS.....	62
4.6.2 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS.....	65
4.6.3 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LA FLEXIBILIDAD DE LA TORTILLA.....	67
4.7 ASPECTO DE LAS TORTILLAS ELABORADAS CON LOS DIFERENTES ADITIVOS.....	68
4.8 RESULTADOS DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES. (ACP).....	69
CONCLUSIONES.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	74

INDICE DE TABLAS

TABLA	Pág.
1 Composición química nutrimental de la tortilla de harina de trigo en 100 gramos de peso neto.....	7
2 Clasificación de los emulsificantes por su carga.....	11
3 Clasificación de los emulsificantes por su solubilidad.....	12
4 Índice de complejación del almidón (ACI).....	16
5 Emulsificantes y concentraciones mínimas recomendadas empleadas en la experimentación preliminar.....	33
6 Emulsificantes y concentraciones empleadas en la elaboración de tortillas de harina.....	33
7 Emulsificante-Polisacárido y concentraciones empleadas en la elaboración de tortillas.....	34
8 Diámetro de rodillos y escala para medir la flexibilidad de las tortillas.....	35
9 Análisis químico de la harina de trigo.....	37
10 Especificaciones de la harina según la Norma Oficial Mexicana (NOM-F-1982).....	37
11 Análisis granulométrico de la harina de trigo.....	38
12 Granulometría de las harina según la NOM-F-1982.....	39
13 Propiedades reológicas de la harina de trigo.....	39
14 Propiedades reológicas del harina con todos los ingredientes (excepto los emulsificantes) para la elaboración de tortillas de harina de trigo.....	40
15 Propiedades reológicas de la masa usando tres emulsificantes a tres concentraciones.....	42
16 Propiedades reológicas de la masa usando polisacáridos a tres concentraciones.....	45
17 Propiedades reológicas de la masa usando mezclas de Tensoactivo-Polisacárido.....	49
18 Velocidades de pérdida de humedad (Pendientes) cuando se emplearon tensoactivos.....	53
19 Velocidades de pérdida de humedad (Pendientes) cuando se emplearon Polisacáridos.....	57
20 Velocidad de pérdida de humedad (Pendientes) de las tortillas elaboradas con mezcla de Emulsificante-Polisacárido.....	61
21 Velocidad de pérdida de flexibilidad (Pendientes) cuando se emplearon Tensoactivos.....	64

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	Pág.
1 Producción de la tortilla de harina de trigo.....	8
2 Formación de la emulsión.....	14
3 Interacción de los emulsificantes con el almidón.....	15
4 Modelo de la interacción de las proteínas y el almidón con tensoactivos.....	16
5 Estructura de la goma Guar.....	19
6 Estructura de la Carboximetilcelulosa (CMC).....	20
7 Estructura de la Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC).....	20
8 Parámetros comúnmente interpretados en el farinograma.....	22
9 Parámetros comúnmente interpretados en el extensograma.....	23
10 Diagrama de bloques de la elaboración de tortillas de harina de trigo.....	24
11 Cuadro metodológico.....	31
12 Rodillos empleados para medir la flexibilidad de las tortillas.....	35
13 Farinograma de la harina empleada como materia prima.....	39
14 Farinograma y extensograma del harina con todo los ingredientes (excepto emulsificantes) para la elaboración de tortillas de harina de trigo.....	41
15 Farinograma y extensograma de la masa con Suavimul.....	43
16 Farinograma y extensograma de la masa con CMC 0.075%.....	46
17 Farinograma y extensograma de la masa con HPMC 0.075%.....	47
18 Farinograma y extensograma de la mezcla de Suavimul con CMC (0.5-0.05%).....	51
19 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Suavimul.....	52
20 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Myvaplex.....	52
21 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Rekholl.....	53
22 Comparación de la pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Tensoactivos.....	54
23 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con goma Guar.....	56
24 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con HPMC.....	56
25 Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con CMC.....	57
26 Comparación de la pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Polisacáridos.....	58

27a	Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con goma Guar y Suavimul.....	59
27b	Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con mezcla de HPMC y Suavimul.....	60
27c	Pérdida de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con mezcla de CMC y Suavimul.....	60
28a	Pérdida de flexibilidad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Suavimul.....	62
28b	Pérdida de flexibilidad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Myvaplex.....	63
28c	Pérdida de flexibilidad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Rekholl.....	63
28d	Comparación de la pérdida de flexibilidad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Tensoactivos.....	64
29	Flexibilidad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Polisacáridos.....	66
30	Flexibilidad al día 18 de las tortillas de harina elaboradas con mezcla de Emulsificante-Polisacárido.....	68
31	Aditivos en los que se relacionó la tenacidad de la masa con la velocidad de pérdida de humedad y flexibilidad de la tortilla.....	69
32	Aditivos en los que se relacionó la extensibilidad de la masa con la velocidad de pérdida de humedad y flexibilidad de la tortilla.....	70

RESUMEN

El objetivo fué incrementar la vida de anaquel de las tortillas de harina de trigo empleando tres emulsificantes, tres polisacáridos y mezclas de estos dos, con el fin de conservar la flexibilidad y la humedad de la tortilla, atributos de calidad importantes en este producto.

Para lo cual se usaron los siguientes aditivos en porcentaje base harina; emulsificantes: Suavimul (0.4, 0.5 y 0.6%), Myvaplex (1.0, 1.25 y 1.5%) y Rekholl (0.3, 0.37 y 0.45) Polisacáridos: goma Guar, Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y Carboximetilcelulosa (CMC) a cuatro concentraciones (0.025, 0.050, 0.075 y 0.1%). Para las mezclas se combinó el emulsificante Suavimul (0.5%) con los polisacáridos a las concentraciones mencionadas.

La vida de anaquel a 20°C se determinó como la velocidad de pérdida de humedad y flexibilidad. Se elaboraron lotes experimentales para cada aditivo y cada concentración, los cuales se almacenaron durante 18 días y se les determinó la humedad y flexibilidad los días: 0, 2, 7, 11, 15 y 18. Posteriormente se analizaron las velocidades de pérdida de humedad y flexibilidad con cinéticas de orden cero. En todos los casos los datos se ajustaron a la ecuación de la recta con coeficientes de correlación mayores a 0.89. En el caso de polisacáridos y mezclas no se realizó cinética de flexibilidad ya que esta no disminuyó en la mayor parte del almacenamiento, por lo que únicamente se analizó la obtenida en el día 18.

El orden de eficiencia para mantener los parámetros de calidad fueron (de menor a mayor): emulsificantes, mezclas y polisacáridos. En todos los casos el testigo tuvo una vida de anaquel menor. La CMC al 0.075% fue el mejor tratamiento y se podría garantizar una vida de anaquel de 18 días como mínimo a 20 °C.

El presente trabajo también sirvió para generar información acerca de las características reológicas que debe reunir la harina que se emplea para la elaboración de las tortillas de harina de trigo ya que hasta el momento no se cuenta con información publicada que indique los requisitos que debe poseer la materia prima que se utiliza para elaborar este producto.

INTRODUCCION

INTRODUCCION.

Una de las principales preocupaciones de la industria alimentaria es prolongar el tiempo de conservación de los alimentos, para ello se han empleado distintas formas de procesarlos, además de tratamientos adecuados para protegerlos de la acción de agentes físicos, biológicos o de cualquier otro factor que pueda acortar su vida de anaquel o modificar sus características originales; la tortilla de harina de trigo no podía ser la excepción.

La tortilla de harina de trigo es el producto comestible resultante de la cocción de una masa, que básicamente contiene: harina, agua, manteca y sal; se caracteriza por tener una superficie circular plana, color blanco cremoso y generalmente tiene un espesor de 1 a 2 milímetros y un diámetro de 13 a 30 centímetros. Históricamente las tortillas fueron elaboradas en forma casera: la harina era mezclada con agua, grasa y sal para formar una masa, la cual era dividida en fracciones pequeñas con las que se formaban "bolitas" que posteriormente eran alisadas y cocidas sobre un comal o en un fogón. ^(1,2) Con el paso del tiempo ha aumentado su demanda y con ello la aparición de diferentes sistemas de producción distintos a los tradicionales, así como el número de locales que elaboran este producto en forma casera.

Desafortunadamente la tortilla de harina tiene un vida de anaquel de 12 días, después de este lapso son retiradas del mercado principalmente por la disminución de sus cualidades de frescura, flexibilidad y presencia de hongos. Se han realizado muy pocos trabajos sobre como dar solución a lo anteriormente mencionado; en dichos trabajos se han adicionado conservadores como el propionato de calcio o el sorbato de potasio para protegerlas contra los hongos, se ha estudiado el efecto que tiene el porcentaje de proteína contenido en la harina en el atributo de frescura de la tortilla, se han empleado algunos emulsificantes y polisacáridos así como también se han probado diversos tipos de empaque para conservar su frescura pero aún así el problema persiste. ^(3,4,5,6)

En la tortilla de harina de trigo existen diferentes sistemas coloidales, entre ellos la emulsión, la cual esta formada por la interacción entre la manteca y el agua; este sistema es de gran importancia porque son dos componentes inmiscibles entre si que no permiten una buena integración de estos, repercutiendo en las características finales del producto y es donde los emulsificantes pueden desarrollar su actividad de superficie actuando como sitios de unión. ⁽⁴⁾ Diversos estudios realizados en panificación atribuyen la pérdida de frescura de los productos a la retrogradación del almidón, para evitar esto se han empleado emulsificantes los cuales según los investigadores pueden interaccionar con las moléculas de

amilosa y amilopectina retardando con ello la retrogradación del almidón y por consiguiente ayudando a retener la humedad obteniéndose un producto con mayor suavidad; considerando que el principal componente de las tortillas es la harina de trigo es posible que los emulsificantes también surtan un efecto positivo retardando el envejecimiento de este producto logrando una mayor vida de anaquel. (7, 8, 9)

Por otro lado la disminución de frescura y flexibilidad de la tortilla es en muchos casos por la pérdida de humedad y teniendo en cuenta que los polisacáridos son macromoléculas que se caracterizan por tener las propiedades de absorber y retener el agua contenida en el alimento pueden ser empleados para solucionar el problema. (10)

Por todo lo anterior el empleo de los emulsificantes y polisacáridos, así como las mezclas de estos podrían ser una opción más para solucionar el problema de la pérdida de humedad y flexibilidad en las tortillas de harina de trigo incrementando de este modo la vida de anaquel de dicho producto.

I. ANTECEDENTES

I. ANTECEDENTES.

1.1 PRODUCCION DE HARINA DE TRIGO

En la elaboración de tortillas de trigo, la harina es el ingrediente de mayor importancia. La obtención de esta depende de la producción nacional del grano de trigo, la cual se envía a la industria molinera para producir los diferentes tipos de harina de acuerdo a la demanda de los subsecuentes procesos industriales.

La producción de trigo en México ocupa el cuarto lugar en cuanto a superficie cosechada y el tercer lugar en volumen de producción de cereales. Esta abarca todo el año y está dividida en dos ciclos: primavera-verano y otoño-invierno, este último es el de mayor importancia ya que se obtiene generalmente el 95% de la producción. Este cereal es cultivado principalmente en dos regiones: la región Noroeste (Sonora, Sinaloa y Baja California) que contribuye con el 53% de la producción nacional y la región Bajío (Guanajuato, Michoacán y Jalisco) con el 28 %. En conjunto, ambas regiones generan más del 80 % de la producción nacional del cereal en el año agrícola. ⁽¹¹⁾ En los últimos años de la década pasada, se tuvo en promedio una producción anual, a nivel nacional, de 3 millones 500 mil toneladas; sin tomar en cuenta lo que se importa, en este sentido la tendencia en nuestro país se ha dado hacia una dependencia cada vez mayor con el exterior, el decremento de la producción nacional ha conllevado inevitablemente a tal situación. En la década de los años 90 la adquisición de trigo en el exterior se incrementó de manera gradual. Entre 90 y 91 se compraba en el extranjero 7.4 %; sin embargo, ya para los últimos años de dicho período se importaba en promedio 30 %.

La producción nacional se destina principalmente a tres rubros: consumo humano (industria panificadora, de pastas y galletas, etc.), consumo animal y como semilla para siembra. El consumo humano representa el 82.5%, el animal el 11% y la semilla para siembra el 3.5 %. Según estadísticas oficiales, el consumo humano nacional se distribuyó de la siguiente manera: 65 % en la industria panadera; 10% en la de pastas y galletas; 12 % en la de frituras y tortillas y el 13 % en el consumo doméstico. ^(12, 13)

Una vez obtenido el grano se envía a la industria molinera en donde se realizan diferentes mezclas de variedades comerciales de trigo, (aproximadamente 28 variedades) con el fin de proporcionar la calidad requerida por las diferentes industrias. Sin embargo debido a las mezclas realizadas, se

obtienen harinas con características diferentes a las adecuadas para la elaboración de tortillas ya que las variedades mezcladas son cultivadas en diversas temporadas y bajo diferentes condiciones tanto en su cosecha como en su transportación y almacenamiento, esto trae como consecuencia que la calidad de la harina empleada no sea siempre la misma; lo cual, es de suma importancia si se considera que la harina es la principal materia prima en la elaboración de tortillas de harina de trigo. Con el fin de solucionar el problema se analizan las harinas por medio de aparatos como el alveógrafo, extensógrafo y farinógrafo, con lo que se determina el contenido y calidad del gluten, la capacidad de hidratación de la harina, la extensibilidad y tenacidad de la masa, etc. (14, 15).

1.2 COMPONENTES DE LA HARINA DE TRIGO.

De acuerdo a las normas oficiales mexicanas para hacer harina de trigo debe emplearse trigo limpio, esencialmente libre de salvado y germen y pulverizado al grado que el producto resultante pase a través de un tamiz con 4225 orificios por pulgada cuadrada. La harina resultante de la molienda del trigo generalmente representa el 72 por ciento del grano, quedando un 28 por ciento de subproductos.

Los principales componentes de la harina son los carbohidratos, las proteínas y los lípidos. (15, 16)

1.2.1 Carbohidratos:

El almidón es el principal carbohidrato de la harina de trigo, se encuentra entre un 75 a un 80 %. Proporciona una superficie adecuada para lograr una fuerte unión con las proteínas del gluten. El contenido de almidón varía inversamente con su contenido de proteína según el tipo de harina y el trigo del que se obtuvo. La harina de trigo duro con mayor contenido de proteína tiene menos almidón que la harina de trigo blando, la cual tiene un contenido menor de proteína y una proporción más alta de almidón. El almidón está constituido básicamente por polímeros de alfa-D-glucosa. Químicamente, al menos, se pueden distinguir dos tipos de polímeros: amilosa, que fundamentalmente es un polímero lineal y amilopectina que está fuertemente ramificado. La amilosa se considera un polímero lineal de alfa-D-glucosa unida en alfa-1,4. Aunque se admita generalmente, que el polímero es lineal, esto parece ser cierto solamente para una parte de la amilosa, siendo ligeramente ramificada el resto. Las investigaciones, tanto enzimáticas como de viscosidad, indican que se trata de ramificaciones de cadena larga con cadenas laterales de centenares de restos de glucosa. Las ramificaciones de la amilosa, son tan largas y tan escasas, que en varios sentidos la molécula actúa como una entidad sin ramificar. La naturaleza lineal y de gran longitud, confiere a la amilosa algunas propiedades como por ejemplo: su capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos, además de ser responsable de la tendencia a asociarse consigo misma. La amilosa cristalizará fácilmente en una solución o se retrogradará. Retrogradación, es el término utilizado para denotar cristalización en los geles de almidón. La amilopectina está formada por alfa-D-glucosa, es mucho más ramificada que la amilosa con 4-5% de

enlaces alfa-1-6. Este polímero tiene uno de los pesos moleculares más altos conocidos en la naturaleza (10^6). Se cree que la amilopectina está ramificada al azar. La molécula tiene tres tipos de cadenas: cadenas "A", compuestas por glucosa con enlaces alfa-1,4; cadenas "B", compuestas por glucosa con enlaces alfa-1,4 y alfa-1,6; y cadenas "C", de glucosa con enlaces alfa-1,4 y alfa-1,6 y además un grupo reductor. Tenemos así, que las cadenas "A", no tienen ramificaciones y las "B" sí las tienen; la cadena "C" está ramificada y además posee el único grupo reductor de la molécula.

La gelatinización del almidón es un fenómeno importante que inicia con el hinchamiento de los gránulos de almidón, después una pérdida de birrefringencia y el rompimiento de los gránulos con exudación de amilosa. Este comportamiento juega un papel importante en la vida de anaquel de los productos elaborados con trigo. ^(15,16,17)

1.2.2 Proteínas:

Las proteínas son el componente más importante en la funcionalidad de la harina; constituyen del 9 al 13 % del peso seco de la harina de trigo. Existen más de 20 aminoácidos conocidos que se combinan de diferente manera para formar las proteínas que se encuentran en la harina. Las proporciones de estas proteínas son variables, lo que explica las grandes diferencias entre diversas harinas en cuanto a la capacidad de absorción de líquido, los distintos grados de elasticidad de la masa y el desarrollo o deterioro de la sustancia conocida como gluten. El gluten se desarrolla por medio del amasado, una vez que es añadido el líquido a la harina y mezclada con los demás ingredientes. ⁽¹⁷⁾

El gluten está compuesto por dos grupos principales de proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina). Las gliadinas tienen un peso molecular entre 25000 y 100000, son de cadena simple y son extremadamente pegajosas cuando están hidratadas, tienen poca resistencia a la extensión. Las gluteninas son de cadena ramificada y su peso molecular es mayor de 100000 millones, la glutenina confiere aparentemente a la masa su propiedad de resistencia a la extensión. Tanto las gliadinas como las gluteninas contienen abundantes enlaces disulfuro, pero mientras que en las gliadinas son principalmente de tipo intramolecular, originando plegamiento de cadenas; en las gluteninas, son en su mayoría, de tipo intermolecular que originan agregados de alto peso molecular. Las propiedades viscoelásticas del gluten son en gran parte función de la presencia en proporción adecuada de enlaces disulfuro intramoleculares e intermoleculares. La capacidad de alargamiento de la masa (extensibilidad), así como la tendencia de la misma a volver a su estado original (elasticidad) dependen fundamentalmente del número y naturaleza de los enlaces interpeptídicos que se forman, los grupos iónicos y no iónicos de las proteínas determinan el tipo de enlaces formados que pueden ser de cuatro tipos: puentes de hidrógeno, enlaces amida, sulfidril, disulfuro o interacciones hidrofóbicas. ⁽¹⁸⁾

1.2.3 Lípidos

El contenido de lípidos de la harina, incluyendo ácidos grasos saturados, y no saturados, es muy pequeño (1.4 a 2.0 %). Se dividen en polares y no polares. Parte del lípido se halla en la proteína, donde contribuye a la formación de la película del gluten. La información disponible sobre la naturaleza de los componentes proteicos que interactúan con los lípidos es insuficiente. Ambos componentes del gluten (gliadinas y gluteninas) pueden asociarse a lípidos polares y no polares. La capacidad de interacción puede atribuirse a enlaces hidrofóbicos aunque también es probable que enlaces de tipo iónico jueguen un papel importante. ⁽¹⁹⁾

1.3 LA TORTILLA DE HARINA DE TRIGO Y SU IMPORTANCIA.

La tortilla proporciona básicamente carbohidratos, (53.6 g/100 gramos de peso neto) grasa y proteínas. Tabla 1. La calidad y el valor nutricional de la tortilla va a depender en gran medida del tipo de harina empleada así como de los cuidados durante el proceso de elaboración de esta. ⁽²⁰⁾

TABLA 1. COMPOSICION QUIMICA NUTRIMENTAL. DE LA TORTILLA DE HARINA DE TRIGO EN 100 GRAMOS DE PESO NETO.

PORCION COMESTIBLE	ENERGIA (Kcal)	PROTEINAS (g)	HUMEDAD (g)	GRASAS (g)	CARBOHIDRATOS (g)
1.0	322	7.2	30	9.2	53.6

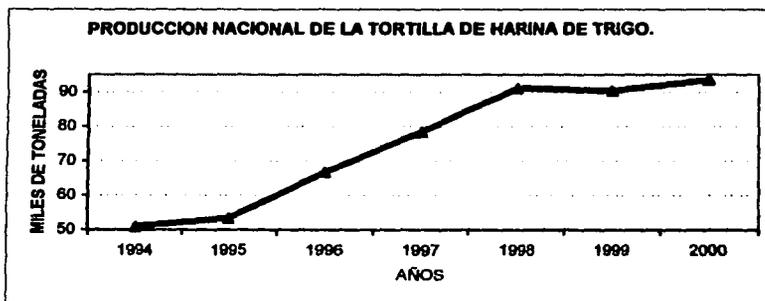
Fuente: Sema Saldivar Sergio. 1998

Su producción es importante desde el punto de vista económico puesto que alrededor de este producto intervienen actividades agrícolas y de transformación industrial. Con el paso del tiempo la tortilla de harina se ha ido colocando cada vez más en el gusto del consumidor sobre todo en el sector urbano, en donde actualmente se pueden encontrar diversas marcas de este producto. De acuerdo con las estadísticas del INEGI se reportó para el año de 1994 una producción nacional de 50,858 toneladas mientras que para el 2000 una producción de 93,521 toneladas teniendo un valor de \$ 203,215,000 y de \$ 1,126,972,000 respectivamente; es decir en seis años se ha tenido un incremento de aproximadamente 83%, siendo los meses de septiembre y diciembre los de mayor venta. Figura 1.(19)

En Estados Unidos de América, las tortillas han comenzado a conocerse y a ser muy bien aceptadas por los consumidores americanos. Según Steinber director ejecutivo de la Asociación de la

Industria de la tortilla (TIA) muchos han encontrado en las tortillas un producto versátil y relativamente barato, de acuerdo a datos de la TIA los americanos consumieron aproximadamente 125 tortillas de harina de trigo por persona por año. Las tortillas ahora son ofrecidas como sustitutos de pan tradicional, este producto ha sido adoptado por cadenas de comida rápida como Taco Bell, Au Bon Pain, KFC y por la mayoría de las organizaciones de servicio de comida, el sabor de las tortillas sugiere un significativo potencial de crecimiento en el consumo de la tortilla. El consumo de las tortillas en Estados Unidos de América se ha incrementado rápidamente, en 1980, la tortilla en el mercado americano fué de 300 millones de pesos, para 1995 se extendió a 2.5 billones en precios al mayoreo. Los cambios en la distribución y la introducción de sistemas automatizados han ayudado a incrementar la demanda, de acuerdo con los productores cerca del 60% de sus productos son consumidos por no latinos.^(22, 23)

FIGURA 1



Fuente: Adaptación de <http://www.trigosagar.gob.mx>

1.4 FUNCIONALIDAD DE LOS INGREDIENTES DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.

Los ingredientes empleados para la elaboración de la tortilla son de gran importancia, en función a las características que impartan al actuar conjuntamente será en gran medida la calidad de la tortilla obtenida. Los ingredientes pueden clasificarse como básicos y opcionales. Entre los primeros se encuentran: la harina, el agua, la manteca y la sal. Mientras que los ingredientes opcionales están: los leudantes, conservadores y emulsificantes.

1.4.1 Ingredientes básicos:

1.4.1.1 Harina.

La harina es el ingrediente de mayor importancia y constituye aproximadamente un 80% del material seco en la tortilla. Generalmente se prefiere el uso de harina blanqueada (usualmente con peróxido de benzoilo), pueden estar enriquecidas con tiamina, niacina, riboflavina, hierro y ácido fólico. La hidratación y la etapa de amasado hacen que la harina se convierta en una masa con características específicas de acuerdo al contenido de proteínas. Así como en otros productos de trigo las proteínas gliadina y glutenina son las responsables de la formación del gluten o de las propiedades reológicas de la masa, otra parte importante de la harina es la conformada por los carbohidratos donde el almidón es el principal representante. Este ayuda también a formar la estructura mediante la gelatinización y cristalización parcial de sus componentes (amilosa y amilopectina).^(16,24)

1.4.1.2 Agua

La función primordial del agua al ser añadida a la harina es de dispersión, puesto que se pone en contacto con los componentes de la masa y sirve de solvente tanto para las sales como para las proteínas solubles, además de que sirve para la activación de los agentes leudantes. El agua con un pH alto podría contribuir a un color diferente en la tortilla y podría afectar en la cantidad de acidulante requerido para su óptima preservación. En contraste con el pan, las tortillas son procesadas con menos agua y con mayor cantidad de grasa. Generalmente la cantidad de agua varía de un 40 a 45% dependiendo del tipo de harina, de las proteínas y de la presencia de otros ingredientes como son las gomas y la grasa. La proteína absorbe buena parte del agua para formar gluten y el almidón la requiere para tomarse de consistencia gelatinosa, siendo ambas funciones necesarias para la elaboración de la tortilla. El agua que es absorbida por otras sustancias, de manera que llega a formar parte de ellas, recibe el nombre de "agua ligada". El agua libre es la que permanece disponible para ser utilizada como solvente. El agua puede estar libre en una etapa del procedimiento y más tarde quedar ligada, como en el caso del almidón que la absorbe para adquirir consistencia gelatinosa durante la fase de cocción.^(16,24)

1.4.1.3 Grasa

Se emplea entre 10 al 15% de grasa en la elaboración de tortillas. Puede ser de origen animal o vegetal, aunque en la actualidad se prefieren las de origen vegetal por tener más vida de anaquel, menor costo y ser más digeribles. Este ingrediente influye en el sabor, la textura y el manejo de la tortilla. La grasa es incorporada en el gluten durante el mezclado; constituyendo una película lubricante entre las fibras de este, con lo cual se obtiene un gluten más suave y elástico.^(16, 24)

1.4.1.4 Sal

La sal tiene como función principal impartir sabor, se emplea entre un 1.7 a 2.0%. Otras funciones son el fortalecer el gluten al unirse con las proteínas o actuar como vínculo de unión de las proteínas con las grasas así como aumentar la vida de anaquel del producto por disminuir la actividad de agua.^(16, 24)

1.4.2 Ingredientes opcionales:

1.4.2.1 Agentes leudantes.

El más empleado en la elaboración de tortillas de harina de trigo son los polvos de hornear, estos son producidos al mezclar un material ácido reactivo y bicarbonato de sodio, con o sin adición de almidón o harina. Los materiales ácidos reactivos son: ácido tartárico o sus sales ácidas, sales de ácido fosfórico, compuestos de aluminio o cualquier combinación de estos. El polvo de hornear, al hacer contacto con el líquido de las masas o batidos a temperatura apropiada reacciona químicamente generando dióxido de carbono en volúmenes controlados y con una rapidez de desprendimiento de gas controlada; la presión interna del gas contribuye a dar la estructura interna de la tortilla, formándola menos densa y esponjando al producto. Al adicionarlo, las tortillas pueden tener una apariencia más blanca debido al cambio de textura de la superficie. Un pH entre 5.5 y 6.0 es el recomendado para producir un buen color en la tortilla, un buen esponjamiento y una efectividad de los conservadores.^(24, 25, 26)

1.4.2.2 Conservadores

La adición de estos compuestos es con el fin de inhibir el crecimiento de hongos en el producto final, esto ayuda a incrementar la vida de anaquel de los productos. Los conservadores más utilizados son el propionato de calcio y de sodio a un nivel de 0.15 a 0.33 %.^(24, 27)

1.4.2.3. Emulsificantes.

Son sustancias químicas que ayudan a dispersar los ingredientes. Tienen la propiedad de acondicionar la masa debido a su capacidad de interactuar con las proteínas del gluten y/o formar complejos con el almidón.^(28, 29)

1.5 EMULSIFICANTES: DEFINICIÓN Y CLASIFICACION.

Los emulsificantes son agentes tensoactivos de origen natural utilizados en los alimentos. La característica peculiar de este tipo de compuestos es que su molécula exhibe una doble solubilidad, una

parte es soluble en sustancias polares y la otra en sustancias no polares, debido a esta característica los emulsificantes son capaces de mantener unidos dos o más compuestos inmiscibles, por ejemplo: agua y aceite.

1.5.1 Clasificación de los emulsificantes

Las clasificaciones más difundidas son: por su carga, por su solubilidad y por su grupo químico.

1.5.1.1 Por su carga

De acuerdo a su estructura y comportamiento los emulsificantes se pueden clasificar en iónicos (catiónicos, aniónicos) y no iónicos. El principal inconveniente de los emulsionantes iónicos en las emulsiones alimenticias es que pueden reaccionar con varios iones (iones hidrógeno, inorgánicos di y trivalentes o iones emulsionantes de carga opuesta) para formar complejos que tal vez tengan reducido poder emulsionante y menor solubilidad en ambas fases líquidas. Por el contrario, los emulsionantes no iónicos son habitualmente solubles en una de las fases y no reaccionan con los iones antes mencionados. Debido a eso, los emulsionantes no iónicos se utilizan ampliamente en la industria alimentaria.^(29, 30, 31)

TABLA 2. CLASIFICACION DE LOS EMULSIFICANTES POR SU CARGA

TIPO		USO
IONICOS	Catiónicos	No se usan en alimentos
	Aniónicos	Fosfolípidos (lecitina) jabones sales de ésteres
NO IONICOS		Esteres de: Glicerilo Sorbitán Sorbitán etoxilados

Fuente: Krog N. 1981

1.5.1.2 Por su solubilidad

Dependiendo de su estructura, el tipo y el número de grupos polares y no polares, los tensoactivos exhiben una predominante solubilidad en agua o aceite. Se dividen en hidrofílicos y lipofílicos; los primeros son sustancias fuertemente polares como el agua y facilitan la formación de emulsiones aceite/agua; mientras que los lipofílicos son solubles en solventes orgánicos y facilitan la formación de emulsiones agua/aceite. En 1949 Griffin creó un sistema numérico conocido como el balance hidrofílico-lipofílico (HLB) el cual cuantifica el balance de la polaridad de las moléculas de

tensoactivo y su predominante afinidad por el agua o el aceite. La escala del HLB va de 0 a 20; los tensoactivos que se encuentran en un rango de 2 a 8 tienen una tendencia lipofílica y los que se encuentran entre 14 y 18 tienen una tendencia hidrofílica.^(29, 30, 31)

TABLA 3. CLASIFICACION DE LOS EMULSIFICANTES POR SU SOLUBILIDAD

TIPO	VALOR HLB	EMULSIFICANTE
LIPOFILICOS	1.8	Trioleato de sorbitán
	4.3	Manoleato de sorbitán
	4.7	Monosteato de sorbitán
HIDROFILICOS	10.0	Monoleato de sorbitán
	11.0	Trioleato de sorbitán (20)
	14.9	Monosteato de sorbitán (20)
	15.0	Monoleato de sorbitán (20)

Fuente: Adaptado de apuntes de CANAMEX.

1.5.1.3 Por su grupo químico

Desde el punto de vista químico un emulsificante es un éster, los ésteres son considerados como derivados funcionales de los ácidos carboxílicos en los que el grupo oxhidrilo (-OH) ha sido substituido por un radical (-OR). En el caso de los emulsificantes usados en alimentos el grupo ácido generalmente proviene de un ácido carboxílico de 12-18 carbonos y el radical -OH es aportado por un alcohol polihidroxílico, un ácido orgánico ó un azúcar.^(32, 33)

1.6 PROPIEDADES DE LOS EMULSIFICANTES.

Diversas investigaciones han reportado que los emulsificantes participan en interacciones con otros compuestos además del aceite o el agua; por ejemplo: con almidón, proteínas, etc., incluso en algunos casos se observó que este tipo de propiedades eran mucho más significativas que las que presentaban con el agua o el aceite, esto es especialmente cierto en productos con bajo contenido de grasa, como las pastas alimenticias, panes, etc. en que los emulsificantes son importantes constituyentes estructurales. En la actualidad se han identificado diversas funciones de los emulsificantes en los alimentos; entre las que se encuentran: emulsificación, formación de complejos con el almidón, interacción con proteínas y modificación a la cristalización.^(33, 34, 35)

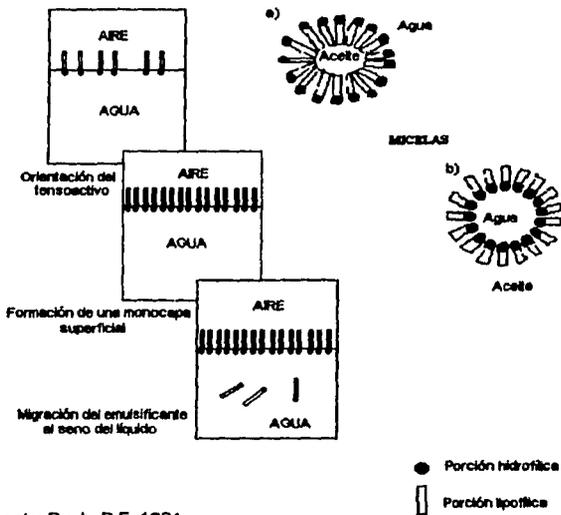
1.6.1 Emulsificación.

Cuando dos líquidos inmiscibles son mezclados con agitación intensa se mantienen unidos hasta que la agitación es interrumpida en cuyo caso las moléculas de cada compuesto se reintegran a su fase original. En términos energéticos es mucho más propicio para un compuesto estar rodeado de moléculas de su mismo tipo, pues las fuerzas de atracción y repulsión están perfectamente balanceadas las moléculas del seno de la solución están estabilizadas pues están rodeadas por moléculas idénticas; sin embargo, las moléculas de la superficie enfrentan mayores fuerzas de repulsión y presentan una tendencia a migrar al seno del líquido. La capacidad de formar emulsiones estables es decir, de mantener unidos dos líquidos inmiscibles es el rasgo distintivo de los emulsificantes. Cuando en un sistema el emulsificante es usado con el propósito de que forme una emulsión éste se dispersará en forma de gotas muy diminutas de uno de los líquidos en el otro, por ejemplo: aceite en agua. El líquido dividido en pequeñas gotas es conocido como fase dispersa mientras que el líquido envolvente es llamado la fase continua. ^(33,36)

1.6.1.2 Formación de la emulsión.

Cuando el emulsificante es adicionado al agua las moléculas se orientarán hacia la superficie, la porción hidrofílica es atraída hacia el seno del agua, pero la porción lipofílica es rechazada de tal forma que la molécula tendrá una orientación como la mostrada en la Figura 2. Conforme se sigue adicionando emulsificante, la superficie empieza a cubrirse hasta formar una monocapa de emulsificante; al final esta superficie habrá sido transformada en una superficie oleosa. Esta es la base de una de las propiedades más útiles de los tensoactivos, la capacidad de reducir la tensión interfacial del agua que permite adicionar aceite y mezclar homogéneamente hasta obtener una emulsión estable. Cuando se acumulen suficientes moléculas de emulsificante en la fase acuosa; se orientarán entre sí de tal manera que sus porciones lipofílicas queden asociadas en una forma más estable, la porción hidrofílica seguirá en contacto con el agua; las estructuras que permiten este equilibrio son conocidas como micelas. Las micelas se forman en diferentes tamaños y formas, pero son un fenómeno general para los emulsificantes. Figura 2. ^(29, 35)

FIGURA 2. FORMACION DE LA EMULSION



Fuente: Rush, D.F. 1981

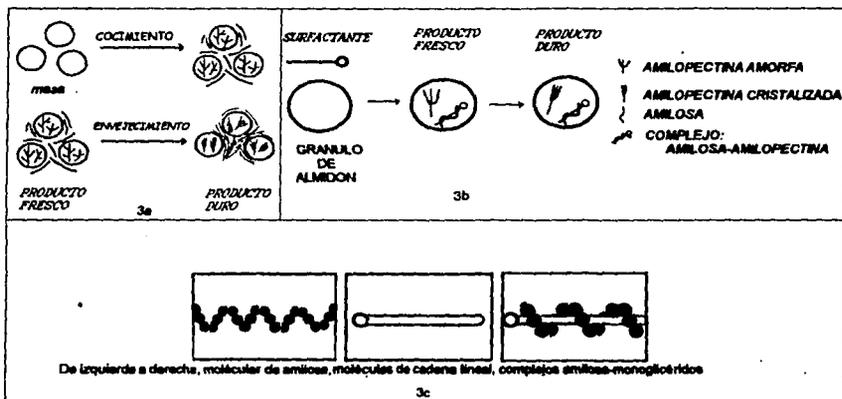
1.6.2 Formación de complejos con el almidón.

En general se cree que el endurecimiento de los productos elaborados con harina de trigo es debido a la retrogradación del almidón, el cual está formado por dos componentes, la amilosa y la amilopectina cuya estructura base viene dada por la glucosa. La retrogradación se define como la insolubilización y precipitación principalmente de las moléculas de amilosa. Como consecuencia de las diferencias de estructura y dimensión molecular entre la amilosa y la amilopectina, la primera tiene una velocidad de retrogradación más alta que la segunda y por consiguiente influye en mayor medida en el proceso de endurecimiento. La amilosa retrograda con mayor velocidad debido a que sus largas cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan entre si por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos y precipitan. Durante el cocimiento de los productos que contienen almidón en su composición la amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de tal manera que los gránulos restantes (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal, esto traerá como consecuencia la asociación de las cadenas de amilopectina que

permanecen en el gránulo hinchado después de haber perdido parte de la amilosa también precipiten. En el producto fresco, la amilopectina tiene todas sus ramas completamente extendidas, mientras que en el producto viejo están retrogradadas, unidas entre sí y sin el agua original. Figura 3a. De acuerdo con este mecanismo, los emulsionantes inhiben este fenómeno porque interactúan con la amilosa dentro del gránulo y evitan su difusión, lo que trae como consecuencia que la amilopectina no se concentre y se exponga a la retrogradación. Figura 3b (9, 16, 37, 38,39)

En otras palabras, al adicionar un emulsificante este es atrapado en la estructura helicoidal de la amilosa formando de esta manera un complejo, el cual es insoluble en agua; en el interior de la hélice se forma una zona no polar con los grupos C-H y los átomos de oxígeno glucosídicos, mientras que los grupos OH se ubican en la parte externa de la hélice. Figura 3c. El complejo que se forma por la interacción de tensoactivo con la amilosa retiene la humedad en el interior de los gránulos de almidón, evita la retrogradación y previene la migración de la amilosa al exterior del gránulo. Con ello se impide también que la amilopectina sufra cambios estructurales y retrogradación. Cuando la amilopectina retrograda, sus ramificaciones se alinean y se asocian por puentes de hidrógeno expulsando agua en el proceso. (31, 33, 37)

FIGURA 3. INTERACCION DE LOS EMULSIFICANTES CON EL ALMIDON



FUENTE: Quaglia Giovanni. 1990, Karen Kulp 1979

La capacidad de los tensoactivos para formar complejos insolubles con la amilosa (ACI), varía dependiendo de su configuración química y solubilidad en el agua. Tabla 4 ⁽³¹⁾

TABLA 4. INDICE DE COMPLEJACION DEL ALMIDON. (ACI)

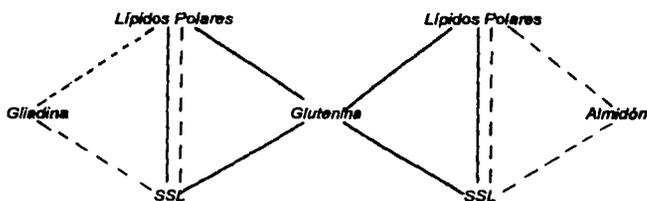
TIPO DE EMULSIFICANTE	ACI
Monoglicérido saturado (85% monoestearina)	85
Monoglicérido insaturado (45% monooleína)	35
Monoglicérido acetilado	0
Mono y diglicérido saturado (50% monoéster)	42
Estearoil Lactilato de Sodio	72
Lecitina	16
Monoestearato de Sorbitán	18
Monoestearato de Sorbitán (20)	32

Fuente: Adaptado de Krog N. 1981.

1.6.3 Interacción con proteínas.

Esta interacción ha sido estudiada por diversos investigadores como Grosskrelutz en 1961, Krog en 1977 y Stauffer en 1983. Se conoce muy poco acerca de la naturaleza de interacción molecular entre un emulsificante y las proteínas del gluten. Estudios realizados por estos investigadores en masas de panificación en los cuales adicionaron ésteres diacetiltartráico como emulsificante, determinaron que el tensoactivo interactúa con el almidón, la gliadina y los lípidos por medio de enlaces hidrófilos mientras que con la glutenina por medio de enlaces hidrófobos. Figura 4. ^(31, 39)

FIGURA 4. MODELO DE LA INTERACCION DE LAS PROTEINAS Y EL ALMIDON CON TENSOACTIVOS.



SSL: Estearil Lactilato de Sodio (Tensoactivo), Enlaces hidrófobos (—), enlaces hidrófilos (---)

Fuente: Quaglia Giovanni, 1990.

Otra teoría considera que los lípidos están formando una capa bimolecular (teoría de la doble capa) que separa las asociaciones formadas por las proteínas. Estudios posteriores han mostrado que la teoría de la doble capa no es del todo precisa y todo indica que los lípidos se encuentran formando estructuras apiladas de más de dos capas. Sin embargo, se ha demostrado que no sólo es importante la configuración de los lípidos sino también su estado físico. Por medio de la polarimetría se ha encontrado que es imprescindible que los lípidos se encuentren formando estructuras liquidocristalinas para que puedan interactuar con las proteínas.^(30, 35)

Los emulsificantes con mayor influencia sobre las propiedades de las masas son principalmente compuestos de tipo iónico, tales como el estearil lactilato de sodio y calcio (SSL, CSL) los ésteres del ácido diacetil tartárico (DATEM), los monoglicéridos succinilados; o compuestos no iónicos, todos ellos son capaces de formar mesofases lamelares (o geles) en el agua a las temperaturas de mezclado de la masa. Muchos estudios realizados parecen indicar que la funcionalidad de los lípidos nativos y de los emulsificantes adicionados está relacionada con su capacidad de formar estructuras lamelares ordenadas. El efecto de los tensioactivos no iónicos es el resultado de las interacciones hidrofóbicas entre el grupo apolar de la molécula del tensioactivo y los sitios apolares de la molécula de proteína, como resultado de esta unión la carga neta de la proteína se reduce, por lo que la repulsión electrostática entre moléculas es menor, permitiendo así una mayor aglomeración proteína-proteína. El efecto de los tensioactivos aniónicos se debe, en cambio, a la formación de enlaces con el nitrógeno amida de las proteínas del gluten, produciendo una agregación de proteína que es estabilizada por la formación de una red intermolecular formada por puentes de hidrógeno.^(7, 30, 33, 36)

1.6.4 Modificación de la cristalización de la grasa.

La forma cristalina de las grasas se refiere a la estructura que adquieren éstas en el estado sólido. Casi todas las grasas muestran normalmente alguna de las siguientes formas cristalinas: alfa, beta prima, punto de fusión I y beta, cada una de estas formas muestran un punto de fusión diferente; el cristal alfa tiene el punto de fusión más bajo, después beta prima y finalmente el cristal beta al que le corresponde el punto de fusión más alto.

Diversos emulsificantes actúan como modificadores (o fijadores) de la estructura cristalina. En algunos estudios al respecto se ha observado que el ácido esteárico que normalmente precipita, bajo condiciones de cristalización apropiadas, en una forma de cristal denominado B es convertido a una forma C más estable cuando se adicionan 1-5 % de ésteres de sorbitán o de sus etoxilados. Otros emulsificantes tales como los ésteres de poliglicerol, derivados de monoglicérido, ésteres de sacarosa también son eficientes para reservar la forma C de los cristales. La forma en como parecen actuar los emulsificantes es que se acomodan en la matriz formada por los cristales tipo alfa de los triglicéridos y que por impedimento estérico evita la formación de la forma beta.^(7, 36)

1.7 POLISACARIDOS

Convencionalmente, se ha considerado polisacárido aquel polímero constituido por más de 10 monosacáridos unidos por distintos enlaces glucosídicos. Se encuentran como cadenas lineales, o bien, ramificadas, que a su vez pueden estar integradas por un solo tipo de monosacárido (homopolisacárido), como el almidón y la celulosa, o también por varios tipos de monosacáridos (heteropolisacárido), como es el caso de la mayoría de las gomas. De cualquier manera, sus componentes siempre están unidos regularmente con una secuencia y estructura repetitivas, representando polímeros con un alto grado de ordenación. Debido al gran número de uniones covalentes y no covalentes, los polisacáridos, con un cambio muy pequeño en su energía interna presentan una cierta rotación y flexibilidad de movimiento. ⁽³⁷⁾

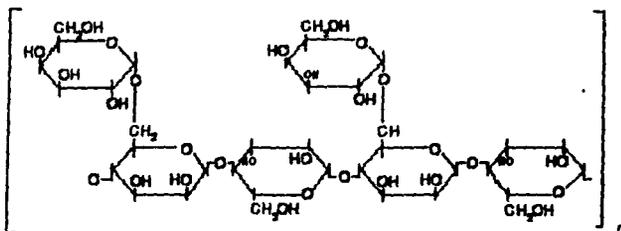
Los polisacáridos se encuentran en forma natural en muchos alimentos, pero en algunas ocasiones se añaden a otros para obtener propiedades específicas, como en el caso del almidón, la carragenina y la pectinas, que se utilizan por sus propiedades funcionales. Por su gran capacidad de retener agua producen partículas coloidales muy hidratadas, razón por la cual a los polisacáridos se les da el nombre de hidrocoloides. La capacidad de retención de agua depende de factores intrínsecos como son: tipo de polímero, peso molecular, linealidad, etc; y de factores extrínsecos como el pH, la fuerza iónica, temperatura, presencia de ciertos cationes, etc. Los polisacáridos son de muy diversos orígenes por lo que tienen diferentes estructuras, composición, peso molecular y linealidad. Son altamente hidrofílicos y como sus macromoléculas pueden interactuar entre sí, pueden formar una red tridimensional en la que queda atrapada el agua debido a una fuerte hidratación, la cantidad de agua retenida por el polisacárido puede ser hasta quinientas veces superior a su propio peso. ^(10, 27, 37)

En productos de trigo se han adicionado este tipo de aditivos para mantener la estabilidad en la vida de anaquel, reteniendo la humedad y retardando el endurecimiento; los polisacáridos más utilizados con este propósito son la Carboximetilcelulosa (CMC), la Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), la goma Guar y la Xantana, con las cuales además de mantener por mayor tiempo la humedad se mejoró la maquinabilidad y se disminuyó la textura pegajosa de la masa. ^(40, 41) J. C. Yau y Waniska en 1994 emplearon en la elaboración de tortillas de maíz Carragenina, Xantana, CMC, HPMC y goma Guar, siendo con los últimos tres polisacáridos con los que se logró mantener la frescura del producto siete días más que las tortillas elaboradas sin goma. En el caso de las tortillas de harina de trigo, la habilidad de los hidrocoloides comerciales para proporcionar estabilidad en la vida de anaquel, fue investigado en 1993 por Christopher P. Friend y Waniska, ellos utilizaron la goma Arábica, la Xantana, CMC y goma Guar a concentraciones de 0.25 a 0.5%, siendo la CMC la que dió los mejores resultados en cuanto a mantener la rollabilidad y humedad del producto. ^(6, 42) Por lo anterior se seleccionaron la goma Guar, la CMC, y la HPMC para utilizarlas en la elaboración de las tortillas de harina de trigo. A continuación se darán algunas de las características de los polisacáridos empleados para este trabajo.

1.7.1 Goma Guar.

Se obtiene del endospermo de la semilla leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, su estructura química, está ramificada y la cadena principal consiste en unidades de -D-manopiranosas unidas (1,4) y a la cual se le añaden ramas de -D-galactopiranosas por enlace (1,6). La relación de monosacárido es 2:1; es decir en cada tercer D-manosa se localiza un D-galactosa. Su peso molecular es variado, pero el promedio se considera de 22000. Carece de grupos ionizables, lo cual la hace prácticamente inalterable a los cambios de pH, ya que es estable en el intervalo 1.0-10.5, pero su máxima capacidad de hidratación se alcanza a pH de 7.5-9.0. La adición de altas concentraciones (mayores de 5.0%) de sales multivalentes provoca que se produzcan geles. Al hidratarse en agua fría forma dispersiones coloidales muy viscosas. ^(10, 27)

FIGURA 6. ESTRUCTURA DE LA GOMA GUAR.



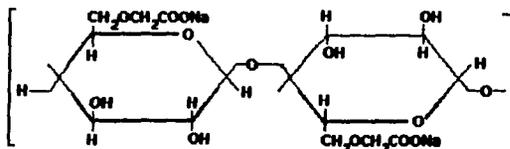
Fuente: Milton Jean L. 1988.

1.7.2 Carboximetilcelulosa (CMC)

Es de origen sintético, su principal componente es la celulosa la cual sufre una modificación por medio de una reacción química, en la que la celulosa purificada es primeramente tratada con hidróxido de sodio para hinchar las fibras y después se le hace reaccionar con monocloroacetato de sodio. Posee una estructura lineal de cadena larga. Cada unidad básica de glucosa en la estructura de la celulosa tiene tres grupos hidroxilo con los cuales el monocloroacetato de sodio puede interaccionar. Teóricamente, entonces una reacción completa significaría la introducción de tres grupos carboxilo por unidad de glucosa, con lo que se obtendría un grado de sustitución de 3. La mayoría de los productos comerciales tiene un grado de sustitución de 0.4 a 1.2. Tiene carga negativa, los sustituyentes que posee son grupos hidroxilo y carboxilo. La CMC puede tener dos grados de calidad: alimenticio y no alimenticio. La CMC de grado alimenticio es soluble en agua caliente o fría, no proporciona olor ni color y no debe tener presencia

de impurezas. A pH menor de 5 la viscosidad disminuye, a pH 2-3 la CMC insoluble precipita y a pH 7-9 alcanza la mayor estabilidad y viscosidad. La solubilidad en el agua y la capacidad de formar soluciones dependen del grado de sustitución, del grado de polimerización y de la uniformidad de la sustitución de los grupos carboximetil en el polímero. La CMC con grado de sustitución 0.45 o más es soluble en agua, mientras que con grado de sustitución de 0-0.3% es soluble en álcali e insoluble en agua. Siendo la más usada la que tiene un grado de sustitución de 0.65-0.85. La compatibilidad de la CMC con varias sales ionizables es dependiente de la habilidad de la sal adicionada para formar sales solubles de CMC. En general cationes monovalentes forman sales solubles y tienen un pequeño efecto sobre la viscosidad de la solución. Cationes divalentes son limitantes porque algunos cationes producen soluciones turbias a ciertas concentraciones. Figura 6. (10, 27, 43)

FIGURA 6. ESTRUCTURA DE LA CARBOXIMETILCELULOSA

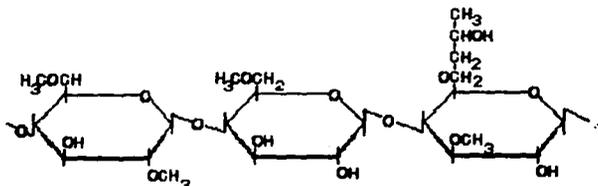


Fuente: Multon Jean L. 1988

1.7.3 Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC))

Es un derivado de la celulosa, se encuentra constituida por unidades repetidas de celulosa y tiene disponibles grupos hidroxilos que han sido esterificados. El grado de sustitución (DS) es definido como el número de hidroxilos por unidad de glucosa que han sido sustituidos. Es soluble en agua, de carácter no iónica por lo que es estable a cambios de pH y altamente tolerante a electrolitos. Es compatible con otros polisacáridos como la goma arábiga, la xantana, carrageninas, alginatos etc. (10, 27, 44)

FIGURA 7: ESTRUCTURA DE LA HIDROXIPROPILMETILCELULOSA



Fuente: Multon Jean L. 1988

1.8 REOLOGIA DE MASAS.

Por medio de estas pruebas se obtiene información de las características del gluten y se puede predecir el comportamiento de la masa durante el proceso de elaboración de la tortilla. Dos de los equipos más empleados para la medición de propiedades reológicas de la masa son el Farinógrafo de Brabender y el Extensógrafo de Brabender.

1.8.1 Farinógrafo de Brabender

Como la conducta al mezclado de una harina, es medida de la calidad del gluten, es importante evaluar tal conducta en las harinas, lo cual se logra empleando el farinógrafo. El farinógrafo es un instrumento de tipo dinámico, que prueba las masas. Esencialmente es una mezcladora registradora, que mide la plasticidad y movilidad de la masa, que se está sometiendo a un mezclado relativamente suave y prolongado, a temperatura constante. La resistencia que ofrece la masa (preparada para dar siempre una misma consistencia) a las aspas mezcladoras, durante el mezclado, se transmite a un dinamómetro, el cual está conectado a un sistema de palancas y balanzas y a una pluma, la cual traza la gráfica sobre un papel especial. La harina se coloca en la amasadora, se le va añadiendo agua con una bureta y se va amasando a 30°C al tiempo que se registra automáticamente la consistencia de la masa. Cuando alcanza 500 unidades Brabender se detiene el mezclador; el agua añadida de la bureta indica la absorción del agua por la harina. A continuación se repite el ensayo, pero en esta ocasión se le añade de una sola vez a la harina toda el agua antes medida; la gráfica de amasado así obtenida es característica de cada tipo de harina. El farinograma es trazado sobre un papel especial, en donde las líneas verticales, están de tal modo espaciadas, que la distancia entre una y otra, al moverse el papel, es de 30 segundos. También tiene 50 líneas horizontales paralelas, que cubren un rango de 0 a 1000 unidades Brabender, de tal manera que cada una representa 20 unidades, que se utilizan para indicar la consistencia de la masa.⁽⁴⁵⁾ Los valores que se obtienen de la curva farinográfica son los siguientes: Figura 8

a) Absorción de agua.

Es la cantidad de agua que requiere la harina para formar la masa de una consistencia tal, que se centre la curva farinográfica sobre la línea de 500 unidades Brabender (U.B.), generalmente harinas con alto contenido de proteínas tienen porcentajes altos de absorción de agua.

b) Tiempo de llegada.

Es el tiempo en minutos necesario para que la parte superior de la curva alcance la línea de 500 U.B. después de adicionar el agua. Este valor es una medida de la velocidad con la que el agua es tomada por la harina y generalmente se observa que a medida que aumenta el contenido de proteínas, el tiempo de llegada también aumenta.

c) Desarrollo máximo, tiempo de mezclado ó tiempo pico.

Es el tiempo que transcurre desde la primera adición de agua a la harina (tiempo cero), hasta el desarrollo de la consistencia máxima de la masa, o sea, la parte más alta de la curva. Entre más largo es este tiempo significa que la harina es cada vez más fuerte, es decir, es indicativo de la fuerza del gluten.

d) Estabilidad.

Se define como la diferencia entre los tiempos de salida y de llegada. También se le define como el tiempo desde que la parte superior de la curva alcanza las 500 U.B hasta que las abandona. Este valor generalmente da indicación de la tolerancia de la harina al mezclado.

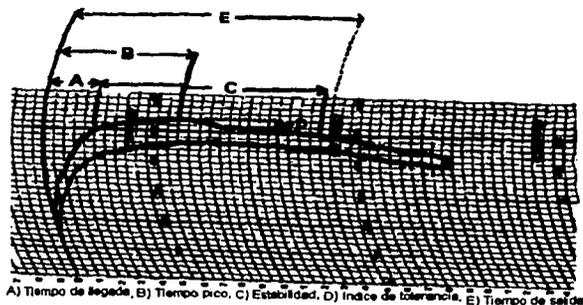
e) Tiempo de salida.

Es el tiempo desde la adición de agua (tiempo cero) hasta el tiempo donde la curva deja la línea de 500 U.B. Es igual a la suma del tiempo de llegada y el de estabilidad. Cuanto mayor es el tiempo de salida, más fuerte es la harina.

g) Índice de tolerancia.

Es la diferencia de consistencia de la masa, medida en unidades Brabender, entre las partes superiores de la gráfica en el pico y 5 minutos después de este. En general, las harinas que tienen una buena tolerancia al mezclado, tienen bajo este valor y entre más alto es, la harina es más débil. Es común que harinas con baja estabilidad tengan índices de tolerancia altos. ⁽⁴⁵⁾

FIGURA 8. PARAMETROS COMUNMENTE INTERPRETADOS EN EL FARINOGRAMA



Fuente: D' Appolonia Bert. The farinograph Handbook

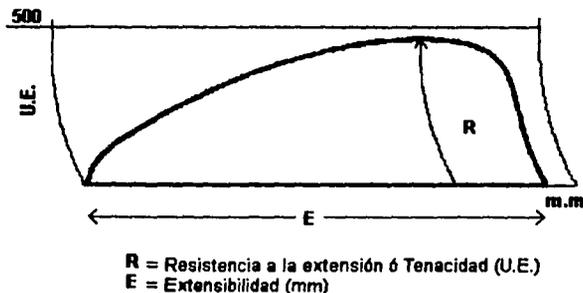
1.8.2 Extensógrafo de Brabender.

Por medio de este equipo se determina la resistencia que opone la masa a ser estirada después de un período de reposo. Para hacer un ensayo extensográfico es necesario contar con el farinógrafo, ya que se requiere amasar la masa y llegar a una consistencia de 500 U.E., posteriormente se forman 2 cilindros de masa, los cuales se meten a una cámara fermentadora a 30 °C durante 45 minutos y después cada cilindro se somete a un estiramiento por medio de un gancho que se mueve a velocidad constante bajo la acción de un motor. La resistencia de la masa a esta tensión, es transmitida por un sistema de balanzas a un graficador, la curva obtenida al finalizar la prueba se llama extensograma. Este equipo está formado por las siguientes partes: cámara de reposo, mecanismo de estiramiento, sistema graficador, termostato de circulación, boleador, accesorios de presión y formación de disco.^(6,46)

Los parámetros que se obtienen de la curva son los siguientes: Figura 9

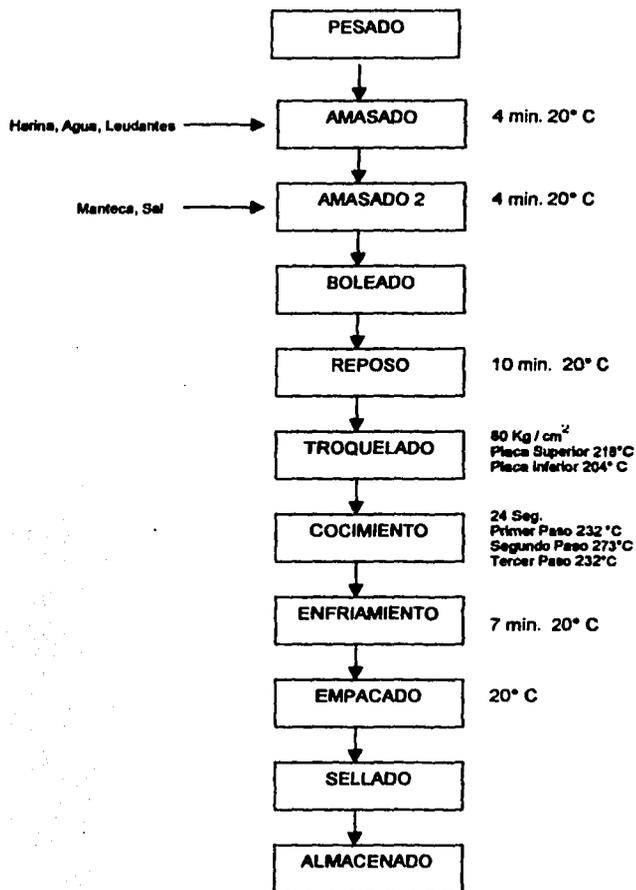
- Resistencia a la extensión (Tenacidad). Está dada por la altura del extensograma en unidades de extensograma (U.E)
- Extensibilidad: Resulta de la longitud de la curva y es medida en mm.
- Energía: está representada por el área bajo la curva, la cual se mide con ayuda de un planímetro en centímetros cuadrados. La energía da por medio de la figura información de la fuerza de la masa.

FIGURA 9. PARAMETROS COMUNMENTE INTERPRETADOS EN EL EXTENSOGRAMA



Fuente: Quaglia Giovanni 1990

FIGURA 10. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA ELABORACION DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.



1.9 PROCESO DE ELABORACION DE TORTILLA DE HARINA DE TRIGO.

1.9.1 Descripción de elaboración de tortillas de harina de trigo a nivel industrial. Figura 10

a) Pesado.

Se pesan los ingredientes necesarios de acuerdo a la formulación.

b) Amasado.

El amasado se lleva a cabo en dos etapas. En la primera se colocan en la amasadora todos los ingredientes, excepto la manteca y la sal. Se amasan durante 4 minutos, al mismo tiempo se va adicionando el agua a temperatura de 20 °C. En la segunda se agrega la manteca y la sal; volviéndose a amasar durante 4 minutos más. A lo largo de esta etapa se busca uniformar la dispersión de los ingredientes y ayudar a desarrollar el gluten, al terminar esta etapa la masa obtenida es tersa y extensible; estas características se atribuyen a las proteínas del gluten: glutenina y gliadina. Las moléculas de glutenina son más fuertes y asimétricas, poseen una considerable superficie para asociarse mediante fuerzas no covalentes y quedar fuertemente agregadas; al hidratarse forman una estructura muy tenaz y elástica, mientras que las gliadinas, más pequeñas, dan una estructura más fluida y viscosa que facilita la expansión y movilidad de la masa; el amasado favorece que estas dos proteínas alcancen una máxima interacción y formen una red tridimensional. Las gliadinas imparten el flujo y la cohesividad necesaria para la extensibilidad de esta estructura, facilitando el movimiento de las aspas del mezclador que ejercen fuerzas de estiramiento y de cizalla sobre las gluteninas más largas tendiendo a ser estiradas y orientadas en la dirección de la fuerza mecánica. Durante el mezclado parte de los ácidos fermentadores se solubilizan y reaccionan con el bicarbonato de sodio formando burbujas de aire de esta manera las proteínas hidratadas forman gluten, el cual está circundado por gránulos de almidón y burbujas de aire en la masa.^(9, 16, 18)

La fuerza elástica de la red se deriva de los enlaces disulfuro entre moléculas de glutenina. Cuando las regiones de las cadenas entre conexiones se estiran, se establece una fuerza restauradora por la tendencia de las cadenas a revertirse en configuraciones más desordenadas; el momento de máxima fuerza en esta red corresponde al desarrollo óptimo de la masa. Es importante llegar al punto máximo de consistencia de la masa, pues en caso de no lograrse se tendrán dificultades subsiguientes tanto en el manejo como en la calidad de la tortilla, una masa correctamente desarrollada será extensible por lo que podrá estirarse con facilidad para formar una película semitransparente de grosor uniforme.⁽⁹⁾ Los tiempos de amasado para el desarrollo óptimo de una masa varían en función de la velocidad de hidratación de la harina, determinada a su vez por el contenido de proteína; las harinas con menor absorción de agua se mezclan más rápidamente que las que tienen mayor absorción. La cantidad de agua disponible durante el amasado influye en la maquinabilidad de las masas (manejo de la masa

durante el boleado y las etapas siguientes) y el desarrollo del gluten. Si durante el amasado el agua es insuficiente resulta una masa tiesa con pobre maquinabilidad, si por el contrario el agua está en exceso se obtiene una masa pegajosa la cual también tiene una maquinabilidad pobre porque se adhiere en las superficies y requiere ser espolvoreada con harina para disminuir la humedad y evitar de esta manera el pegado.

La masa no debe sobreamasarse porque se puede provocar un rompimiento de los enlaces moleculares, lo que facilita el alineamiento de las moléculas en una misma dirección, ofreciendo así menor resistencia al trabajo mecánico, dando una masa pegajosa probablemente porque se rompen la malla de gluten además de que el gas producido por la reacción del polvo de hornear con el agua se puede perder. Una masa submezclada da como resultado productos cocidos no uniformes. ^(47, 48, 49)

c) Boleado.

Una vez terminado el amasado se pasa a las boleadoras en las cuales se corta la masa y se moldean para dar "bolas" de masa de forma y peso adecuados. (testales).

d) Reposo

Los testales obtenidos son colocados en charolas y cubiertas con una película plástica para evitar el endurecimiento de la masa y la formación de costras (debido a la evaporación del agua de las capas exteriores). Se les da un tiempo de reposo de 10 minutos durante el cual se terminan de hidratar las proteínas y los demás ingredientes se incorporan aún más. Si el tiempo de reposo es menor a 10 minutos se tiene como consecuencia que la masa se encoge después del prensado, si se da un sobreposo se pierde humedad y se forman costras en los testales por lo que durante el troquelado se obtienen discos deformes. Al final del reposo los testales presentan una textura tersa y suave. ^(18, 47, 48)

e) Troquelado

En esta etapa se les da forma de tortillas a los testales. La formación de los discos de tortilla se pueden producir por medio de tres métodos: a) Presión con calentamiento, b) Laminado y c) Cortado con troquel.

A) Presión con calentamiento: En este método el testal reposado pasa a través de prensas que constan de dos placas, las cuales tienen diferente temperatura. De acuerdo a diversas investigaciones se ha encontrado que la apariencia y la simetría de las tortillas crudas mejora cuando la temperatura de las placas es diferente, generalmente se emplea una diferencia de temperaturas en las placas de 12 a 18 °C,

siendo la placa superior la de mayor temperatura (218°C la placa superior y 204°C la placa inferior a una presión de 80 Kg/cm²). Para este método se requiere que la masa tenga una humedad de 44 a 47 %. Con el calor de las placas se deshidratan ambas superficies del disco, causando que el almidón y el gluten se contraigan formando una superficie semicontinua a través de ambas superficies externas. Esta superficie "sellada" es importante en el desarrollo de la textura de la tortilla ya que permite que los discos se hinchen y expandan durante el horneado debido al vapor y la formulación del polvo de hornear resultando la típica textura y apariencia de la tortilla. Las superficies selladas de la tortilla no sellan herméticamente el gas, pero la estructura almidón/proteína esta suficientemente continua para retener el aire caliente y retardar la pérdida de humedad por un tiempo corto durante e inmediatamente después del horneado. El contenido de humedad de los testales disminuye aproximadamente del 1 a 2% durante el prensado.

De la producción total el 90% se produce por este método el cual no es el más eficiente pero las tortillas elaboradas por este método tienen lisura y suavidad deseable, retienen más su flexibilidad durante el almacenamiento, pero la forma tiene más variación que las que son cortadas con troquel. ^(45, 47)

B) Laminado: En él las piezas de masa reposada (con humedad de 40 a 44 % de humedad) pasa a través de rodillos laminadores que giran a igual velocidad y dirección. Finalmente son extendidas a mano para darle la forma y diámetro final. La participación de la gente en el extendido final de las tortillas hace que el proceso se haga discontinuo y lento. Las tortillas hechas por este método son generalmente grandes, delgadas sin embargo incrementa la labor requerida. ^(47, 48)

C) Cortado con troquel: Se subdivide en tres pasos. 1) extruido-laminado, 2) cortado, 3) reciado del material sobrante. En el primer paso se da un ligero amasado con un extrusor y se lamina la masa en capas de 3 a 4.8 mm que son espolvoreadas con harina; este laminado pasa debajo de un cilindro cortador que los corta en forma redonda y el sobrante (cerca del 5%) es reprocesado (se regresa al extrusor). Por este método se producen tortillas más uniformes. Este método es el más eficiente, tiene un menor costo por producto, pero las tortillas son menos lisas, menos suaves y pierden la flexibilidad más rápidamente que las elaboradas por presión con calentamiento. ^(47, 48, 49)

f) Cocimiento

Los discos producidos por cualquiera de los tres métodos anteriormente descritos son introducidas por medio de bandas al horno con 3 niveles. El cocimiento se lleva a cabo en tres pasos, cada uno con una duración de 8 segundos; la cantidad de calor administrado y el tiempo de horneado, son factores que determinan las características finales de la tortilla; las temperaturas para cada paso son 232 °C para el primer y tercer paso y 273 °C para el paso intermedio. Los discos de la tortilla tienen dos caras "A" y "B", en el primer paso la cara "B" queda en contacto con el comal del horno y la cara "A" se

expande por el vapor de agua y los gases fermentados que tratan de escapar, causando que la matriz del gluten se alargue y se incremente el espesor del disco o crezca la altura del disco hacia la cara "A". En el paso 2 la tortilla ha sido volteada en el horno y la cara opuesta se expande debido nuevamente al vapor, el lado "A" de la tortilla se colapsó por el peso de la misma cuando se volteó, la estructura del gluten se expandió pero no se deshidrató completamente; sin embargo debido a la rápida transferencia de calor através de todo el disco de la tortilla pequeñas células de gas se desarrollaron en el interior de la misma. En el paso 3 la tortilla se volteó en el horno una vez mas y el lado "A" quedó hacia arriba. Los cambios más característicos en el disco de la tortilla son el hinchamiento debido al vapor y los gases que fueron contenidos por la superficie semipermeable y formaron dos capas de miga con gas como un sándwich entre ellos. Generalmente el quemador del tercer paso está ligado al grado de inflado. Cada vez que la masa toca la superficie del horno, las burbujas de aire se están agrandando y /o coalescen para formar el área de inflado. Las burbujas de aire agrandadas desaparecen cuando la tortilla es volteada, las áreas translúcidas se encuentran en las regiones donde la masa no retuvo burbujas de aire expandidas formadas durante el cocimiento. (23, 44, 45, 46, 47, 50)

Con temperaturas bajas de horneado se limita la retrogradación del almidón que causa en gran parte el envejecimiento de los alimentos a base de cereal; sin embargo, se obtiene menor sabor y color además de que las tortillas son menos opacas; con temperaturas muy altas los discos se desgasifican dando como resultado que menos burbujas de gas sean retenidas en la masa a medida que entra al horno, reduciendo el potencial de polvo de hornear obteniéndose una tortilla translúcida y delgada incrementándose el pegado de las tortillas.

La temperatura del horno está en función del método de operación. En el método de laminado requiere 235°C durante 25 a 32 segundos y en el de cortado troquelado de 246°C durante 15 a 28 segundos. Durante el cocimiento los gránulos de almidón que se encuentran fuertemente unidos a la matriz de gluten experimentan cambios, alrededor de los 60 °C comienzan a hincharse y a gelatinizar, el almidón absorbe el agua disponible en la masa y simultáneamente el gluten se vuelve rígido. La desnaturalización de las proteínas de trigo en la masa comienza a los 70 °C y continua hasta finalizar la cocción, la matriz de gluten se transforma en una película semi-rígida, conteniendo los gránulos de almidón. Las tortillas pierden del 7 al 11% de humedad durante el cocimiento y su tamaño se reduce aproximadamente 1 cm esto último es debido posiblemente al carácter elástico de las proteínas del gluten. El contenido de humedad de la tortilla después del cocimiento esta en función del método con el que se elaboren los discos de la tortilla; para el método de presión con calentamiento se alcanza una humedad en la tortilla de 30-34% , de 25 a 28 % en el de laminado y de 25 a 26 % en el de cortado con troquel. Al salir del horno las tortillas salen con una temperatura de 95°C. Esta es la etapa final de la conversión de la masa de harina de trigo a tortilla. Mediante la acción del calor la masa insípida se convierte en un producto ligero, con olor y sabor agradables. (47, 48, 49, 50)

g) Enfriamiento

La tortilla cocida se enfría en mallas con el fin de atemperar la tortilla y evitar exudaciones durante el empaqueo ya que la condensación de agua en las bolsas de plástico contribuyen al desarrollo de hongos. Se enfrían a 20°C generalmente en transportadores con 7 ó nueve niveles y de 5 a 7 minutos.

Con el enfriamiento se provee la textura de la tortilla y se evita el pegado. Durante esta etapa se pierde alrededor del 2% de humedad de la tortilla. ^(47, 48, 49, 51)

h) Selección.

Una vez que las tortillas han adquirido la temperatura ambiente, son seleccionadas en base a su tamaño y forma y acomodadas para empaclarlas. Los sistemas de enfriamiento pueden ser transportadores de multiniveles (3 a 11 niveles). Las tortillas viajan a lo largo de transportadores superiores, entonces se dejan caer una debajo de la otra. ^(47, 49, 50)

i) Empaque

Se colocan 10 o 25 tortillas dentro de bolsas de polietileno (con espesor de 0.002 in. de polietileno) Para limitar la pérdida de humedad. ⁽⁴⁸⁾

j) Sellado

Las tortillas contenidas en bolsas de polietileno son selladas por medio de calor. Para evitar el posible desarrollo de microorganismos se debe tener cuidado en esta operación de no perforar la bolsa ni permitir que quede aire atrapado dentro de la bolsa para evitar problemas durante el estibado de las bolsas en los contenedores. ⁽⁴⁸⁾

II. OBJETIVOS

II. OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar el efecto de tres emulsificantes y tres polisacáridos en las propiedades reológicas de la masa y vida de anaquel de las tortillas de harina de trigo.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- 1.- Evaluar el efecto del empleo de emulsificantes y polisacáridos, así como la combinación de estos sobre las propiedades reológicas de la masa.**
- 2.- Determinar el efecto provocado por diferentes tipos y concentraciones de emulsificantes y polisacáridos en las características de flexibilidad y humedad de las tortillas de harina de trigo durante un almacenamiento de 18 días.**

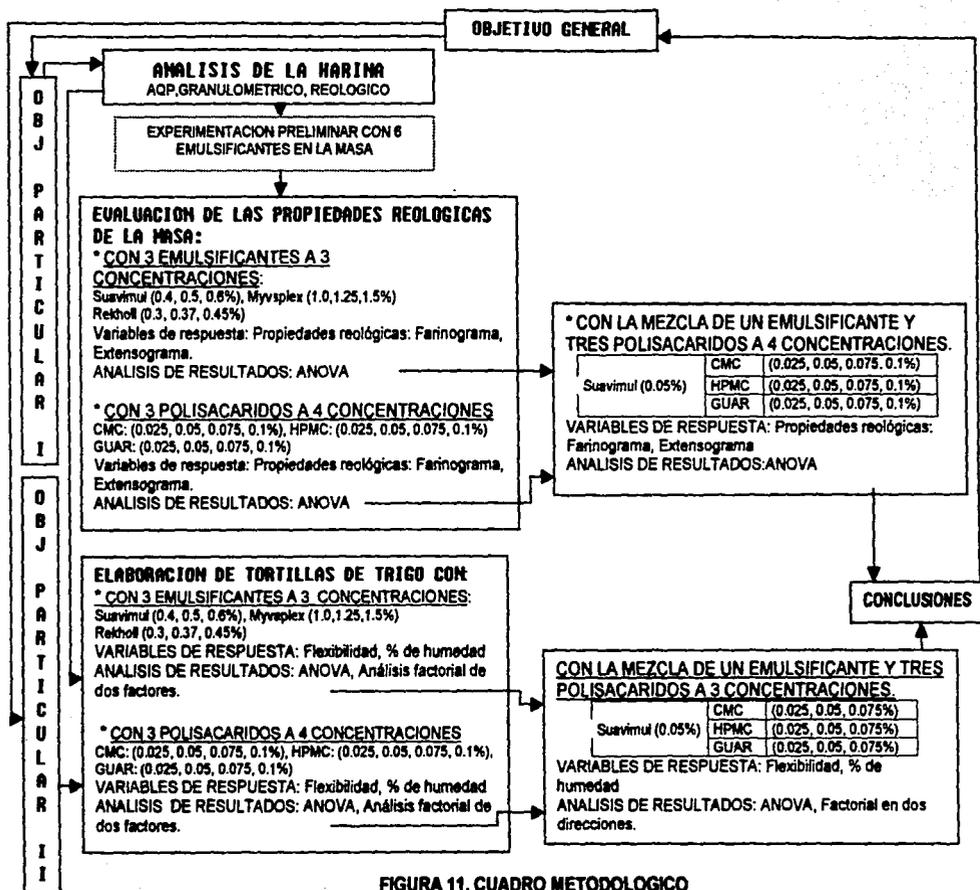


FIGURA 11. CUADRO METODOLÓGICO

III. METODOLOGIA

III METODOLOGIA

OBJETIVO PARTICULAR 1.

1.- La materia prima principal para la elaboración de las tortillas fué una harina de trigo obtenida en el Molino San José; los demás ingredientes (manteca vegetal, sal, polvo de hornear, etc) fueron de grado alimenticio y de tipo comercial. A la harina de trigo a utilizar se le realizó un análisis químico proximal (AQP) de acuerdo a el AACC (American Association of Cereal Chemistry) y se realizó un análisis granulométrico (método 50-10). Todos los análisis se realizaron por triplicado y se reporta el promedio.⁽⁵²⁾

ANALISIS	METODO
% Humedad	AACC 44-15
% Proteínas	AACC 46-12
% Cenizas	AACC 08-12
% de gluten húmedo	AACC 38-10

2.- A la harina a utilizar se le realizó un análisis reológico con los siguientes métodos:

EQUIPO	METODO
Farinógrafo	AACC 54-21
Extensógrafo	AACC 54-10

3.- Se realizó una experimentación preliminar con 6 emulsificantes a las concentraciones mínimas recomendadas por el proveedor (Tabla 5) con el fin de seleccionar 3 emulsificantes en base a la facilidad de manejo (algunos emulsificantes requieren temperatura de agua o aceite específicas y el orden de agregación es diferente) y a las características de color y sabor impartidas a las tortillas. Se elaboraron 5 tortillas con cada uno de los emulsificantes. Se realizó también una corrida sin la adición de ningún emulsificante la cual se tuvo como testigo.

Es importante hacer notar que todos los aditivos empleados durante toda la experimentación fueron adicionados en porcentaje base harina (b.h) es decir el total de la harina manejada representa el 100%.

TABLA 5: EMULSIFICANTES Y CONCENTRACIONES MINIMAS RECOMENDADAS EMPLEADAS EN LA EXPERIMENTACION PRELIMINAR.

EMULSIFICANTE	CONCENTRACION MINIMA RECOMENDADA (% b.h)	PROVEEDOR	TIPO
Myvaplex	1.00	PANIPLUS S.A. DE C.V.	Monocolesterolo de Glicerilo (No Iónico)
Suavimul	0.40	PANIPLUS S.A. DE C.V.	Estearil-2-Lactilato de Sodio (Iónico)
Rekholi	0.30	GARDHAL S.A.	(Iónico)
Lactipol	0.30	ARANCIA	Estearil-2-Lactilato de Sodio (Iónico)
Monogrol (A/M)	8.00	GARDHAL S.A.	Mono-Esterato de glicerilo (No Iónico)
Glicepol 160	2.50	ARANCIA	Monocolesterolo de glicerilo (No Iónico)

4.- Con los 3 emulsificantes seleccionados (Myvaplex, Suavimul y Rekholi) se evaluaron las propiedades reológicas de la masa a tres concentraciones en el Farinógrafo y en el Extensógrafo. Tabla 6. Para esto a la harina se le agregaron los ingredientes empleados en la elaboración de la tortilla (agua, manteca, sal, polvo de hornear y conservadores). En este paso también se contó con una muestra testigo a la cual, no se le adicionó ningún emulsificante pero si los demás ingredientes.

TABLA 6. EMULSIFICANTES Y CONCENTRACIONES EMPLEADAS EN LA ELABORACION DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.

EMULSIFICANTE	CONCENTRACION (% b.h.)
Suavimul	0.40, 0.50, 0.60
Myvaplex	1.00, 1.25, 1.50
Rekholl	0.30, 0.37, 0.45

b.h= base harina

Durante esta actividad se tuvieron como variables de respuesta:

- en el Farinógrafo: % de absorción de agua, tiempo de llegada, desarrollo máximo y estabilidad.
- en el Extensógrafo: la tenacidad, la extensibilidad y el área bajo la curva.

5.- Se hicieron tres repeticiones y se reporta el promedio de ellas.

6.- A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% con el fin de conocer si existía diferencia entre los tratamientos, este análisis se llevó a cabo con el programa para computadora MSTAT 98.

Con base a los resultados se compararon los emulsificantes y las concentraciones empleadas y se seleccionó un emulsificante a una concentración (Suavimul a 0.5%).

7.- Para evaluar las propiedades reológicas de la masa con polisacáridos: se experimentó con tres polisacáridos (CMC, HPMC y GUAR) a 4 concentraciones cada uno (0.025, 0.050, 0.075 y 0.1% base harina) siguiendo los mismos pasos (del 4 al 6) que cuando se trabajó con emulsificantes. El proveedor de los polisacáridos fue la empresa HERCULES S.A.

8.- El emulsificante y la concentración seleccionada en el paso 6 (Suavimul 0.5% b.h) se mezcló con los 3 polisacáridos a 3 concentraciones y se siguió el procedimiento de los pasos 4 al 5. Tabla 7.

TABLA 7: EMULSIFICANTE-POLISACARIDO Y CONCENTRACIONES EMPLEADAS EN LA ELABORACION DE TORTILLAS.

Suavimul (0.05%)	CMC	(0.025, 0.05, 0.075%)
	HPMC	(0.025, 0.05, 0.075%)
	GUAR	(0.025, 0.05, 0.075%)

OBJETIVO PARTICULAR 2.

1.- Se elaboraron tortillas de harina de trigo con tres emulsificantes (Suavimul, Myvaplex y Rekholl) a las mismas concentraciones empleadas en el paso 4 del objetivo particular 1 (Tabla 5). Para la elaboración de las tortillas se modificó el método de Presión con calentamiento descrito en el apartado 1.9.1 de la página 25; la diferencia consistió en: la cantidad de masa que se elaboró (1 Kg), la etapa de amasado se realizó en una amasadora con capacidad de 2 Kg marca Hobart y el boleado se realizó manualmente. La máquina tortilladora que se empleó para la elaboración de las tortillas fue Marca Herrera modelo 25365. Para cada emulsificante y concentración manejada se elaboraron 10 tortillas las cuales se empacaron en bolsas de polietileno; a cada bolsa se le puso una pesa de 1 kilogramo con el fin de simular las condiciones que se tienen durante el almacenamiento y/o transporte, y se almacenaron durante 18 días a temperatura ambiente, registrándose la humedad y flexibilidad de las tortillas durante los días 0, 2, 7, 11, 15 y 18.

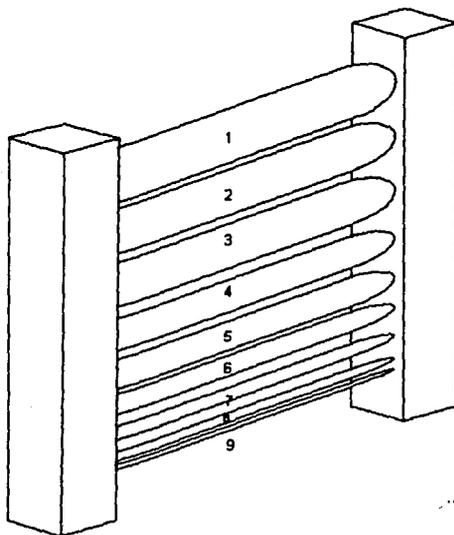
2.- Se determinó el contenido de humedad de las tortillas elaboradas por medio del método directo en una estufa a presión atmosférica.

3.- Se determinó la flexibilidad de la tortilla, para esto se enrolló en nueve cilindros de diferentes diámetros, numerados del uno al nueve, correspondiéndole el número nueve al del diámetro menor y el uno al del diámetro mayor. Anotándose el número de rodillo en que la tortilla se rompía ya sea de los extremos o del centro. Figura 12.

TABLA 8. DIAMETRO DE RODILLOS Y ESCALA PARA MEDIR LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS

DIAMETRO DEL RODILLO (mm)	NUMERO DE RODILLO
30	1
27	2
24	3
21	4
15	5
12	6
8	7
5	8
3	9

FIGURA 12. RODILLOS EMPLEADOS PARA MEDIR LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS.



4.- Se elaboraron tortillas con las mismas concentraciones y polisacáridos empleados en los pasos 7 y 8 del objetivo particular 1, al producto obtenido se les determinó la humedad y flexibilidad los días establecidos de la forma descrita anteriormente.

5.- Los datos de la pérdida de humedad con respecto al tiempo, fueron ajustados mediante mínimos cuadrados a la ecuación de una recta, siempre y cuando los coeficientes de correlación fueran superiores a 0.9 de tal manera que la pendiente de la ecuación sirvió como indicador de la velocidad de pérdida de humedad ó de flexibilidad; ambas respuestas fueron utilizadas en un análisis de varianza de dos factores (aditivo, concentración) realizado con ayuda de un programa estadística para computadora MSTAT con el que se calcularon las probabilidades (P) 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.⁽⁵³⁾

6.- Finalmente se realizó un análisis de componentes principales con el fin de detectar la existencia de ciertos patrones subyacentes en los datos de manera que éstos puedan ser reagrupados en un conjunto menor de factores, así como encontrar como se asociaban las propiedades reológicas de la masa (Tenacidad y Extensibilidad) con la velocidad de pérdida de la humedad y flexibilidad de las tortillas.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una técnica matemática cuyo objetivo es el descubrimiento de las dimensiones de variabilidad común existentes en un campo de fenómenos. Cada una de estas dimensiones de variabilidad común recibe el nombre de factor; es decir si se tiene un conjunto de fenómenos y cada fenómeno varía independientemente de los demás, entonces habrá tantas dimensiones de variación como fenómenos. Por el contrario, si hay cierta dependencia entre los fenómenos entonces habrá menos dimensiones de variación que fenómenos. Para realizar el Análisis de Componentes Principales se utilizó una matriz de 5X5 variables: concentración de aditivo, velocidad de pérdida de humedad y flexibilidad de la tortilla, extensibilidad y tenacidad de la masa. Los resultados se sintetizan en una tabla, la cual nos informa tanto sobre el número de factores como de la magnitud de la carga o saturación de cada variable en cada uno de los factores iniciales. La carga varía de -1 a +1 y se interpreta de la misma manera que un coeficiente de correlación.⁽⁵⁴⁾

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 ANALISIS DE LA HARINA DE TRIGO.

En la Tabla 9 se encuentran registrados los resultados del análisis químico de la harina. Desafortunadamente la Norma Oficial Mexicana (NOM-F-7-1982) ⁽²⁶⁾, no especifica las propiedades que debe reunir una harina para elaborar tortillas de harina de trigo. Tabla 10. Sin embargo comparando el porcentaje de humedad obtenido con lo establecido por la NOM para cualquier tipo de harina el valor de 13.9 está dentro de lo especificado.

TABLA 9. ANALISIS QUIMICO DE LA HARINA DE TRIGO.

ANALISIS	PORCENTAJE	DESVIACION STD.	COEFICIENTE VARIACION
Humedad	13.9	0.13	0.94
Proteína (Nx5.7)	10.5	0.39	3.7
Gluten húmedo	30.0	0.23	0.76
Cenizas	0.5	0.04	6.0

TABLA 10

ESPECIFICACIONES DE LA HARINA SEGUN LA NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM-F-7-1982)

ESPECIFICACIONES	GRADO I (PANIFICACION)	GRADO II (GALLETAS)	GRADO III (PASTAS)
Humedad % máx	14	14	14
Proteínas (Nx5.7) mín.	9.5	9.0	9.0
Cenizas %	0.55 máx	0.4-1.0	0.6 máx
Gluten Húmedo % mín	31.3	29.7	29.7

Fuente: NOM-F-7-1982, Harina de Trigo

En cuanto al porcentaje de proteínas, la NOM fija un valor de 9.0% mínimo y el de la harina experimental fue de 10.5% por lo que la harina podría pertenecer cualquiera de los tres grupos, lo mismo ocurre con el porcentaje de cenizas y el gluten húmedo. Sin embargo investigaciones realizadas por Waniska (1999) y V. Daily (1999), reportaron que el método por el cual se realiza el troquelado de las tortillas es determinante en el porcentaje que se requiere de proteínas en la harina, así para los procesos de troquelado por cortado y laminado se requieren contenidos de proteína mayores de 11.5% en los

cuales la masa es sometida a mayor esfuerzo, en cambio, las elaboradas por el método de presión con calentamiento se requieren harinas con 10.2 a 11.5 % de proteína porque la masa es sometida a un menor trabajo mecánico.^(23, 40) Por otro lado Suhendro y col. (1993) encontraron que contenidos menores a 10.2 % de proteína disminuía el tiempo en que se mantenía la flexibilidad de las tortillas debido a que hay menor porcentaje de gluten el cual es la estructura básica de la tortilla.⁽⁵⁾ Tomando en cuenta lo anterior y que el método empleado para el troquelado de las tortillas fue el de presión con calentamiento el porcentaje de 10.5 está dentro de los valores requeridos para la elaboración de tortillas de harina de trigo.

Con respecto al porcentaje de cenizas en la harina fue de 0.5%, de acuerdo a estudios realizados por Friend C. P y col. en 1992 determinaron que porcentajes mayores pueden interrumpir la continuidad de la matriz de gluten, la cual es la responsable de la estructura y estabilidad de la masa, si estos porcentajes son muy altos implicará que el contenido de salvado en la harina es alto y la harina podría oscurecerse repercutiendo así en el color de las tortillas.⁽⁵⁰⁾ En cuanto al gluten húmedo estudios realizados por Waniska en 1999 solo mencionan que las harinas con 10% de proteína contenían 32% de gluten húmedo, la diferencia con el 30% obtenido experimentalmente pudo ser debido a la sensibilidad del equipo que manejaron en dicha investigación y el método empleado para la obtención del gluten.⁽⁴⁰⁾

En la Tabla 11 se encuentra el análisis granulométrico de la harina, se puede observar que en el tamiz 80 U.S.B.S no quedó retenido nada de la harina y la suma de los porcentajes retenidos en los tamices 100 y 120 es de 13.3 %. Linfeng Wang en 1999 determinó que la harina utilizada en la elaboración de tortillas no debe retener nada en la malla 80 U.S.B.S y la suma de los tamices 100 y 120 no debe ser mayor al 14 %. Si los porcentajes retenidos en los tamices es mayor se tendrá como consecuencia que la harina se hidrate con menor rapidez que una harina con las características antes mencionadas por lo tanto se incrementa el tiempo de mezclado así como también se requiere mayor tiempo para desarrollar el gluten.^(22, 57) En cuanto a la NOM, esta no establece las especificaciones granulométricas que debe reunir la harina utilizada para elaborar las tortillas. Tabla 12

TABLA 11. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA HARINA DE TRIGO

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO
80	0.0
100	7.4
120	5.9
+120	86.7

TABLA 12. GRANULOMETRIA DE LAS HARINAS SEGUN LA NOM-F-7-1982

% RETENIDO GRADO I (PANIFICACION)	% RETENIDO GRADO II (GALLETAS)	% RETENIDO GRADO III (PASTAS)
Sin retención en el tamiz 80 U.S.B.S y 10% máx en el 120 U.S.B.S	En función al tipo de galleta.	73% mínimo en las fracciones de dos tamices (50 y 100 U.S.B.S)

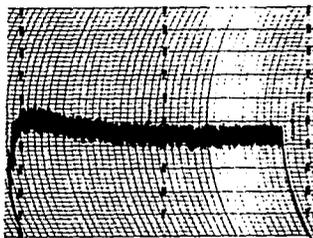
La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos del análisis reológico que se le practicó a la harina de trigo.

TABLA 13. PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA HARINA DE TRIGO.

GRAFICA	ANALISIS	VALOR
FARINOGRAMA	Absorción de agua (%)	50
	Tiempo de llegada (min)	1.4
	Tiempo de Desarrollo (min)	3.0
	Estabilidad (min)	6.4
EXTENSOGRAMA	Tenacidad (U.E)	450
	Extensibilidad (mm)	170
	Area (cm ²)	118

U.E= Unidades extensográficas

De acuerdo con estos resultados se requiere un 50% de agua para que la curva en el farinograma se centre en las 500 U.B, el tiempo requerido para hidratarse la harina es de 1.4 min, el tiempo de mezclado es de 3.0 min, mientras que la máxima consistencia de la masa se tiene durante 6.4 después del cual empieza a decaer. Figura 13

FIGURA 13. FARINOGRAMA DE LA HARINA EMPLEADA COMO MATERIA PRIMA.

Con respecto al extensograma la masa opone una resistencia a la tensión (tenacidad) de 450 U.E y tiene una capacidad de distensión o estiramiento (extensibilidad) de 170 mm y para lograr esto se requiere de una energía de 118 (área bajo la curva). Según comentarios realizados por Waniska (1999), las masas para elaborar una tortilla de harina de trigo deben de ser más extensibles que tenaces ya que durante el proceso hay poco trabajo mecánico además se busca que la masa extienda lo más posible sin encogerse después de ser troquelada,⁽⁴⁶⁾ sin embargo no hay información publicada de los valores específicos de tenacidad y extensibilidad que debe reunir una harina para la elaboración de tortillas; en México cada empresa que se dedica a la elaboración de este producto tiene sus parámetros internos, pero se sabe por experiencia que la extensibilidad no debe ser menor a 165mm y la tenacidad no mayor de 450 U.E por lo que las características de la harina empleada como materia prima durante esta experimentación está dentro de estos valores.

De la experimentación preliminar en la cual se emplearon seis emulsificantes: Suavimul, Myvaplex, Rekholl, Monogrol A/M, Glicepol 160 y Lactipol. Los tres últimos fueron descartados por las siguientes razones:

- Glicepol: La masa y las tortillas obtenidas con el empleo de este emulsificante tenían un color amarillo muy notorio.
- Monogrol A/M: Para su uso requiere dispersar el emulsificante en agua con una temperatura de 54 °C, y aún así es sumamente difícil de dispersar y durante el amasado se debe mantener una temperatura no menor de 45 °C; cumplir con estas condiciones de operación aumenta mucho el costo de producción.
- Lactipol: La masa obtenida era muy reseca lo que provocaba formación de costras en los testales y que la tortilla saliera deforme y con un aspecto reseco. Las tortillas se rompían fácilmente en el segundo día de almacenamiento. Además su costo era el 50% más que el de los otros tensoactivos.

En la Tabla 14 están los resultados obtenidos de los análisis reológicos de la harina con la adición de los ingredientes para elaborar las tortillas (agua, manteca, sal, polvo de hornear y conservadores).

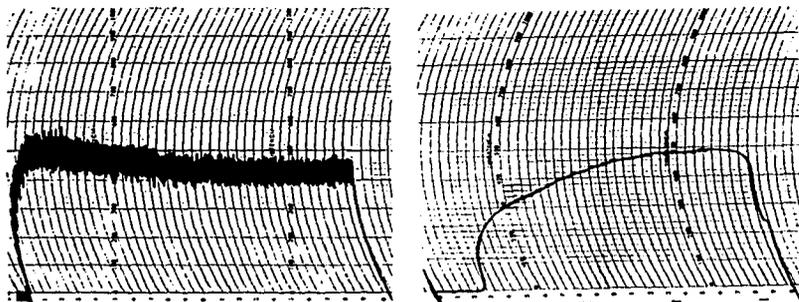
TABLA 14. PROPIEDADES REOLOGICAS DEL HARINA CON TODOS LOS INGREDIENTES (EXCEPTO LOS EMULSIFICANTES) PARA LA ELABORACION DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.

GRAFICA	ANALISIS	VALOR
FARINOGRAMA	Absorción de agua (%)	48.5
	Tiempo de llegada (min)	1.7
	Tiempo de Desarrollo (min)	4.3
	Estabilidad (min)	7.6
EXTENSOGRAMA	Tenacidad (U.E)	500
	Extensibilidad (mm)	174.5
	Area (cm ²)	136.8

Al adicionar todos los ingredientes de la formulación para la elaboración de tortillas la absorción de agua disminuyó, y aumentó el tiempo de llegada, de desarrollo y la estabilidad. Figura 14. Estudios realizados por Shuey en 1972 y por Bello en 1991 concuerdan con estos resultados y explican que son debidos probablemente a que la grasa disminuyó la capacidad de ligar agua por el gluten, además la sal actúa principalmente sobre la formación del gluten, ya que la gliadina uno de sus componentes, tiene menor solubilidad en el agua con sal, lo que da lugar a mayor cantidad de gluten formado. El gluten formado tiene fibras cortas como consecuencia de las fuerzas de atracción electrostáticas que ocurren en la malla formada con la sal, confiriendo a la masa mayor estabilidad durante el mezclado. (14, 47)

Los resultados del extensograma también aumentaron sobre todo la tenacidad de 450 aumentó a 500, Figura 14. Waniska y col. (1999) reportaron que con concentraciones de sal hasta del 2.0% la tenacidad de la harina aumenta y la masa se puede manejar mejor ya que no se adhiere a las superficies.⁽⁴⁰⁾ La masa experimental con todos los ingredientes fue más suave y tersa al tacto que la que no los poseía.

FIGURA 14. FARINOGRAMA Y EXTENSOGRAMA DEL HARINA CON TODOS LOS INGREDIENTES (EXCEPTO EMULSIFICANTES) PARA LA ELABORACION DE TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO.



4.2 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA.

En la Tabla 15 están los resultados de las propiedades reológicas de la masa elaboradas con los tres emulsificantes a las tres concentraciones con que se experimentó; en este caso también se incluyeron los demás ingredientes.

TABLA 15. PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA USANDO TRES EMULSIFICANTES A TRES CONCENTRACIONES.

EMULSIFICANTE	SUAVIMUL			MYVAPLEX			REKHOLL			TESTIGO
	0.4	0.5	0.6	1.0	1.25	1.5	0.3	0.37	0.45	
PORCENTAJE	48.6	48.6	48.7	48.6	48.7	48.7	48.6	48.7	48.7	48.5
TIEMPO DE LLEGADA (min)	1.2	0.9	1.1	1.1	1.3	1.5	1.0	1.4	1.6	1.7
TIEMPO DE DESARROLLO (min)	5.4	5.0	5.9	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	5.6	4.3
ESTABILIDAD (min)	14.5	14.2	15	11	11.2	11.5	15.5	16.0	16.4	7.6
EXTENSIBILIDAD (U.E)	185.5	181	174	171	174	169.0	173	171	150	174.5
TENACIDAD (U.E)	700	675	710	625	630	827.5	800	840	830	500
AREA (cm ²)	190.4	174	173	151	161	194.5	233.2	270	284.5	136.8

b.h= base harina

U.E = Unidades Extensográficas.

Las masas más extensibles se obtuvieron con el Suavimul a la concentración de 0.4 y 0.5% con un valor de 185.5 y 181 mm respectivamente; comparando las concentraciones de este emulsificante la concentración de 0.5% fué la que registró menor tenacidad, el menor tiempo de llegada y desarrollo, esto traería como consecuencia en caso de aplicaciones posteriores de este emulsificante que se tendría que dar menor tiempo de amasado para obtener las condiciones óptimas del gluten y la masa soportaría mayor abuso mecánico (sobreamasado) ya que su estabilidad es casi el doble que el testigo (7.6 min). Esta masa fue más tenaz que el testigo (675 contra 500 U.E) por lo que requirió aumentar la presión a 81.5 Kg/cm² durante la etapa de troquelado. Figura 15

En el caso del Myvaplex la concentración de 1.25 % fue la que dió la mayor extensibilidad (174 mm) y la menos tenaz (630 U.E), estos valores fueron menores que los alcanzados por el Suavimul a 0.5% y mayores a los del testigo. Las masas obtenidas con este emulsificante fueron muy suaves al tacto y los discos crudos de tortilla obtenidos durante el troquelado eran muy deformes. En el Rekholl a todas las concentraciones proporcionó mayores tiempo de llegada, desarrollo y estabilidad que los demás

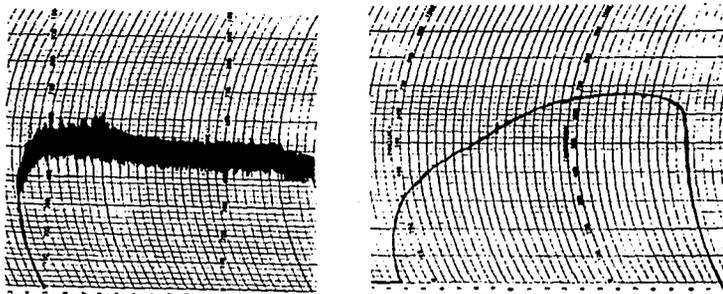
TEJES CON
FALLA DE ORIGEN

emulsificantes, tuvo las menores extensibilidades, las mayores tenacidades y áreas bajo la curva, debido a esto se requirió aumentar mucho las presiones de las placas a 85 Kg/cm^2 durante la etapa del troquelado y la masa se encogió después de dicha operación. Las masas elaboradas con este emulsificante tenían un aspecto reseco y se agrietaban fácilmente.

En general se observa que con el empleo de los emulsificantes la absorción de agua se modificó ligeramente, de acuerdo al análisis estadístico (ANOVA) con un 95% de confianza indicó que no hay diferencia significativa entre la absorción de agua y los diferentes emulsificantes a diferentes concentraciones, pero si hay efectos significativos de los tipos de emulsificante y las concentraciones empleadas en las demás propiedades reológicas de la masa ya que las F calculadas fueron mayores que las F de tablas.

Los tiempos de llegada disminuyeron es decir, se requiere menor tiempo para que se alcance una consistencia de 500 U.B esto concuerda con estudios realizados por Apolonia y col (1972) quienes argumentan que esto se debe a que los emulsificantes ayudan a integrarse con mayor facilidad a las grasas y al agua contenida en la formulación de la masa. ⁽⁴⁵⁾ La estabilidad y tiempo de desarrollo fueron mayores, debido al aumento de este último parámetro se requeriría mayor energía para que la masa tenga la óptima consistencia, por lo tanto el costo aumentaría.

FIGURA 15. FARINOGRAMA Y EXTENSÓGRAMA DE LA MASA CON SUAVIMUL (0.5%)



En cuanto a la tenacidad se observa que para todos los emulsificantes a todas las concentraciones aumentó este parámetro, esto concuerda con investigaciones realizadas por Ghiasik (1982) y Belitx (1986) en las que explican el aumento de la tenacidad como resultado de la interacción de los emulsificantes con las gluteninas que son las responsables de desarrollar esta propiedad en la masa. La variación de la tenacidad se ve influida por el tipo de emulsificante empleado, los emulsificantes iónicos como el estearoil lactilato de sodio (SSL) interaccionan más con las proteínas debido a que son más reactivos que los no iónicos, esto explicaría porque las tenacidades alcanzadas por el Suavimul y Rekholl fueron mayores que las obtenidas con el Myvaplex puesto que los dos primeros son del tipo iónico y el tercero es no iónico.^(9, 17, 18) Existen varias teorías que explican la interacción que se produce entre los emulsionantes y la proteína de la harina de trigo, dichas teorías se han investigado mucho menos que la interacción de los emulsionantes con el almidón. Entre las diversas teorías que explican el efecto reforzador de la masa producido por los emulsificantes, se puede destacar la que mantiene que estos productos proporcionan un buen efecto de reforzamiento a la masa, ya que tienen la capacidad de formar películas acuosas con la estructura laminar en la interfase entre las fibras del gluten y el almidón, manteniendo a la vez un enlace específico con el gluten.^(9, 29) Con esto se logra una mayor tolerancia al abuso mecánico.⁽³³⁾ Tal vez por esto al aumentar la concentración de los emulsificantes la extensibilidad disminuyó puesto que el efecto reforzador aumentó.

Krog (1981) y Knightly (1988) sugieren que los tensoactivos pueden actuar como reforzadores de masa de dos maneras: a) mediante la interacción de las moléculas de tensoactivo con las proteínas del gluten a través de enlaces hidrofóbicos y/o hidrofílicos (enlaces electrostáticos o puentes de hidrógeno), b) mediante la interacción directa de los tensoactivos con la fase acuosa de la masa formando estructuras lípido-agua que se asocian a los lípidos polares libres de la harina. Los tensoactivos empleados para este propósito son principalmente compuestos de tipo iónico, tales como el estearoil-2-lactilato de sodio que es el caso del Suavimul.^(31, 33) En cambio los efectos causados por los tensoactivos no iónicos (Myvaplex) son por la formación de enlaces con el nitrógeno amida de las proteínas del gluten, produciendo una agregación de proteína que es estabilizada por la formación de una red intermolecular formada por puentes de hidrógeno.^(31, 39) Otras investigaciones realizadas en pan que han estudiado la interacción de proteínas-tensoactivos midiendo una parte de la distribución de los lípidos libres y combinados concluyendo que los tensoactivos reemplazan a los lípidos que se encuentran asociados en forma natural con el gluten formando con estos enlaces más fuertes.⁽⁹⁾

Resumiendo los emulsificantes empleados actuaron como reforzadores de la masa al interaccionar con las proteínas del gluten con lo que las masas se volvieron más tenaces, el Suavimul a la concentración de 0.5% fue el que afectó en menor medida la tenacidad y la extensibilidad (181 mm, y 675 U.E respectivamente) sus masas fueron más suaves, tersas y al momento de troquelarse los discos crudos de tortilla tuvieron una forma circular homogénea. Considerando lo anterior la masa elaborada con este tensoactivo a esta concentración es la que más se ajusta a los requisitos que debe reunir la masa

para la elaboración de tortillas aunque debe tomarse en cuenta que durante el proceso se tendrán que elevar las condiciones de presión durante el troquelado a 81.5 Kg/cm² y se requerirá aumentar el tiempo para que la masa tenga óptima consistencia de 4.3 min (testigo) a 5.0 min lo cual elevaría el costo de producción de la tortilla.

4.3 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA

En la Tabla 16 se encuentran los resultados de las pruebas reológicas de las masas con polisacáridos.

TABLA 16. PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA USANDO POLISACARIDOS A TRES CONCENTRACIONES.

POLISACARIDO CONCENTRACION (% b.h)	GUAR				CMC				HPMC				TESTIGO
	0.025	0.05	0.075	0.1	0.025	0.05	0.075	0.1	0.025	0.05	0.075	0.1	
Absorción (%)	49.0	49.5	49.7	49.9	50	50.3	50.6	50.8	50.2	50.5	50.8	51	48.5
Tiempo de llegada (min)	1.6	1.5	1.3	1.2	1.7	1.7	1.5	1.4	1.7	1.5	1.4	1.3	1.7
Tiempo de desarrollo (min)	4.2	4.2	4.1	4.0	4.3	4.3	4.1	4.0	4.3	4.3	4.1	3.9	4.3
Estabilidad (min)	17.2	17.5	17.8	18.0	17.0	17.3	17.5	17.6	17.1	17.3	17.6	17.8	7.6
Extensibilidad (mm)	164	163.5	167.5	131	179	164.5	163.5	164	166	165	170.5	171	174.5
Tenacidad (U.E)	647.5	697.5	737.5	930	695	735	640	641	680	615	645	647	500
Área bajo la curva (cm ²)	147.4	185.3	174	190	172.7	171.5	145.4	147.9	158.5	143.9	165	168.2	136.8

b.h= base harina

En el caso de los polisacáridos todos estos compuestos a sus diferentes concentraciones tuvieron mayor absorción de agua que el testigo y que cuando se emplearon los emulsificantes, las absorciones más altas le correspondieron a la CMC y a la HPMC (50.8 y 51%) a la concentración de 0.1%; estudios realizados por Friend y col. (1993) explican que estas modificaciones se debieron a las propiedades hidrofílicas de los polisacáridos ya que estas moléculas tienen gran capacidad para retener agua, formando partículas altamente hidratadas, esto es consecuencia de la facilidad que tienen para interactuar con moléculas de agua a través de puentes de hidrógeno. La capacidad de captar agua en mayor o menor proporción depende del peso molecular del polisacárido, la concentración, y del tipo de sustituyentes, así como de las interacciones con otros constituyentes.^(6, 10, 27) Los tiempos de llegada fueron iguales o menores que los registrados por el testigo, teniendo menores tiempos conforme se incrementaba la concentración de polisacárido, esto podría deberse a que los polisacáridos al absorber mayor cantidad de agua conforme se aumentaba la concentración incrementaban la viscosidad por lo que para alcanzar la consistencia de 500 U.B se requería menor tiempo. Con el empleo de los

**TESIS CON
FALSA DE ORIGEN**

polisacáridos la estabilidad de la masa se elevó a casi el doble de tiempo, siendo la goma Guar a 0.1% la que alcanzó la mayor estabilidad (18 min). En cuanto a la extensibilidad de la masa, esta fue menor que las alcanzadas por los emulsificantes y el testigo excepto para la concentración de 0.025% de CMC (179 mm). La tenacidad de las masas al igual que el área bajo la curva aumentaron para todos los casos, siendo las concentraciones de 0.075% de la CMC y HPMC a las concentraciones de 0.05 y 0.075 % las que fueron menos tenaces (640, 615 y 645 U.E). Cawley (1964) y Friend (1993) explican que esto se debe a que existe un efecto sinérgico entre el polisacárido y el gluten, con lo que se refuerza este complejo proteínico dando como resultado tiempos de estabilidad mayores y que se incremente la tenacidad; el mecanismo por el cual se produce dicho sinergismo aún no está claro. De acuerdo al ANOVA con un 95 % de confianza se concluyó que no hay diferencia entre los polisacáridos empleados en la estabilidad de la masa pero si existe diferencia entre las concentraciones utilizadas; para el caso de las demás propiedades reológicas se encontró que hay diferencia significativa entre los polisacáridos y las concentraciones empleadas.

Comparando la goma Guar a las diferentes concentraciones empleadas, la concentración de 0.075% fué la más extensible (167.5 mm) pero una de las más tenaces (737.5), conforme se aumentó la concentración la extensibilidad disminuyó y hubo un aumento en la tenacidad. En el caso de la CMC la concentración de 0.075% alcanzó una extensibilidad de 163.5 mm tuvo menor tenacidad 640 U.E. Figura 16. Mientras que para la HPMC la concentración de 0.05% tuvo la menor tenacidad y extensibilidad (615 y 165), en cambio este mismo polisacárido a la concentración de 0.075 % registró una extensibilidad de 170.5 mm y una tenacidad de 645 U.E.(Figura 17) Es importante hacer notar que entre las concentraciones de 0.075 y 0.1% tanto la tenacidad como la extensibilidad no fueron muy diferentes.

FIGURA 16. FARINOGRAMA Y EXTENSOGRAMA DE LA MASA CON CMC 0.075%

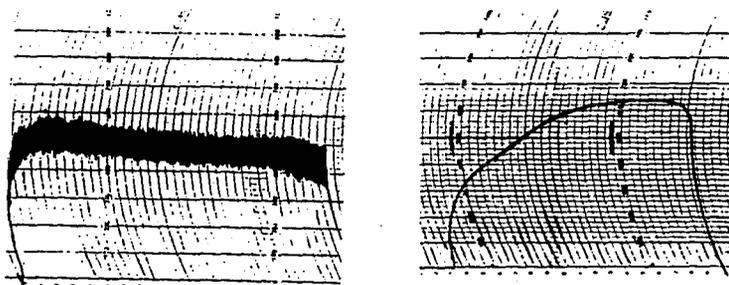
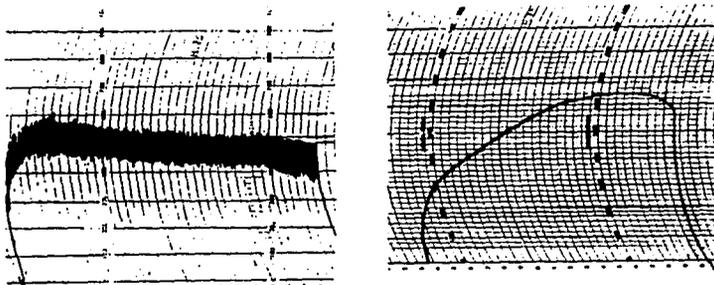


FIGURA 17. FARINOGRAMA Y EXTENSOGRAMA DE LA MASA CON HPMC 0.075%



Por otro lado, la goma Guar a cualquier concentración impartió las peores características a la masa, las cuales fueron resacas, perdieron fácilmente la humedad y los testales se resacaron mucho en las superficies, fueron pegajosas sobre todo a la concentración de 0.075 y 0.1%, duras, difíciles de manejar, de moldear, muy elásticas y poco extensibles por lo que se tuvo que aumentar la presión durante el troquelado a 83 Kg/cm², mientras que las elaboradas con CMC (0.075%) y HPMC (0.075%) fueron suaves, fáciles de moldear y mantuvieron más la humedad (para todas las concentraciones de CMC y HPMC se mantuvo la presión de 81.5 Kg/cm²). Esto podría deberse a que la CMC y HPMC se utilizaron a muy bajas concentraciones y por ende proporcionaron bajas viscosidades mejorando el desarrollo del gluten por el efecto sinérgico que se mencionó anteriormente que tienen los polisacáridos con el gluten. En cambio la goma Guar aún a bajas concentraciones proporciona altas viscosidades por lo que tuvo gran afinidad por el agua compitiendo por ella con las proteínas con lo que no permitió que se desarrollara el gluten y como consecuencia se obtenga una masa con malas características.

Los resultados obtenidos concuerdan con un estudio realizado por Friend y col. en 1993 en el cual adicionaron varios polisacáridos a la harina con la que se elaboraba la masa para tortillas de harina de trigo, encontró que el manejo de la masa se afectaba por el tipo y cantidad de goma adicionada. La masa con goma Guar, Arábigo 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 gomas

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 la CMC y HPMC tenían un buen manejo en comparación con las de gomas Guar, Xantana y Arábica.⁽⁶⁾

Resumiendo las masas con CMC y HPMC a la concentración de 0.075% fueron las que proporcionaron las mejores características reológicas de extensibilidad (163.5 mm y 170.5 mm respectivamente) aunque fueron menores que las del testigo (174.5), a estas concentraciones se obtuvieron tenacidades de 640 y 645 U.E respectivamente, sin embargo estos valores fueron mayores que los del testigo (500 U.E); debido al aumento de la tenacidad también se tuvo que elevar la presión de las placas durante el troqueleado a 81.5 Kg/cm². En general los polisacáridos afectaron en menor medida la tenacidad de las masas que los emulsificantes, es importante notar que a diferencia de cuando se emplearon los emulsificantes, no se aumentaron los tiempos de llegada ni de desarrollo por lo cual el costo para obtener una masa con la consistencia similar a la testigo sólo se elevaría por el precio del polisacárido.

4.4 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LAS PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA

En la Tabla 17 se encuentran los resultados de las pruebas reológicas de la masa cuando se emplearon mezclas del emulsificante Suavimul a 0.5% con tres polisacáridos (goma Guar, CMC y HPMC) a cuatro concentraciones (0.025, 0.05, 0.075 y 0.1%); en ella se aprecia que las absorciones de agua obtenidas de las mezclas de emulsificante-polisacárido, fueron mayores que el testigo y que las registradas cuando se empleó solo el emulsificante Suavimul a 0.5%, pero no muy diferentes a cuando se emplearon únicamente los polisacáridos; siendo las mezclas de Suavimul-CMC y Suavimul-HPMC a la concentración de 0.1% las que registraron las mayores absorciones de agua (50.8 y 50.9 respectivamente), esto se debe posiblemente al tipo de sustituyentes que tiene estos polisacáridos, en la CMC hay un metilo y en la HPMC hay además de este sustituyente un hidroxipropil lo que trae como consecuencia que tengan mayor afinidad por el agua.^(10,44) Los tiempos de llegada y desarrollo tendieron a parecerse a las reportadas por los polisacáridos, esto no era lo esperado ya que se pensaba que al usar la mezcla de polisacáridos y emulsificante los tiempos serían menores que cuando se emplearon por separado los emulsificantes y los polisacáridos, posiblemente este comportamiento se deba a que el proceso de hidratación de los polisacáridos así como de las proteínas del gluten contenidos en la harina no es instantáneo, también pudo deberse a que se tenía una consistencia prefijada de 500 U.B por lo que los polisacáridos no lograban hidratarse totalmente.

TABLA 17

PROPIEDADES REOLOGICAS DE LA MASA USANDO MEZCLAS DE TENSOACTIVO-POLISACARIDO.

TENSO- ACTIVO	POLISA- CARIDO	PORCEN- TAJE (b.h.)	ABSOR- CION (%)	TIEMPO LLEGADA (min)	TIEMPO DESARROLLO (min)	ESTABILIDAD (min)	EXTENSIBILIDAD (mm)	TENACIDAD (U.E)	AREA BAJO CURVA (cm ²)
S U A V I M U L	GUAR	0.025	49.0	1.6	4.2	18.4	177	683.5	159.5
		0.050	49.6	1.4	4.0	18.6	173	568.5	146.6
		0.075	49.7	1.1	3.8	18.9	171	650	159.2
		0.1	50.0	1.1	3.8	18.9	172	655	161.6
	HPMC	0.025	50.1	1.6	3.9	18.6	181	620	147.0
		0.050	50.3	1.4	3.7	18.7	181	610	156.0
		0.075	50.5	1.3	3.5	18.7	184	642.5	152.2
		0.1	50.8	1.3	3.4	18.7	183.5	641.7	154.0
	CMC	0.025	50.3	1.6	4.2	18.5	186	610	157.0
		0.050	50.6	1.5	4.0	18.5	187.5	590	149.0
		0.075	50.8	1.3	3.8	18.7	181	620	146.1
		0.1	50.9	1.3	3.7	18.7	182.5	618	145.1
Suavimul		0.5	48.6	0.9	5.0	14.2	181	675	174
TESTIGO			48.5	1.7	4.3	7.6	174.5	500	136.8

b.h.: base harina

U.E: Unidades extensográficas.

Los tiempos de llegada fueron menores que el testigo pero mayores cuando se empleó solo el emulsificante Suavimul (0.5%); los mayores tiempos de llegada los registraron las mezclas a las concentraciones de 0.025% (1.6 min). Los tiempos de desarrollo fueron menores que los emulsificantes y que el testigo, pero no significativamente diferentes a cuando se emplearon solos los polisacáridos. La estabilidad fue mayor que la obtenida por el testigo, el Suavimul (0.5%) y las gomas solas; en todos los casos la estabilidad aumentó conforme se incrementó la concentración y fue mayor a 18 minutos; es importante destacar que no se tiene el tiempo exacto en que se perdió este parámetro ya que todas las pruebas del farinógrafo se paraban a los 20 minutos, por lo que sería conveniente continuar la prueba hasta el momento en que la parte superior de la gráfica abandone las 500 U.B.

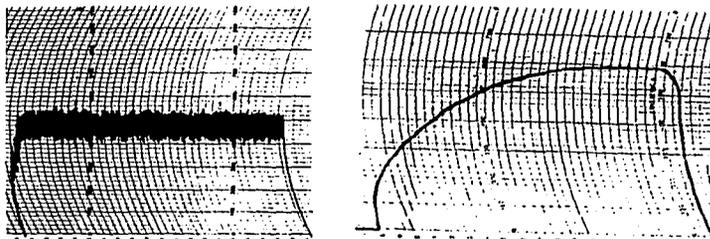
En todos los casos la tenacidad fue mayor que el testigo y menor que cuando se emplearon por separado el Suavimul y los polisacáridos, este parámetro tuvo los valores más altos cuando se trabajaron las mezclas de Suavimul-Guar y los más bajos se obtuvieron con las mezclas de Suavimul-CMC. Las extensibilidades fueron en general mayores que el testigo e iguales a las alcanzadas por el Suavimul a 0.5%, las extensibilidades más altas se obtuvieron con las mezclas de Suavimul-CMC (0.5-0.05%) y Suavimul-CMC (0.5-0.025%) quienes tuvieron una extensibilidad de 187 y 186 mm respectivamente.

Comparando las mezclas de polisacáridos el Suavimul-Guar proporcionó las masas más tenaces y menos extensibles a cualquiera de las concentraciones empleadas. Las mezclas de Suavimul-CMC fueron las más extensibles y las menos tenaces, siendo la mezcla Suavimul-CMC (0.5-0.05%) con una extensibilidad y tenacidad de 187mm y 590 U.E respectivamente y la mezcla de Suavimul-CMC (0.5-0.025%) con 186mm y 610 U.E Figura 18. Del ANOVA se concluyó con un 95 % de confianza que existe diferencia significativa entre las mezclas de emulsificante polisacárido y concentraciones empleadas en la absorción de agua y tenacidad de la masa, en cambio para las demás propiedades reológicas se determinó que hay diferencia significativa entre las mezclas pero no entre las concentraciones usadas.

Las masas provenientes de la mezcla Suavimul-Guar fueron resacas, pegajosas y difíciles de manejar y después del troquelado los discos de tortilla crudos tendían a encogerse y las presiones de las placas tuvieron que aumentarse a 83 Kg/cm². En el caso de las mezclas de emulsificante con CMC y HPMC fueron suaves, tersas y fáciles de manejar, en ambos casos las presiones durante la etapa de troquelado fueron de 81.5 Kg/cm².

Resumiendo las mejores características reológicas en las masas en orden decreciente son:
Mezcla de Suavimul-CMC (0.5-0.05%), mezcla de Suavimul-CMC (0.5-0.025%), CMC (0.075%), HPMC (0.075%) y Suavimul 0.5%.

**FIGURA 18. FARINOGRAMA Y EXTENSOGRAMA DE LA MEZCLA DE SUAVIMUL CON CMC
(0.5- 0.05%)**



4.5 EVALUACION DE LA TORTILLA DE HARINA DE TRIGO.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

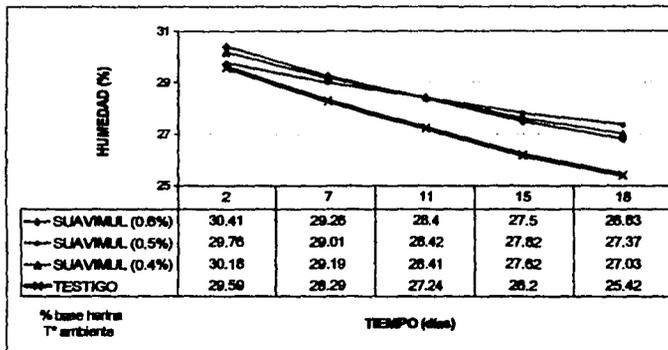
Con respecto a la humedad de las tortillas elaboradas con emulsificantes, polisacáridos y mezclas de emulsificante-polisacárido se encontró que durante su almacenamiento de 18 días a temperatura ambiente, la humedad disminuía al ir pasando el tiempo por lo que los resultados se ajustaron a cinéticas lineales empleando cinco puntos correspondientes a los días: 2, 7, 11, 15 y 18; los coeficientes de correlación obtenidos por medio de mínimos cuadrados fueron mayores a 0.89 para los emulsificantes, en el caso de los polisacáridos fueron mayores a 0.90 y para el caso de las mezclas fue de 0.89 con una significancia menor al 0.05%, esto condujo a utilizar las pendientes de cada ecuación como una medida de la velocidad con que se perdía la humedad en las tortillas de harina de trigo. Las gráficas que se presentan a continuación son con los datos linealizados.

4.5.1 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS

En la Figura 19 se encuentran graficados los resultados de humedad de las tortillas de harina de trigo elaboradas con Suavimul a tres concentraciones; el producto elaborado sin adición del emulsificante (Testigo) perdió un 4.17% de humedad, cuando se empleó el Suavimul a la concentración de 0.6% la

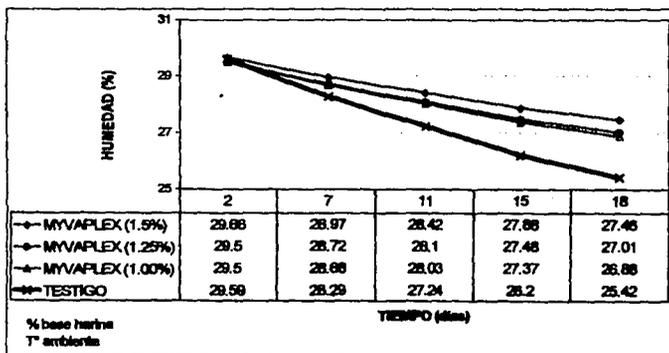
pérdida fue de 3.58%, mientras que a la concentración de 0.4% y 0.5% los porcentajes fueron de 3.1 y 2.39%.

FIGURA 19. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON SUAVIMUL.



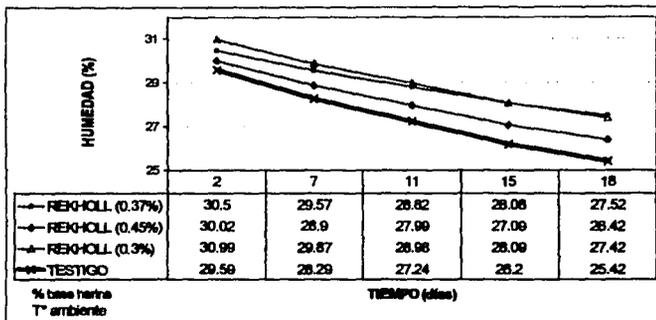
Cuando se utilizó Myvaplex (Figura 20) los porcentajes de humedad perdidos durante el almacenamiento para la concentración del 1 fue de 2.6 %, en tanto que para las concentraciones de 1.25 y 1.5 fueron de 2.45 y 2.20% respectivamente.

FIGURA 20. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON MYVAPLEX



En el caso del emulsificante Rekholl (Figura 21) las concentraciones de 0.45 y 0.3% perdieron los mayores porcentajes de humedad (3.6 y 3.5%) siendo la concentración de 0.37% la que reportó el menor valor: 2.98%.

FIGURA 21. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON REKHOLL



En la Tabla 18 se encuentran anotados los valores de las pendientes para cada uno de los emulsificantes empleados a sus respectivas concentraciones.

TABLA 18: VELOCIDADES DE PERDIDA DE HUMEDAD (PENDIENTES) CUANDO SE EMPLEARON TENSOACTIVOS.

TENSOACTIVO	PORCENTAJE (base harina)	INTERCEPTO	PENDIENTE
Myvaplex	1.5	29.935	-0.1370 a
Suavimul	0.5	30.06	-0.1490 a
Myvaplex	1.25	29.820	-0.1560 a
Myvaplex	1.0	29.830	-0.1635 a
Rekholl	0.37	30.875	-0.1860 b
Suavimul	0.4	30.575	-0.1965 b
Rekholl	0.3	31.440	-0.2230 c
Suavimul	0.6	30.860	-0.2235 c
Rekholl	0.45	30.480	-0.2255 c
Testigo		30.115	-0.2605 d

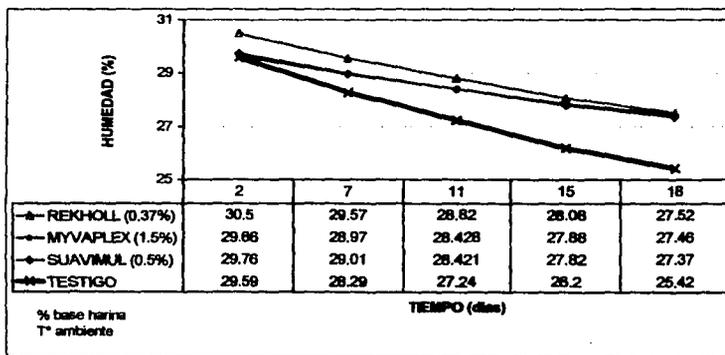
Letras en común son iguales estadísticamente. P>0.05
T° ambiente, 18 días de almacenamiento

En ella se puede observar que en todos los casos en que se utilizaron emulsificantes el valor absoluto de las pendientes fue menor que el registrado por el testigo (-0.2605) es decir las tortillas

elaboradas sin emulsificante (testigo) perdieron con mayor velocidad la humedad durante el almacenamiento de 18 días que las elaboradas con emulsificante. Los tratamientos que reportaron las menores pendientes fueron el Myvaplex a 1.5% y el Suavimul a 0.5% cuyas pendientes fueron -0.13 y -0.14 respectivamente; sin embargo este último emulsificante a la concentración de 0.6% tuvo uno de los valores más altos (-0.2235); e cambio el Rekholl a 0.45% fue el emulsificante que registró la mayor pendiente (-0.2255). En el análisis de varianza se encontró que hay diferencia significativa entre los tratamientos $F_T > F_C$ entre los tratamientos.

En la Figura 22 están graficados los tres emulsificantes probados a las concentraciones con que se obtuvieron las menores velocidades de pérdida de humedad en las tortillas contra el testigo, en esta se observa que la humedad disminuye más rápidamente en el caso del producto elaborado sin emulsificante, presentando una humedad para el día 18 de alrededor de 25.42, en tanto que el Suavimul (0.5%) y el Myvaplex (1.5%) tiene una humedad en el mismo tiempo de 27.37 y 27.46 respectivamente, sin embargo cuando se calcularon las probabilidades para saber cuales tratamientos eran iguales se encontró que ambos emulsificantes a estas concentraciones no tenían diferencia significativa ($P > 0.05$) por lo que se podrían utilizar indistintamente. (Tabla 18)

FIGURA 22. COMPARACION DE LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON TENSOACTIVOS



Diversos estudios realizados en productos de panificación explican que la pérdida de humedad se debe principalmente a los cambios en las estructuras de la proteína y el almidón y

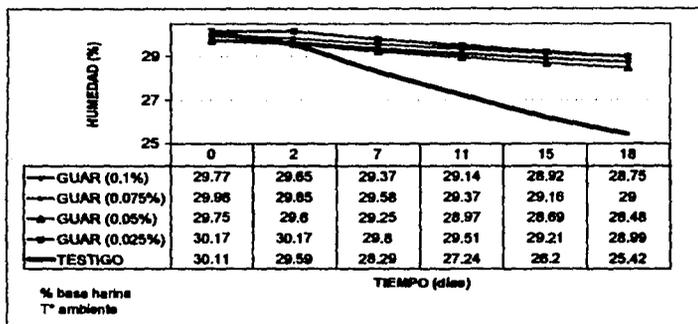
retrogradación de éste último.^(9, 15, 34) Qarooni (1993) y Friend (1995) explican que la pérdida de humedad es debida a la interacción de los tensoactivos con el almidón evitando la retrogradación de este; de acuerdo con Friend, al adicionar el emulsificante en la formulación una parte se absorbe en la superficie de los gránulos de almidón durante el mezclado, otra parte del emulsificante, actúa en la cocción de la tortilla, al llegar a una temperatura de 55 °C aproximadamente, los tensoactivos entran en una fase cristalina-líquida (mesofase) en combinación con parte del contenido de agua combinándose así con la amilosa y forman un complejo helicoidal insoluble; una parte restante del emulsificante actúa con la amilopectina la cual se absorbe entre las ramas de este polímero; aún con el empleo del emulsificante hay una cantidad de amilosa y amilopectina que no se combina, esto trae como consecuencia que cuando se enfría el producto estas dos moléculas sin combinar se retrograden pero no hay ningún tipo de cambio en los que han formado complejo con el emulsificante. El complejo que se forma por la interacción del tensoactivo con el almidón retiene la humedad en el interior de los gránulos, evita la retrogradación y previene la migración de amilosa al exterior, con ello impide también que la amilopectina sufra cambios estructurales y retrogradación.^(4, 46)

La capacidad del emulsificante para evitar la retrogradación varía en función a la facilidad para formar complejos con el almidón, Krog en 1971 estudió los índices de complejación (ACI) que podían tener diversos emulsificantes con el almidón y encontró que el monoesterato de propilenglicol (90% ester) tiene un ACI de 15 mientras que el SSL de 72; esto podría explicar porque el Suavimul que es un SSL (Estearil Lactilato de Sodio) mantuvo mejor la humedad de la tortilla mientras que el Myvaplex al ser un monoesterato de glicerilo con 90 % ester tiene una menor facilidad para formar complejos con el almidón y por lo tanto no tuvo la capacidad para evitar la retrogradación del almidón trayendo como consecuencia que se perdiera la humedad con mayor velocidad, en el caso del Reholi no se tiene la información acerca de su composición solo se tiene el dato de que es un emulsificante iónico, por lo que lo único que podríamos inferir es que posiblemente su capacidad para interactuar con el almidón sea muy escasa y por ello el producto elaborado perdió con mayor rapidez la humedad.⁽³¹⁾

4.5.2 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS.

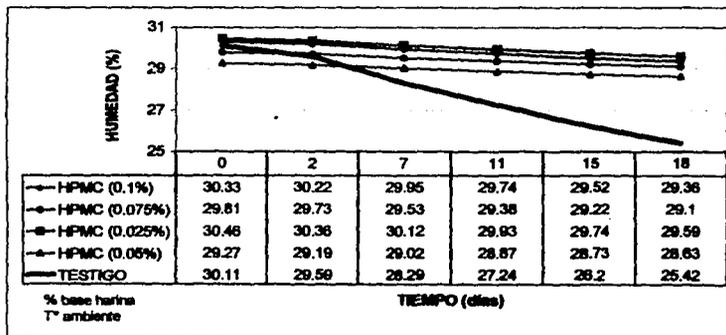
Como se puede apreciar en la Figura 23 la goma Guar a cualquier concentración disminuyó con menor rapidez la humedad que el testigo, siendo a la concentración de 0.05% en la que decreció la humedad un 1.27% durante el almacenamiento, ya que inició con un valor de 29.75 y para el día 18 fué de 28.48 y la concentración de 0.075 % la que registró la pérdida más baja (0.96%).

FIGURA 23. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON GOMA GUAR



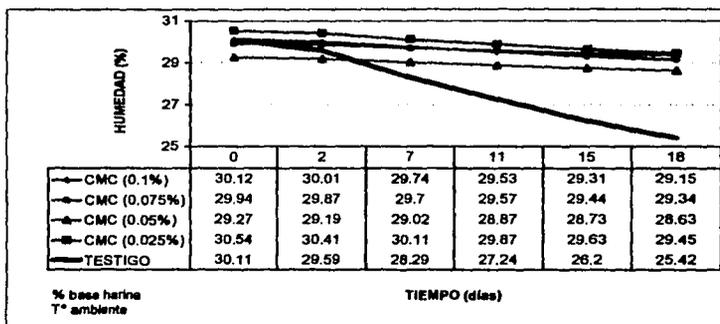
En el caso de la HPMC (Figura 24) los porcentajes de humedad perdida también fueron muy bajos, por ejemplo para la concentración de 0.1% que fue la que mayor cantidad de agua desprendió durante el almacenamiento registró un valor de 0.97 y para el nivel de 0.05% solo perdió el 0.64%.

FIGURA 24. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON HPMC.



Al igual que para los polisacáridos anteriores los porcentajes de humedad decrecieron muy poco para las diferentes concentraciones de CMC, siendo al 0.075% con el que se desprendió solo un 0.60% de humedad y con 0.025% el valor perdido fue de 1.09. Figura 25.

FIGURA 25. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON GOMA CMC



En la siguiente Tabla están los valores que se encontraron para las pendientes de cada uno de los polisacáridos y correspondientes concentraciones.

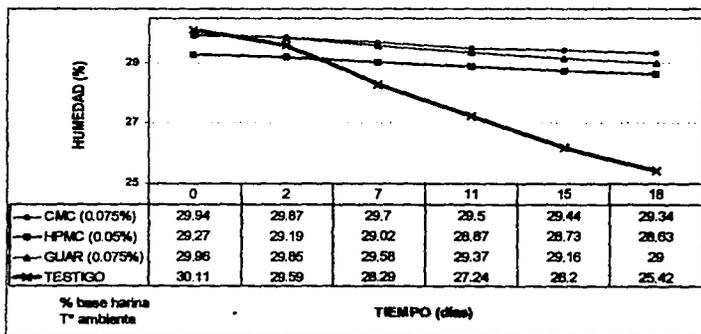
TABLA 19. VELOCIDADES DE PERDIDA DE HUMEDAD (PENDIENTES) CUANDO SE EMPLEARON POLISACARIDOS

POLISACARIDO	PORCENTAJE (base harina)	INTERCEPTO	PENDIENTE
HPMC	0.050	29.64	-0.0310 a
CMC	0.075	29.94	-0.0330 a
CMC	0.050	29.27	-0.0355 b
HPMC	0.075	29.81	-0.0390 b
HPMC	0.025	30.46	-0.0480 c
Guar	0.075	29.96	-0.0530 d
CMC	0.100	30.12	-0.0535 d
HPMC	0.100	30.33	-0.0535 d
Guar	0.100	29.77	-0.0565 d
CMC	0.025	30.54	-0.0605 e
Guar	0.050	29.75	-0.0705 e
Guar	0.025	30.32	-0.0735 e
Testigo		30.11	-0.2605 f

Letras en común son iguales estadísticamente P>0.05
T° ambiente, 18 Días de almacenamiento

Como se puede notar en la Tabla 19 la goma HPMC a 0.05% y la CMC a 0.075% fueron las más eficientes para mantener la humedad, a estas concentraciones las pendientes obtenidas fueron las menos altas (-0.0310 y -0.0330) en cambio la goma Guar a los niveles de 0.025 y 0.050 tuvieron pendientes de -0.0735 y -0.0710 respectivamente, es decir la humedad descendió con mayor velocidad; el ANOVA indicó con un 95 % de confianza que existe diferencia entre los tratamientos. Al graficarse los tres polisacáridos a las concentraciones que conservaron mejor la humedad (Figura 26) se puede percibir que el testigo tuvo la mayor pérdida de humedad 4.69%, es importante notar que aunque la goma Guar fue la que reportó la mayor pérdida (0.96%) dicha cantidad es menos de la cuarta parte que la alcanzada por el testigo, los otros dos polisacáridos (HPMC y CMC) a los niveles de 0.05 y 0.075 fue de 0.6 y 0.64; pero de acuerdo a la Tabla 19 no hay diferencia significativa entre las pendientes de estos dos últimos tratamientos ($P > 0.05$) por lo que se podría utilizar indistintamente. Es importante señalar que los polisacáridos a cualquiera de las concentraciones empleadas tuvieron menores pendientes que el testigo y que las obtenidas con el empleo de los emulsificantes.

FIGURA 26. COMPARACION DE LA PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON POLISACARIDOS



Christopher Friend y Bell explican que este comportamiento se puede entender en función de cómo actúa la CMC, este polisacárido junto con el agua recubre los granulos de almidón, haciendo más lentos los cambios que llevan a la retrogradación del almidón, además de ayudar a la retención del agua en el sistema. Además durante el cocimiento de la tortilla, la CMC Y HPMC, conforme la temperatura de la masa se eleva, las moléculas del polímero y sus enlaces interaccionan directamente con el agua en

viscosidad y dar fuerza a los alrededores de las células expandidas de la masa; este "gel" también actúa como una barrera para la pérdida de humedad la cual puede mejorar la calidad final del producto en cuanto a su textura y suavidad.^(6,44) Según Ferrero (1993) otra posible teoría es que los polisacáridos con carga como son la HPMC y la CMC evitaron la retrogradación del almidón debido a que las cadenas de amilosa son lineales y más largas que las de amilopectina, durante la gelatinización la amilosa es puesta en libertad afuera del gránulo y forma una matriz externa. La amilosa entonces tiene una mayor exposición a otros componentes de la masa como los hidrocoloides y la interacción amilosa-polisacárido compete con la agregación de amilosa-amilosa, disminuyendo de esta manera la probabilidad de ocurrencia de la retrogradación del almidón.⁽⁶⁶⁾

4.5.3 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LA PERDIDA DE HUMEDAD.

Cuando se emplearon las mezclas de emulsificante (Suavimul 0.5%) con la goma Guar y la HPMC a la concentración de 0.075% se obtuvieron las menores pérdidas de humedad: 0.85 y 0.65% respectivamente. (Figura 27a y 27b) en cambio cuando se mezcló el Suavimul al 0.5% con la CMC al 0.025% la pérdida de humedad fue de 0.45%, ya que al inicio del almacenamiento las tortillas tenían un porcentaje igual a 29.63 y después de 18 días a temperatura ambiente tuvieron 29.18 (Figura 27c) El ANOVA encontró con un 95% de confianza que hay diferencia significativa entre los polisacáridos y las concentraciones empleadas.

FIGURA 27a. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON GOMA GUAR Y SUAVIMUL

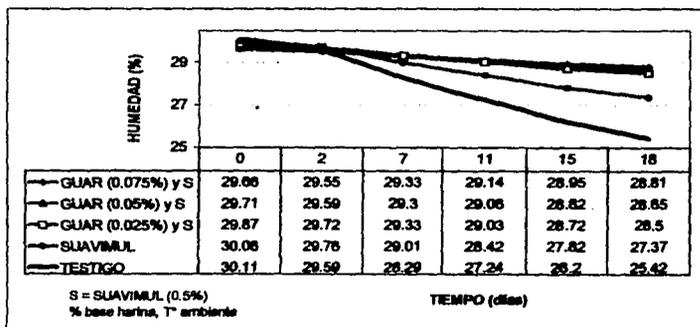


FIGURA 27b PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO EMPLEANDO MEZCLA DE HPMC Y SUAVIMUL

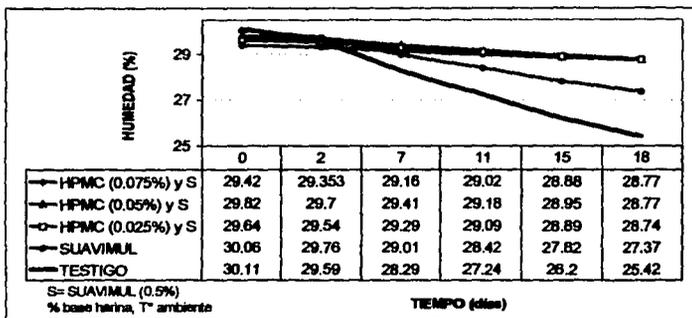
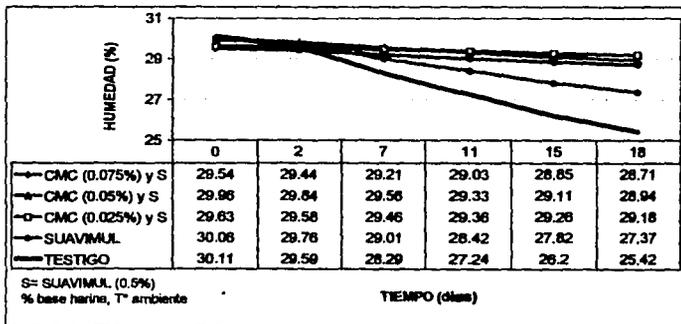


FIGURA 27c. PERDIDA DE HUMEDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON MEZCLA DE CMC Y SUAVIMUL.



En todos los casos la humedad perdida fue menor que el testigo (4.69%) y que cuando se empleó sólo el emulsificante (2.39%); aún con la mezcla Suavimul-Guar (0.5-0.025%) que fue la que tuvo el mayor porcentaje de pérdida (1.37%), esta cantidad es aproximadamente la tercera parte de la alcanzada por el testigo y la mitad de la obtenida cuando se empleó solo el emulsificante.

En la Tabla 20 están las pendientes obtenidas para cada una de las mezclas empleadas, siendo Suavimul-CMC (0.5-0.025%), Suavimul-HPMC (0.5-0.075%) y Suavimul-CMC (0.5-0.075%) las que perdieron con menor velocidad la humedad, sin embargo las dos primeras mezclas se podrían utilizar en igual forma ya que al calcular las probabilidades se determinó que no hay diferencia significativa. $P > 0.05$. En cambio el testigo tuvo una pendiente de -0.2605 y el Suavimul de -0.1490.

Por otro lado, al comparar los resultados obtenidos con el uso de las mezclas y los registrados con el uso de polisacáridos, se observa que a pesar de que las mezclas tuvieron valores menores en los porcentajes de humedad perdida estos no fueron muy diferentes a los de los polisacáridos solos, por ejemplo: la CMC sola a 0.025% tuvo una pendiente -0.06 y la mezcla (Suavimul 0.5%-CMC 0.025%) su pendiente fue de -0.025, sin embargo el empleo de la CMC sola a la concentración de 0.075% tuvo una pendiente de -0.03 por lo que podría convenir más emplear esta última ya que la adición del emulsificante implica mayor cuidado en la forma de agregar este aditivo y por lo tanto mayor costo.

TABLA 20. VELOCIDAD DE PERDIDA DE HUMEDAD (PENDIENTES) DE LAS TORTILLAS ELABORADAS CON MEZCLA DE EMULSIFICANTE-POLISACARIDO.

TENSOACTIVO (% base harina)	POLISACARIDO	CONCENTRACION (% base harina)	PENDIENTE
S U A V I M U L (0.05)	GUAR	0.025	-0.0765 c
		0.050	-0.0590 d
		0.075	-0.0470 e
	HPMC	0.025	-0.0500 e
		0.050	-0.0580 d
		0.075	-0.0360 e
	CMC	0.025	-0.0260 e
		0.050	-0.0565 d
		0.075	-0.0460 e
TESTIGO			-0.1490 b
			-0.2605 a

Letras en común son iguales estadísticamente $P > 0.5\%$

4.6 EVALUACION DE LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA

Quando se evaluó este parámetro en las tortillas almacenadas durante 18 días a temperatura ambiente se encontró que en los casos de las elaboradas con emulsificante, la flexibilidad disminuía conforme transcurrían los días y los resultados se ajustaron a cinéticas lineales, empleando cinco puntos

correspondientes a los días 2, 7, 11, 15 y 18, los coeficientes de correlación fueron mayores a 0.91 por lo que se usaron las pendientes como una medida de la velocidad con que se perdía la flexibilidad. En el caso del producto elaborado con polisacáridos y mezclas de emulsificante-polisacárido la flexibilidad se mantuvo constante en la mayoría de los casos por lo que se determinó analizar únicamente la flexibilidad al día 18 para todos los tratamientos.

4.6.1 EFECTO DE LOS EMULSIFICANTES EN LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS.

En la figura 28 se muestran por separado los resultados de flexibilidad de las tortillas para cada uno de los emulsificantes usados a sus respectivas concentraciones. Con el Suavimul a 0.6% perdió 4.7 unidades y a la concentración de 0.5% solo 3.9 unidades; (Figura 28a) con el Myvaplex a las concentraciones de 1.5 y 1.25% disminuyó 4.8 unidades, mientras que al 1% fueron 4.6 unidades (Figura 28b); en el caso del Rehholl la flexibilidad decreció en más de 5 unidades para todas las concentraciones (Figura 28c). Al comparar las concentraciones de cada uno de los emulsificantes que mantuvieron mejor la flexibilidad con el testigo, observamos que el testigo se coloca por debajo de cualquiera de ellas, puesto que para el primer día de almacenamiento tenía un valor de 9 y al final de 2.66 lo que representa una pérdida de 6.3 unidades. (Figura 28d) El análisis estadístico (ANOVA) indicó que hay diferencia significativa con un 95% de confianza entre los emulsificantes y concentraciones empleadas.

FIGURA 28a. PERDIDA DE FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON SUAVIMUL

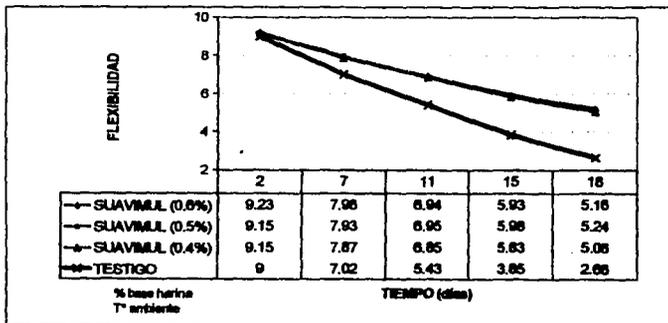


FIGURA 28b. PERDIDA DE FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON MYVAPLEX.

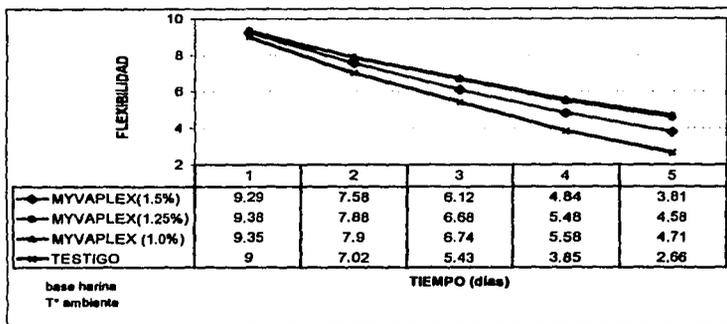


FIGURA 28c. PERDIDA DE FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON REKHOLL.

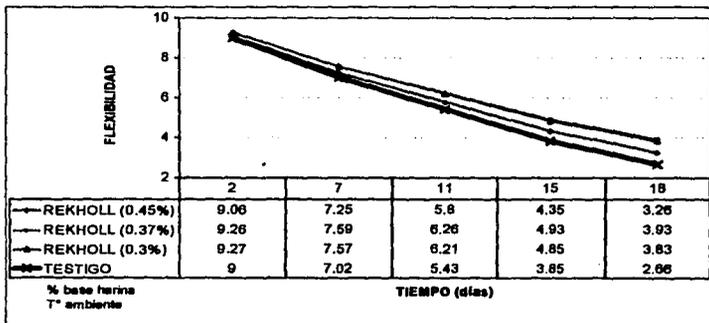
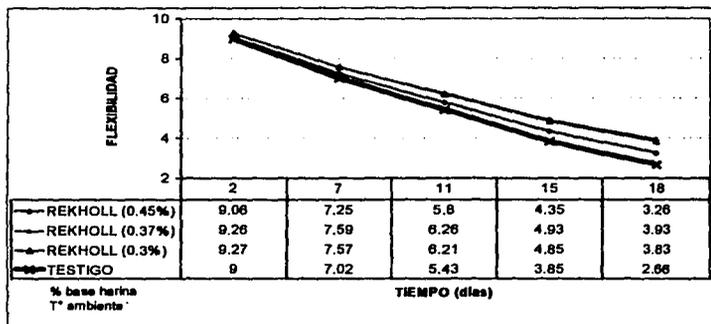


FIGURA 28d. COMPARACION DE LA PERDIDA DE FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON TENSOACTIVOS



En la Tabla 21 están tabulados los valores de las pendientes para cada tratamiento, ocupando el último lugar el testigo cuya pendiente fue de -0.396 mientras que los primeros lugares los ocupó el Suavimul a sus diferentes concentraciones, siendo al 0.5% la concentración que registró el menor valor (-0.244) es decir que perdió con menor velocidad la flexibilidad. Es importante resaltar que a diferencia del comportamiento para humedad, el emulsificante Myvaplex (1.5%) no aparece como una buena opción para mantener la flexibilidad del producto. Como se manifiesta en la pérdida de humedad y flexibilidad el Rekholl no dio resultados sustancialmente diferentes a los obtenidos con el testigo, aunado a esto presentó muchos problemas en su incorporación.

TABLA 21. VELOCIDAD DE PERDIDA DE FLEXIBILIDAD (PENDIENTES) CUANDO SE EMPLEARON TENSOACTIVOS

TENSOACTIVO	PORCENTAJE (base harina)	INTERCEPTO	PENDIENTE
Suavimul	0.5	9.640	-0.244 a
Suavimul	0.6	9.740	-0.254 a
Suavimul	0.4	9.670	-0.256 a
Myvaplex	1.0	9.930	-0.290 b
Myvaplex	1.25	9.985	-0.300 b
Rekholl	0.37	9.930	-0.333 b
Rekholl	0.30	9.955	-0.340 d
Myvaplex	1.5	9.985	-0.343 d
Rekholl	0.45	9.787	-0.362 d
Testigo		9.795	-0.396 e

Letras en común son iguales estadísticamente.

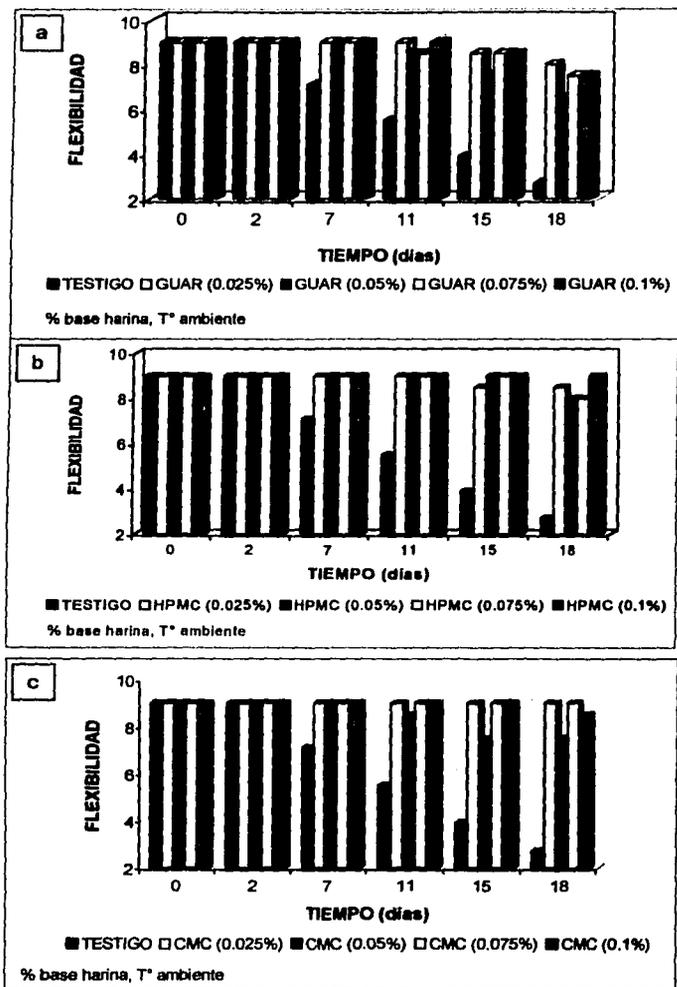
Según Rush (1981), la forma en que los emulsificantes ayudan a mantener la flexibilidad del producto, se basa en la teoría de que los agentes tensoactivos interaccionan con las proteínas del gluten, mediante la formación de enlaces (hidrofílicos, electrostáticos y puentes de hidrógeno) con la gliadina e interacciones hidrofóbicas con las proteínas, estas interacciones forman mesofases en multicapas, las mesofases son estados de agregación que exhiben a la vez algunas propiedades de los líquidos y cuerpos cristalinos, tales como: movilidad, una consistencia pastosa, etc. ^(4,30)

De acuerdo con Krog (1981) la formación de mesofases puede explicarse en la siguiente forma: cuando un tensoactivo como el SSL (Suavimul) se encuentra en estado sólido (cristalino), las cadenas de hidrocarbóno no tienen movilidad y se orienta paralelamente unas a otras formando estratos, en cada estrato las cadenas lipofílicas se orientan en una dirección y las hidrofílicas en otra opuesta. Cuando esta estructura de los tensoactivos se mezcla con el agua y la temperatura se eleva hasta cierto punto, las cadenas de hidrocarbóno pasan de un estado sólido a uno semilíquido con mayor movimiento molecular; al mismo tiempo, el agua penetra en las capas del grupo polar y se forma una mesofase líquido cristalino, de esta manera el tensoactivo (emulsificante) interactúa en el seno del sistema con el agua disponible formando estructuras que coadyuvan a la retención de agua. La estructura de la mesofase depende de la estructura del tensoactivo, concentración, temperatura, fuerza iónica y pH. Aunado a lo anterior, la capacidad para disminuir la retrogradación del almidón que poseen los tensoactivos, como se mencionó anteriormente también tienen un efecto positivo para mantener la flexibilidad del producto. ^(4,31)

4.6.2 EFECTO DE LOS POLISACARIDOS EN LA FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS.

Como se puede apreciar en la Figura 29, este parámetro se mantuvo constante en la mayoría de los casos durante los primeros 7 días de almacenamiento por lo que se determinó analizar únicamente la flexibilidad al día 18. Es importante notar que con el empleo de HPMC la flexibilidad empieza a decaer hasta después de 11 días. Figura 29b

FIGURA 29. FLEXIBILIDAD DE LAS TORTILLAS DE HARINA DE TRIGO ELABORADAS CON POLISACARIDOS



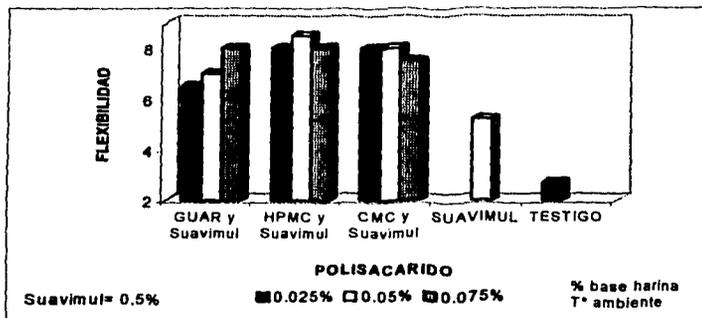
Así tenemos que la HPMC (0.1%) y la CMC (0.075%) dieron los mejores resultados para mantener la flexibilidad, ya que para el día 18 reportaron una flexibilidad de 9, en cambio el testigo tuvo un valor de 2.7, es decir con estos polisacáridos podríamos enrollar la tortilla alrededor de un rodillo de 3 mm de diámetro en cambio el testigo sólo podría envolver a un rodillo de aproximadamente 27 mm de diámetro; aunque convendría usar la CMC a 0.025% porque al ser menor la concentración representaría un menor costo. Es preciso señalar que en este caso la HPMC a 0.05% (uno de los tratamientos que dió mejores resultados para mantener la humedad de la tortilla) tuvo una flexibilidad en el día 18 de 8. Los resultados alcanzados con los polisacáridos son mejores que cuando se utilizaron los emulsificantes solos ya que con estos el valor máximo obtenido para el mismo día fue de 5.1 (aproximadamente 15 mm) el cual corresponde al Suavimul. Christopher Friend (1993) explica que la CMC ayudó a mantener mejor la flexibilidad debido a sus grupos sustituyentes (OH), los cuales 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, de esta manera se ayuda a disminuir la retrogradación del almidón trayendo como consecuencia que la flexibilidad se mantenga durante más tiempo. ⁽⁶⁾

4.6.3 EFECTO DE LA MEZCLA EMULSIFICANTE-POLISACARIDO EN LA FLEXIBILIDAD DE LA TORTILLA.

Al igual que en el caso de los polisacáridos la flexibilidad se mantuvo constante durante los primeros siete días por lo que se analizaron los valores obtenidos al día 18 para cada uno de los polisacáridos. Fué notorio que cuando se emplearon las mezclas de Suavimul-HPMC y Suavimul-CMC este parámetro comenzó a decaer después de 11 días de almacenamiento.

En la Figura 30 está graficada la flexibilidad obtenida con cada una de las mezclas a sus respectivas concentraciones después de 18 días de estar almacenadas. La mezcla de Suavimul-HPMC (0.5-0.05%) logró el mayor valor: 8.5, sin embargo esta mezcla no fué muy eficiente para mantener la humedad de las tortillas. Por otro lado las mezclas de emulsificante con la goma Guar y HPMC a las concentraciones más altas tuvieron valores de 8 así como también las mezclas de Suavimul-HPMC y Suavimul-CMC a los niveles más bajos, en cambio, el testigo reportó una de 2.7 unidades la cual fué mucho menor que las alcanzadas por cualquiera de las mezclas. Si se compara la flexibilidad obtenida en las mezclas con las obtenidas con el uso de sólo los polisacáridos estos últimos tuvieron mayor capacidad para mantener la flexibilidad del producto (CMC a 0.025 y 0.075% reportó una flexibilidad de 9.0) pero si fueron mas eficientes que los emulsificantes solos (Suavimul 0.5%= 5.0) por lo que se recomendaría emplear solo los polisacáridos. Así tenemos que en orden decreciente la flexibilidad de las tortillas se mantiene mejor con los polisacáridos, después con las mezclas y finalmente con los emulsificantes.

FIGURA 30. FLEXIBILIDAD AL DÍA 18 DE LAS TORTILLAS DE HARINA ELABORADAS CON MEZCLA DE EMULSIFICANTE-POLISACARIDO



De acuerdo con información otorgada por el departamento de control de calidad del grupo GRUMA una tortilla de harina de trigo es aceptada por el consumidor cuando su flexibilidad no desciende de 5, es decir que pueda enrollar un rodillo de 15 mm, lo cual corresponde a una vida de anaquel de 12 días. Por lo anterior si nos fijamos en la Figura 28a tenemos que el Suavimul a 0.5% alcanza este valor alrededor del día 18 en cambio el testigo lo consigue aproximadamente para el doceavo día por lo que se lograría elevar la vida de anaquel 6 días más con el empleo de este emulsificante. En el caso de los polisacáridos la CMC a 0.025% la flexibilidad después de 18 días de almacenamiento no fué menor de 9 (Figura 29c) por lo que se podría asegurar mínimamente el doble de vida de anaquel que la del testigo. Ahora bien, cuando se empleó la mezcla Suavimul-HPMC (0.5-0.05%) tampoco se alcanza el valor de 5 aún después de los 18 días de almacenamiento (Figura 30), sin embargo, la adición del emulsificante requeriría una mayor inversión.

4.7 ASPECTO DE LAS TORTILLAS ELABORADAS CON LOS DIFERENTES ADITIVOS.

La descripción que se da a continuación del aspecto que presentaron las tortillas elaboradas con los diferentes aditivos (emulsificantes, polisacáridos y mezclas de estos) son opiniones de 10 personas no entrenadas.

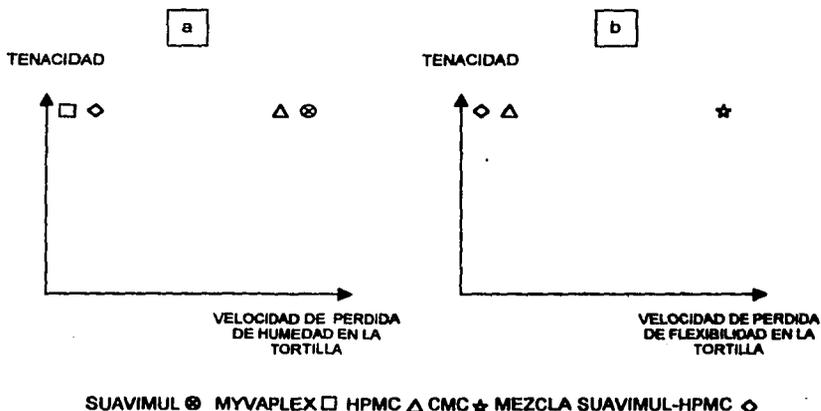
Las tortillas elaboradas con Suavimul tenían un aspecto esponjoso se sentían mas suaves que las elaboradas sin ningún aditivo (testigo), en cambio entre este último y las hechas con Myvaplex no se

notaba diferencia ni a la vista ni al tacto; en contraste las obtenidas a partir de Rekholl eran muy resacas, más apelmazadas que el testigo y se encogieron después del troquelado 0.5 cm. En el caso de los polisacáridos cuando se empleó HPMC Y CMC no se notó diferencia con el testigo, pero con la goma Guar las tortillas se pegaron mucho durante el almacenamiento, daban la apariencia de un disco de plástico y presentaba muchas zonas traslúcidas por lo que se veían totalmente crudas. Las tortillas elaboradas con mezclas de Suavimul-CMC y Suavimul-HPMC eran suaves y se parecían a las elaboradas con sólo el emulsificante en cambio las producidas con la mezcla Suavimul-Guar, además de presentar las características de cuando se uso solo el polisacárido, tuvieron diámetros aproximadamente 0.5 mm menores y eran más gruesas que las demás tortillas a pesar de que se aumentaron las presiones de las placas 83 Kg/cm²

4.8 RESULTADOS DEL ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES. (ACP)

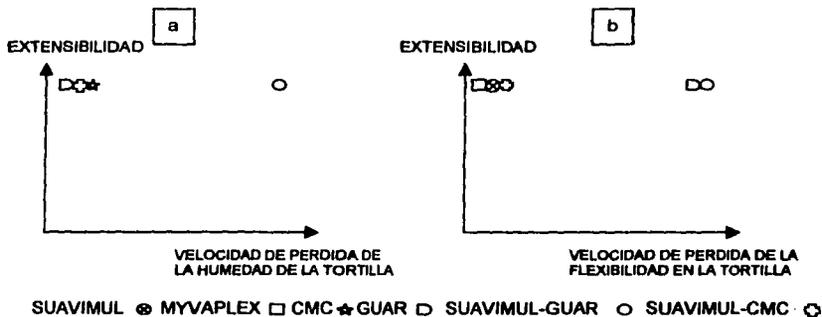
El Análisis de Componentes Principales (ACP) se realizó con el fin de ver como estaban relacionadas las propiedades reológicas de la masa (extensibilidad y tenacidad) con la velocidad de pérdida de humedad y flexibilidad de la tortilla. En la Figura 31 están representadas las diferentes relaciones que se encontraron.

FIGURA 31. ADITIVOS EN LOS QUE SE RELACIONO LA TENACIDAD DE LA MASA CON LA VELOCIDAD DE PERDIDA DE HUMEDAD Y FLEXIBILIDAD DE LA TORTILLA.



En la Figura 31a se observa que los emulsificantes (Myvaplex y Suavimul), así como el polisacárido (HPMC) y la mezcla (Suavimul-HPMC) están relacionados la tenacidad de la masa con la velocidad de pérdida de humedad de la tortilla, sin embargo, la relación entre estos parámetros es diferente; en el caso del Myvaplex y la mezcla Suavimul-HPMC mientras más tenaz sea la masa las tortillas perderán con menor velocidad la humedad, en cambio cuando se usa la HPMC ó el Suavimul a mayor tenacidad menor velocidad de pérdida de humedad. La tenacidad de la masa también está relacionada con la velocidad de pérdida de la flexibilidad de la tortilla, así tenemos que para la HPMC y la mezcla se Suavimul-HPMC mientras mayor sea la tenacidad menor será la velocidad con que la tortilla pierda la flexibilidad, este comportamiento lo tiene en forma inversa la CMC.

FIGURA 32. ADITIVOS EN LOS QUE SE RELACIONO LA EXTENSIBILIDAD DE LA MASA CON LA VELOCIDAD DE PERDIDA DE HUMEDAD Y FLEXIBILIDAD DE LA TORTILLA.



Cuando la masa contuvo goma Guar, CMC ó mezcla de Suavimul-CMC, la tortilla perdió con menor velocidad la humedad mientras la masa fuera más extensible, para la mezcla Suavimul-Guar fué al contrario, es decir conforme la masa fuera más extensible la tortilla mantenía menos la humedad. (Figura 32a). Con respecto a cuando se empleó la goma Guar y la mezcla de Suavimul-Guar la tortilla perdió con mayor velocidad la flexibilidad conforme aumentaba la extensibilidad de la masa; cuando se utilizaron los emulsificantes (Suavimul ó Myvaplex) así como la mezcla Suavimul-CMC la flexibilidad se mantuvo más mientras mayor fué la extensibilidad de la masa. (Figura 32b).

Con lo anterior se puede concluir que los aditivos empleados presentaron diferentes asociaciones entre las propiedades reológicas de la masa con la velocidad con que se pierde la humedad y la flexibilidad de la tortilla.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1.- Una harina de trigo que reúna los siguientes requisitos es recomendable para la elaboración de tortillas de harina de trigo: Humedad = $13.9 \pm 0.13\%$, Proteína(NX5.7) = $10.5 \pm 0.39\%$, Gluten Húmedo = $30 \pm 0.23\%$, Cenizas = $0.5 \pm 0.04\%$, Granulometría: Nada retenido en tamiz 80 U.S.B.S, la suma de porcentajes de los tamices 100 y 120 menor a 14%, Absorción de agua = 50%, tiempo de llegada = 1.4min, tiempo de desarrollo = 3.0 min, Estabilidad ≥ 6.4 min, Tenacidad < 450 U.E, Extensibilidad > 170mm.

2.- Con la adición de todos los ingredientes (excepto los emulsificantes, polisacáridos y la mezclas) la masa se volvió más tenaz (500 U.E) y aumentó la extensibilidad (174.5mm), la absorción de agua disminuyó (48.5%) y la estabilidad aumentó a 7.6 minutos.

3.- Las propiedades reológicas de la masa se ven afectadas por la aplicación de los emulsificantes, los polisacáridos y las mezclas, la tenacidad fué la más afectada siendo los emulsificantes los que aumentaron más este parámetro, después los polisacáridos y al final las mezclas.

4.- Las extensibilidades más altas se alcanzaron con las mezclas, después lo emulsificantes y al final los polisacáridos.

5.- Los aditivos que afectaron en menor medida la tenacidad y extensibilidad de la masa fueron en el caso de los emulsificantes el Suavimul a 0.5% y el Myvaplex a 1.25%; para los polisacáridos la CMC al 0.075% y la HPMC a 0.05% y para las mezclas el Suavimul-CMC (0.5-0.05%) y Suavimul-CMC (0.5-0.025%).

8.- La absorción de agua fué mayor con el empleo de polisacáridos y las mezclas mientras que con los emulsificantes no hubo alteración.

9.- Los tiempos de desarrollo aumentaron con los emulsificantes, disminuyeron con las mezclas y no se modificaron con los polisacáridos.

10.- La estabilidad de la masa aumentó en todos los casos, con los emulsificantes el valor más bajo fué de 11 minutos, con los polisacáridos 17 y con las mezclas 18.7 minutos.

11.- Debido al aumento de la tenacidad de la masa será necesario aumentar las presiones de las placas durante la etapa de troquelado, en el caso de Suavimul y los polisacáridos (CMC y HPMC) y para las mezclas (Suavimul-CMC y Suavimul-HPMC) a 81.5 Kg/cm^2 .

12.- Los emulsificantes que dieron los mejores resultados para mantener la humedad y flexibilidad de la tortilla fueron el Suavimul y el Myvaplex. En base al costo, facilidad de manejo, a las propiedades reológicas de la masa y a los resultados de flexibilidad y humedad se recomienda el uso del Suavimul a 0.5% ya que con este se mantuvieron mejor estos parámetro y se lograría alargar la vida de anaquel de 12 a 18 días.

13.- Los polisacáridos conservaron mejor las características de humedad y flexibilidad de la tortilla siendo la CMC a la concentración de 0.075% la más efectiva para mantenerlas, como segunda opción se recomienda el uso de HPMC a 0.5% con lo cual se logrará tener como mínimo 18 días de vida de anaquel. En ambos casos se deberá aumentar la presión durante el troquelado a 81.5 Kg/cm^2 y se deberá considerar el aumento en el porcentaje de absorción de agua a 50.6% para obtener la consistencia deseada (500 U.F).

14.- Las mezclas de emulsificante y polisacárido tuvieron menor eficiencia para mantener las características mencionadas que los polisacáridos pero mayor que los emulsificantes.

15.- La mezcla Suavimul-HPMC (0.5-0.-05%) fué la que dió los mejores resultados para mantener la flexibilidad y humedad de la tortilla. Lográndose garantizar 18 días de vida de anaquel como mínimo, sin embargo la adición del emulsificante implica un mayor costo que el uso de solo el polisacárido.

16.- Con los emulsificantes se encontró relación entre la tenacidad de la masa con la velocidad de pérdida de humedad de la tortilla, mientras que la extensibilidad con la velocidad de pérdida de flexibilidad de dicho producto. Con el Suavimul mientras más tenaz sea la masa la tortilla perderá con mayor velocidad la humedad, en el caso del Myvaplex será al contrario.

17.- Tanto el Suavimul como el Myvaplex mientras la masa sea más extensible las tortillas mantendrán más la flexibilidad de la tortilla, en cambio el producto perderá con mayor rapidez la humedad mientras más tenaz sea la masa cuando se trabaja con el primero y será menos rápida la pérdida cuando se trabaja con el segundo.

18.-La CMC tuvo relación la tenacidad con la velocidad de pérdida de flexibilidad siendo a mayor tenacidad mayor velocidad de pérdida de tenacidad y mientras más extensible menor velocidad de pérdida de humedad.

19.- La mezcla Suavimul-HPMC a mayor tenacidad menor velocidad de pérdida de humedad y menor velocidad de pérdida de flexibilidad.

20.- En todos los casos se emplearon concentraciones de polisacáridos menores a las recomendadas por la bibliografía.

21.- El orden de eficiencia para mantener la humedad y la flexibilidad de la tortilla de harina de trigo en orden decreciente queda de la siguiente manera: polisacárido, mezclas de emulsificante-polisacárido y emulsificante.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. QARRONI J. PONTE J.G. AND POSNER E.S. 1992. Test baking procedure for evaluating flour tortilla quality. Association of operative Millers-Bulletin. p.p. 6136-6137.
- 2.- ROONEY L.W. 1993 Tortillas y alimentos tipo botana de maíz nixtamalizado. Soyanoticias. Octubre-Diciembre, No. 235, p.p. 1-8.
- 3.- RICE JUDY. 1990. Fresh, uncooked tortillas in recloseable zipper packs. Food Processing. Nov. p.p. 48-49.
- 4.- C.P. FRIEND, R.G. ROSS, R.D. WANISKA AND L.W. ROONEY. 1995. Effects of additives in wheat flour tortillas. Cereal Food World. July, VOL 40, No 7, p.p. 494-497.
- 5.- E.L. SUHENDRO. R.D. WANISKA, AND L.W. ROONEY. 1993 Effects of added proteins in wheat tortillas. Cereal Chemistry 70(4):412-416.
- 6.- CHRISTOPHER P. FRIEND, RALPH D. WANISKA, AND LLOYD W. ROONEY. 1993 Effects of hydrocolloids on processing and qualities of wheat tortillas. Cereal Chemistry 70(3):252-256.
- 7.- PRAMILA A.R., AMOS NUSSINOVITCH AND PAVIEE CHINACHOTI. 1992. Effects of selected surfactants on amylopectin recrystallization and on recoverability of bread crumb during storage. Cereal Chemistry 69(6):613-618.
- 8.- R.R. ROACH AND R.C. HOSENEY. 1995. Effect of certain surfactants on the starch in bread. Cereal Chemistry 72(6):578-582
- 9.- QUAGLIA GIOVANNI. 1990. Ciencia y tecnología de la panificación. Acribia; Segunda edición, Zaragoza, España.
- 10.- GLICKSMAN MARTIN. 1986 Food hydrocolloids. CRC Press. Florida.
- 11.- INEGI. Abasto y comercialización de productos básicos. Trigo. 1999

- 12.- SARH. Anuario estadístico de trigo. Años: 94 a 2000
- 13.- MARIO CAMPBELL. El cultivo y las variedades de trigo en México. 2000. Octubre. p.p: 76-85. REVISTA PAN.
- 14.- SHUEY W.C., LOCKEN L. AND LASKA S. 1972. Farinograph handbook American Association of Cereal Chemistry. Paul, Minnesota.
- 15.- HOSENEY CARL R. 1991. Principios de ciencia y tecnología de los cereales. Acribia. Segunda edición. Zaragoza, España
- 16.- ANONIMO. 1985. Los ingredientes del pan: su acción y reacción. PAN. Mayo. p.p:73-84
- 17.- GHASIK, HOSENEY R.C. AND VARRIANO-MARSTON E. 1982. Gelatinization of wheat starch: I Excess-Water systems. Cereal Chemistry. 59(2):81-85
- 18.- BELITX H.D., KIEFFER R., SEILMEIER W. AND WIESER H., 1986. Structure and function of gluten proteins. Cereal Chemistry. 63(4):336-341
- 19.- THE CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF CEREALS. (1989). As food and feed by Matz". Ed. AVI Published CO. WESTPORT CONN.
- 20.- SERNA SALDIVAR SERGIO. Valor nutritivo de tortillas fortificadas con soya. 1998 Marzo PAN. p.p.8-26.
- 21.- <http://www.trigosagar@gob.mx>
- 22.- LINFENG WANG AND ROLANDO A. FLORES. 1999. Effect of different wheat classes and their flour milling streams on textural properties of flour tortillas. Cereal Chemistry 76(4):496-502.
- 23.- V. DALLY AND L. NAVARRO. 1999 Flour tortillas: A growing sector of the U.S. food industry. Cereal Foods World. July. VOL. 44 No. 7 p.p:457-459
- 24.- SERNA-SALDIVAR, ROONEY, WANISKA. 1988 Wheat flour tortilla production. Cereal Foods World. October. Vol. 33. No. 10 p.p: 855-864.
- 25.- MONTEMAYOR ESTRADA ROLANDO. 1986. Agentes leudantes. PAN. Agosto. p.p: 17-26

- 26.- CEPEDA MINERVA, WANISKA, ROONEY AND BEJOSANO FELICIANO. 2000 Effects of leavening acids and dough temperature in wheat flour tortillas. *Cereal Chemistry* 77(4):489-494.
- 27.- MULTON JEAN LEUIS. 1988. Aditivos y auxiliares de fabricación en las industrias agroalimentarias. Acribia. Zaragoza, España.
- 28.- FENNEMA OWEN R. 1982. Introducción a la ciencia de los alimentos. Vol. 1. Editorial Reverté S.A. Barcelona España.
- 29.- GRINSTED. Emulsionantes para la industria de panadería y la pastelería. *Boletín informativo*. p.p: 1-10.
- 30.- RUSH D.F. 1981 Emulsifiers: uses in cereal and bakery food. *Cereal Foods World*. 26(3):11-115
- 31.- KROG N. 1981. Theoretical aspect of surfactants in relation to their use in breadmaking. *Cereal Chemistry*. 58(3):158-164
- 32.- CANAMEX. 1984. El método HLB y su aplicación. *Apuntes de conferencia*.
- 33.- KNIGHTLY W. H.. 1988. Surfactants in baked foods current. Practice and future trends. *Cereal Foods World*. 33(5):405-412
- 34.- JUNGE R.C. AND HOSENEY R.C. 1981. A mechanism by which shortening and certain surfactants improve loaf volume in bread. *Cereal Chemistry*. 58(5):408-412
- 35.- ARANCIA. Lactipol Catálogo de productos.
- 36.- CHAVEZ CASILLAS SANTOS ALEJANDRO. Funciones de emulsificantes en productos alimenticios. Tesis QFB 1987.
- 37.- BADUI DERGAL SALVADOR. Química de alimentos, Ed., Alhambra Mexicana S.A de C.V.
- 38.- KAREL KULP. Staling of bread. 1979 Technical bulletin. Volume I, Issue 8, August. p.p: 1-7:
- 39.- SCHUSTER G. AND ADAMS W.F. 1984. Emulsifiers as additives in bread and fine baked products in advances in cereal science and technology. Vol. VI. E.U.A. P.P: 139-287

- 40.- R.R. ROACH AND R.C. HOSENEY. 1995. Effect of certain surfactants on the starch in bread. Cereal Chemistry. 72(6):578-582.
- 41.- E. METTLER AND W. SEIBEL. 1993. Effects of emulsifiers and hydrocolloids on whole wheat bread quality. Cereal Chemistry. 70(4):373-377.
- 42.- J.C. YAU, R.D. WANISKA AND L.W. ROONEY 1994. Effects of food additives on storage stability of corn tortillas.
- 43.- AQUALON. Sodium carboxymethylcellulose physical and chemical properties. Bolletin. p.p:7
- 44.- BELL A. DAVID. 1990. Methycellulose as a structure enhancer in bread baking. Cereal Foods World. 35(10):1002-1006
- 45.- D' APPOLONIA BERT L. AND WALLACE H. KUNERTH. The farinograph Handbook. Third Edition, Printed in the United States of America.
- 46.- INDUSTRIE MESS- UND KONTROLLVERFAHRE. Brabender Extensograph Duisburg am Rhein Postfach. p.p. 204-205
- 47.- BELLO, A.B., SERNA-SALDIVAR, WANISKA, AND ROONEY. 1991 Methods to prepare and evaluate wheat tortillas. Cereal Foods World, March, Vol 36. No.3 p.p:316-322.
- 48.- QAROONI JALAL. 1993 Wheat flour tortillas. Technical Bulletin, Volume XV, Issue 5. May. p.p: 1-8
- 49.- WANISKA R. D. 1999 Perspectives on flour tortillas. Cereal Foods World. July Vol 44. No. 7 p.p:471-473.
- 50.- McDONOUGH, SEETHARAMAN K., WANISKA R.D. AND ROONEY L.W. 1996 Microstructures changes in wheat flour tortillas during baking. Journal of Food Science. Vol. 61, No. 5 p.p:995-999.
- 51.- GONZALES AGRAMON, M. AND SERNA SALDIVAR, S.O. 1988. Effect of defatted soybean and soybean isolate fortification on the nutritional, physical, chemical and organoleptic properties of wheat tortillas. J. Food Sci. 53:793-797.
- 52.- AMERICAN ASSOCIATION OF CERAL CHEMISTIS. INC. 1982 Vol. I y II. Approved Methods of the AACC. St. Paul Minnesota

53.- DAVIS, J.C. Statistical and data Analysis. New York. Hohn Wiley & Sons. 1973.

54.- PADUA JORGE. Paquete estadístico: oferta y condiciones para su utilización e interpretación de resultados. Colegio de México. Tercera impresión, 1985 Impreso en México.

55.- SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-F-7-1982. Harina de Trigo. Dirección General de Normas.

56.- FRIEND C.P., SERNA-SALDIVAR S.O. AND ROONEY L.W. 1992 Increasing the fiber content of wheat tortillas. Cereal Foods World. April Vol. 37, No. 4 p.p:325-328.

57.- A.H. BLOKSMA. 1990 Dough structure, dough rheology, and baking quality. Cereal Foods World. p.p: 237-244.

58.- FERRERO, CRISTINA. 1993 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