



EL SABER DE MIS HIJOS
HARÁ MI GRANDEZA

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos
Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Especialidad en Almacenamiento y Procesamiento de Granos

**Calidad de Tortillas Preparadas con Harinas de Diferentes
Niveles de Extracción de Trigos (*Triticum aestivum*)
de Pericarpio Rojo y Blanco**

TESIS

que para obtener el Grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Ramón Buitimea Valdez

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

DEL AUTOR

Este trabajo se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de Maestro en Ciencias, Especialidad Almacenamiento y Procesamiento de Granos de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Universidad de Sonora, para ponerla a disposición de los interesados. Se puede obtener autorización para reproducir y/o referirse este manuscrito, en forma parcial o total, a través del Coordinador del Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos, cuando considere que dicha propuesta apoye el avance académico.

En cualquier otra situación, se debe obtener autorización del autor.

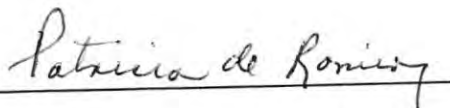
A t e n t a m e n t e



RAMÓN BUITIMEA VALDEZ

APROBACIÓN DEL ASESOR

Este trabajo se aprobó en la fecha que se señala a continuación:



Dra. Patricia Isabel Torres Chávez

25 de Octubre de 2002

Fecha

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad de Sonora**, por darme esta oportunidad de superación profesional muy importante en mi vida.

Al **Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA)**, por todas las facilidades prestadas para el desarrollo del presente trabajo.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por el apoyo económico brindado para la realización de mis estudios y del presente proyecto.

A la **Kansas Wheat Commission** y a la **Kansas State University** por el apoyo económico para la realización de este proyecto

Al **Dr. Benjamín Ramírez Wong**, por darme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo, por su apoyo y dedicación.

Muy especialmente a mi directora de Tesis, la **Dra. Patricia Isabel Torres Chávez**, por su apoyo en muchos momentos difíciles dentro de la Maestría, por sus sugerencias y la atinada dirección del trabajo realizado.

A mis sinodales, **Dr. Franciso Javier Cinco Moroyoqui** y al **Dr. José Cosme Guerrero Ruiz**, por las valiosas sugerencias y consejos durante la revisión del presente trabajo así como en su mejoramiento.

A las maestras integrantes del proyecto “Market Scale Evaluation of White Wheat in Mexican Flour Tortilla Manufacturing”, **Q.B. Guadalupe A. López A.**, **M.C. Concepción L. Medina R.**, **M.C. Refugio Ortega Ramírez.**, **M.C. Ana Irene Ledesma Osuna** y especialmente para la **M.C. María Guadalupe Salazar García**, por su amistad y por el apoyo para la culminación de este trabajo.

Al personal de la Tortillería "**La Norteña**", especialmente al señor **Jorge Marín** por el interés y las facilidades prestadas para este trabajo.

DEDICATORIAS

A **Dios**, por brindarme serenidad y paciencia en los momentos difíciles y darme fuerza para cumplir una más de mis metas.

A mis Padres: **Pedro y Alicia**, por su amor y apoyo en los momentos más importantes de mi vida, **¡QUE DIOS LOS BENDIGA!**

A mis Hermanas: **Alicia**, porque sin tu apoyo y cariño, el camino recorrido sería más difícil. A **Faby y Juan**, porque sé que cuento con ustedes siempre.

A mi Sobrino: **Juanito**, por tu alegría y por tu inocencia, por traer más felicidad a nuestras vidas.

A mis Hermanos: **Pedro, Poli, Santos** y especialmente para **Martín** por la amistad que nos une y porque juntos hemos vivido momentos inolvidables.

A mi Novia: **Griselda**, gracias por brindarme tu Amor y Confianza. Gracias por darme la oportunidad de amarte.

A mi Tío: **Pedro Valdez**, por ser un ejemplo de consistencia, perseverancia y honradez en la vida. Tío: sin tu apoyo, nada de esto sería posible.

A mi Raza: **Mariano, Juan Torres, Pedro, y Abraham “El Lic.”** Porque ustedes son el ejemplo de la verdadera amistad.

A todos mis compañeros y amigos de la **Maestría**, tanto **Alumnos** como **Maestros**, por todos los momentos que hemos compartido.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS.	VIII
LISTA DE FIGURAS.	X
RESUMEN.	XII
INTRODUCCIÓN.	1
OBJETIVOS.	5
Objetivo General.	5
Objetivos Específicos.	5
REVISIÓN DE LITERATURA.	6
Estructura del Grano de Trigo.	7
Clasificación de los Trigos.	8
Composición Química.	11
Control de Calidad en Harinas.	13
Proceso de Molienda.	15
Propiedades Reológicas de la Masa.	17
Tortillas de Harina de Trigo.	19
Proceso de Elaboración de Tortillas de Harina de Trigo.	20
MATERIALES Y MÉTODOS.	22
Materia Prima.	22
Análisis de las Harinas.	22
Pruebas Reológicas.	23

ÍNDICE DE CONTENIDO (Cont.....)

	Página
Formulación y Preparación de las tortillas.	24
Evaluación de las Tortillas.	27
Evaluación Sensorial.	28
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	31
Características de las Harinas.	31
Pruebas Reológicas.	40
Características de las Tortillas.	50
Propiedades Texturales de las Tortillas.	59
Rollabilidad.	59
Modulo de Elasticidad.	65
CONCLUSIONES.	73
RECOMENDACIONES.	75
REFERENCIAS.	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Análisis de varianza, valor de F, de la composición química de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	32
2. Valores promedio de la composición química de harina de trigo con diferentes niveles de extracción.	33
3. Análisis de varianza, valor de F de gluten seco y sedimentación de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	35
4. Valores promedio de gluten seco y sedimentación de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	36
5. Análisis de varianza, Valor de F, para color en harinas de trigo de diferentes niveles de extracción.	38
6. Valores promedio de color para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	39
7. Análisis de varianza, valor de F, para distribución de tamaño de partícula de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	41
8. Análisis de varianza, valor de F, de parámetros farinográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	45
9. Valores promedio de parámetros farinográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	46
10. Análisis de varianza, valor de F, de parámetros alveográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	48

ÍNDICE DE TABLAS (Cont.....)

11. Valores promedio de parámetros alveográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.	49
12. Análisis de varianza, valor de F, para humedad, peso, grosor y diámetro de tortilla de diferentes tipos de harina y diferentes niveles de extracción..	51
13. Valores promedio para humedad, peso, grosor y diámetro de tortillas de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción. . . .	52
14. Análisis de varianza, valor de F, para color en tortillas de diferentes tipos de harinas y diferentes niveles de extracción.	54
15. Valores promedio de color en tortillas de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción.	55
16. Análisis de varianza, valor de F, para evaluación sensorial de tortillas de harina con diferentes niveles de extracción.	57
17. Valores promedio de evaluación sensorial en tortillas de diferentes tipos de harina y diferente nivel de extracción.	58
18. Análisis de varianza, valor de F, para modulo de elasticidad de tortillas de harina de trigo con diferentes niveles de extracción y diferentes condiciones de almacenamiento.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Diagrama de flujo del proceso comercial para elaborar tortillas de harina de trigo.	25
2. Porcentaje acumulativo retenido para la determinación de tamaño de partícula en harinas de trigo blanco.	42
3. Porcentaje acumulativo retenido para la determinación de tamaño de partícula en harinas de trigo rojo.	43
4. Porcentaje acumulativo retenido para la determinación de tamaño de partícula en harinas de trigo variedad Rayón.	44
5. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre la rollabilidad de la tortilla de harina de trigo blanco con 74, 80 y 100% de extracción. . .	60
6. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre la rollabilidad de la tortilla de harina de trigo rojo con 74, 80 y 100%.	62
7. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre rollabilidad de la tortilla de harina de trigo de la variedad Rayón con 74, 80 y 100% de extracción.	64
8. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo blanco con 74, 80 y 100% de extracción.	67

ÍNDICE DE FIGURAS (Cont.....)

9. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo rojo con 74, 80 y 100% de extracción.	69
10. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo de la variedad Rayón con 74, 80 y 100% de extracción.	71

RESUMEN

Con el propósito de evaluar harinas con diferentes niveles de extracción en su capacidad para producir tortillas de buena calidad, se fabricaron tortillas en una planta comercial. Se utilizaron trigos de pericarpio rojo, trigos blancos y trigos del grupo uno, evaluándose principalmente textura y aceptabilidad mediante pruebas de laboratorio y análisis sensorial.

Las harinas se caracterizaron física, química y reológicamente mediante mediciones de color, análisis químico proximal, contenido de almidón, gluten, prueba de sedimentación, parámetros alveográficos y farinográficos. Para la elaboración de la tortilla, se utilizó una formulación determinada en el laboratorio. Se contó con el apoyo de una fábrica comercial, la cual proporcionó el equipo y aditamentos necesarios. Se midieron parámetros como tiempo de mezclado, tiempo de desarrollo, tiempo de maduración. Las determinaciones realizadas a la tortilla fresca fueron peso, diámetro, espesor y humedad. También se realizó un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad de las tortillas preparadas con harinas de diferentes niveles de extracción, además se evaluó su estabilidad textural durante un período corto de almacenamiento.

La evaluación fue en función de las características observadas, pero en forma más importante, en función de la aceptabilidad y estabilidad textural en almacenamiento.

El nivel óptimo de extracción fue el de 74% para los tres tipos de harina. Sin embargo, las tortillas preparadas con harinas de los niveles de extracción de 80 y 100%

obtuvieron en el análisis sensorial, una calificación similar a las preparadas con harina de 74% de extracción; aunque las tortillas de trigos blancos presentaron un color más claro.

La buena calidad del gluten de trigo blanco redujo el efecto negativo de la presencia de partículas de mayor tamaño en la flexibilidad de las tortillas durante su almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

La tortilla de harina de trigo es un producto de panificación consumido tradicionalmente en la parte norte de México, convirtiéndose en los últimos 10 o 15 años en un alimento muy popular en los Estados Unidos. En México, la tortilla es un producto indispensable en la dieta de la mayoría de las familias. Su elaboración principalmente se lleva a cabo a nivel doméstico; conocidas popularmente como tortillas caseras, se elaboran de manera artesanal, con recetas que van pasando de generación en generación y las cuales están compuestas de agua, manteca, sal y harina principalmente. La fabricación de tortillas a nivel comercial ha ido en aumento de manera importante, al grado de que en determinados lugares del país, principalmente en las ciudades existen pequeñas industrias dedicadas a esta labor.

En el pasado, la tortilla de harina se produjo en los Estados Unidos en forma casera por familias en sus propias fabricas en importantes áreas de población hispana (Qarooni, 1993). Hoy, la tortilla de harina es una de las industrias de más rápido crecimiento en el sector de alimentos a base de granos en los Estados Unidos (Davison, 1999). El valor de los envíos de la industria de la tortilla es el doble de la cantidad según el censo económico de 1997 que en el de 1992 (Davison, 1999) y las ventas se proyecta que pasen de más de cuatro billones de U.S. dólares en el año 2000 (Dally y Navarro 1999). De acuerdo con la producción, cerca del 60% de los productos son consumidos por no hispanos (Dally y Navarro, 1999). La larga vida de anaquel, el sabor familiar del trigo y la versatilidad han contribuido a la popularidad de la tortilla de harina en gran cantidad de población no hispana (Waniska, 1999).

El cambio a la producción a gran escala y diferentes modelos de distribución, demanda productos que mantengan características frescas por largos períodos de tiempo, lo que hace imperativo el control de calidad en materia prima y en el proceso.

Además de consumirse como sustitutos del pan, las tortillas se utilizan para envolver o para rellenarse, por lo que deberán resistir el doblamiento y el estirado. Bello *et al* (1991), describe como tortilla de buena calidad a la que resiste el estirado, con una blandura exterior (costra) y una capa e hinchado interior (miga). Además, la tortilla buena tiene una apariencia uniforme blanco satín, con pocas manchas cafés.

Se ha reconocido que la flexibilidad (Torres *et al*, 1993, Qarooni, 1993, Waniska, 1999) es una de las características texturales más importantes de la tortilla. La flexibilidad permite a la tortilla un doblado y un enrollado sin que ésta se quiebre. La tortilla de buena calidad es blanca, no translúcida; las manchas translúcidas se consideran como defectos (Bello *et al* 1991). Se ha observado que las tortillas preparadas con harinas con un alto contenido de proteína presentan manchas translúcidas. Por otro lado, las tortillas preparadas con harinas de bajo contenido de proteína son blancas y con muy buena apariencia. Sin embargo, estas últimas tortillas pierden su flexibilidad y se vuelven menos enrollables rápidamente.

Las tortillas envejecidas descritas por Torres *et al* (1993) presentan un decremento de la rollabilidad, un incremento de firmeza, pérdida de aroma y pérdida del sabor fresco típico de la tortilla. La retrogradación del almidón no tan es importante como en el pan en el desarrollo de cambios texturales durante el almacenamiento. Se ha observado que las

tortillas almacenadas bajo refrigeración guardan características texturales por largos períodos de tiempo más que las almacenadas a temperatura ambiente (Torres *et al* 1993). Parece ser que los cambios de textura están relacionados al fenómeno de difusión (transferencia de humedad del gluten al almidón parcialmente gelatinizado) más que al rearreglo molecular como sucede en la retrogradación del almidón. El corto tiempo de horneado no permite que la gelatinización tenga lugar completamente como ocurre en el pan (McDonough, 1996, Waniska, 1999), por lo tanto, la retrogradación del almidón es menor. Además, la retrogradación que ocurre, hace a la tortilla más dura, pero no afecta de manera importante la flexibilidad del gluten en la estructura de la tortilla (Waniska, 1999).

Se ha reportado repetidamente que el contenido de proteína en la harina se correlaciona con las características texturales que guarda la tortilla durante el almacenamiento (Bello *et al*, 1991, Qarooni *et al*, 1993, Suhendro *et al*, 1993, Wang y Flores, 1999) y también se ha reportado que las harinas con contenido moderado de proteína (11.5%) son más apropiados para el prensado caliente de tortillas (Serna-Saldivar 1988, Qarooni, 1993). Sin embargo, las harinas con alto contenido de proteína (11.5-14%) son necesarias para las tortillas que se fabrican por corte con dado (Serna-Saldivar, 1988).

Es importante que la harina para las tortillas tenga una alta absorción de agua (Qarooni, 1994) y que produzca masas extensibles. La extensibilidad le permite a la masa un leudado adecuado (en las tortillas americanas), y además el uso de cantidades menores de agentes reductores durante el proceso. Se ha reportado que el uso de agentes reductores decrecen la estabilidad de anaquel de las tortillas de harina (Friend *et al*, 1995)

Los trigos duros cultivados en Estados Unidos provienen generalmente de trigos rojos. Esta situación no se presenta en otros países productores de trigo, por ejemplo el trigo blanco de invierno es un cultivo predominante en Australia. Una razón por la que el trigo rojo se siembra tradicionalmente en Estados Unidos es por el dominio que presenta (mayor resistencia en climas húmedos) lo cual no se ha encontrado con los trigos blancos (Symns y Cogswell, 1991).

El trigo blanco duro de invierno (HWW) es producido en la actualidad en algunas granjas americanas, y hoy en día está disponible para la industria de la panificación para su uso en una gran variedad de productos. El trigo blanco duro de invierno difiere genéticamente del trigo rojo duro de invierno ya que contiene un gene recesivo para el color del salvado (color blanco). El trigo blanco posee ventajas en color sobre otros trigos, por lo que es preferido en muchos productos hechos a base de granos incluyendo productos de panificación (Symns y Cogswell, 1991).

Los productos hechos con salvados y harinas de trigos enteros obtenidos de trigos blancos tienen un mejor sabor. Cuando se comparan productos de salvados y harinas de trigos rojos de invierno con productos de trigo blanco, estos últimos tienen una mejor apariencia a la vista del consumidor, esto ha llevado a hacer diferentes estudios en consumidores para conocer cual de los dos productos prefieren (Symns y Cogswell, 1991). Las características naturales de la harina del trigo blanco dan un ligero color dorado y un suave sabor a las tortillas. Estas tortillas pueden llegar convertirse en un producto natural de gran aceptación por los consumidores (Symns y Cogswell, 1991).

OBJETIVOS

General

Evaluar la calidad de tortillas preparadas con harinas de trigos de pericarpio rojo y trigos blancos con diferentes niveles de extracción, en base a su aceptabilidad y estabilidad textural en almacenamiento.

Específicos

1. Evaluar el comportamiento de harinas con diferentes niveles de extracción en la planta de producción comercial de tortillas de harina.
2. Evaluar la aceptabilidad de tortillas preparadas con diferentes niveles de extracción por medio de un análisis sensorial.
3. Evaluar las características texturales durante el almacenamiento de las tortillas preparadas con harinas de diferente nivel de extracción.
4. Determinar los niveles óptimos de extracción para la elaboración de tortillas de harina de trigo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Introducción

El origen del trigo no se conoce con certeza, aún cuando se tiene una buena cantidad de evidencias que indican que el trigo se desarrolló en las regiones áridas del Asia Menor. El trigo Emmer, generalmente se considera como uno de los ancestros de los trigos comunes actuales, porque se asemeja estrechamente a las especies de trigo encontradas en las regiones montañosas de Siria y Palestina (Pomeranz, 1978).

A los trigos se les clasifica generalmente de acuerdo a la especie, tipo comercial y hábito de crecimiento. Existen 16 especies, dos tipos comerciales y tres diferentes hábitos de crecimiento. Dentro del género *Triticum* se reconocen 16 especies de trigo, pero sólo dos de ellas el *Triticum aestivum* y *Triticum durum* se cultivan en gran escala. La característica genética que unifica a todos los miembros del género *Triticum* es que estos tienen 14 cromosomas (7 pares) o un múltiplo de 14 cromosomas (Moreno, 1982).

Los dos tipos comerciales principales son el trigo harinero (*T. aestivum*) y el trigo cristalino (*T. durum*). El trigo harinero cubre cerca del 90 % del área sembrada en todo el mundo y produce cerca del 94 % de la cosecha mundial de trigo. El trigo duro cubre cerca del 5 % de la producción mundial de trigo (Moreno, 1982).

Estructura del Grano de Trigo

Botánicamente el grano de trigo no es considerado una semilla sino una cariopsis, éste es de forma alargada y en su ápice tiene un haz de pequeños filamentos o pelusa. Desde el punto de vista tecnológico, el grano de trigo se divide en tres distintas partes: endospermo, germen y salvado; pues esta es la base de todos los métodos para separar y refinar el endospermo para su uso como alimento. Se aprovecha la ligereza y tenacidad del salvado para separarlo del endospermo que es más pesado (Pomeranz, 1978).

Pericarpio

Es la parte externa, sirve de cubierta protectora y constituye aproximadamente el 14 % del grano, está formado por una capa externa y otra interna. La capa externa recibe el nombre de pericarpio y a su vez se compone por epicarpio, epidermis, células transversales y endocarpio. La capa interna está compuesta por la testa que contiene pigmentos que dan color a las variedades rojas; el epispermo, que es una cubierta delgada y ligeramente coloreada y por último, la aleurona que hace contacto con el endospermo. El pericarpio se remueve durante la molienda y sus capas interiores (testa, epispermo, aleurona) se remueven más fácilmente que las exteriores ya que tienen una estructura más firme debido a su alto contenido de fibra (Kent, 1984).

Endospermo

Constituye el 83 % de grano de trigo en peso seco, del cual uno es el endospermo almidonoso que es la fuente principal de harina; el otro es el endospermo vítreo que se

encuentra en la capa superior y sus gránulos de almidón están embebidos en una matriz proteica, además aquí se encuentra el material mineral. Las proteínas de mayor calidad (gluten) están en el endospermo almidonoso (Pomeranz, 1978).

Germen

Es el constituyente menor del grano de trigo, es el 2.5 % y está situado en la parte inferior del dorso del grano. El germen contiene proteínas, azúcares y la mayor proporción de aceite del grano. Este se remueve junto con el pericarpio en el proceso de molienda del grano de trigo, recibiendo el nombre de salvado (Pomeranz, 1978).

Clasificación de los Trigos

Clasificación en México

En México, los trigos se han clasificado comercialmente en grupos dependiendo de las características del gluten y del uso final a que se le destinen: ((Norma Oficial Mexicana, NMX-FF-1996-SCFI).

Grupo 1. Trigos fuertes; generalmente con contenidos mejores de proteína, altos en peso específico, excelente volumen de pan y buen rendimiento en harina; el gluten es fuerte y elástico, aptos para la industria mecanizada de panificación y mejorador de trigos suaves o débiles.

Grupo 2. Trigos de gluten medio fuerte y elástico; apto para la industria del pan hecho a mano, mejorador de trigos suaves o débiles.

Grupo 3. Trigos de gluten suave y extensible; aptos para la industria galletera, tortillas, entre otros; se utiliza para mejorar las propiedades de trigos tenaces.

Grupo 4. Trigos tenaces, tienen gluten corto y poco extensible pero tenaz; aptos para la industria pastelera, donas y galletas.

Grupo 5. Trigos cristalinos de gluten corto y tenaz, aptos para la industria de pastas y sopas.

Clasificación en Estados Unidos

En estados Unidos de Norteamérica el trigo se clasifica de la siguiente manera: Existen ocho clases de trigo: trigo cristalino, trigo duro rojo de primavera, trigo duro rojo de invierno, trigo suave rojo de invierno, trigo duro blanco, trigo suave blanco.

El trigo cristalino incluye todas las variedades de trigo *durum*. Se utiliza para fabricar macarrones y tallarines; esta clase está dividida en tres subclases:

Trigo duro cristalino ámbar: (HADW) trigo duro con 75% o más de grano vítreo y duro de color ámbar; trigo cristalino ámbar: trigo duro con 60% o más pero menos del 75% de grano duro y vítreo de color ámbar; trigo cristalino: trigo duro con menos de 60% de grano duro y vítreo de color ámbar.

El trigo rojo fuerte de primavera: contiene mayor nivel de proteína, utilizado para la producción de pan de levadura de la más alta calidad y panecillos. Se subdivide en: a).

Dark Northern Spring Wheat: trigo rojo fuerte de primavera con 75% o más de granos oscuros, duros y vitreos. b). Northern Spring Wheat: trigo rojo duro de primavera con 25% o más pero menos de 75% de granos oscuros, duros y vitreos. c). Red Spring Wheat: trigo rojo duro de primavera con menos del 25% de granos oscuros, duros y vitreos.

El trigo rojo fuerte de invierno: incluye todas las variedades de trigo rojo fuerte de invierno. Se utiliza para la fabricación de pan de levadura de más alta calidad y panecillos.

El trigo rojo suave de invierno: incluye todas las variedades de trigo rojo suave, utilizado para pan sin levadura, tortas, pasteles y galletas. No tiene subdivisiones.

El trigo blanco fuerte: incluye todas las variedades de trigo blanco duro. No tiene subdivisiones. Utilizados para pan sin levadura, tortas, pasteles, galletas y fideos instantáneos, al igual que los demás trigos blancos.

El trigo blanco suave: todas las variedades de trigo blanco suave, se subdividen en: trigo blanco suave que no contiene más de 10% de trigo club blanco.

Trigo blanco de occidente: trigo blanco suave que contiene más del 10% de trigo blanco Club y más del 10% de otros trigos blancos suaves. Trigo blanco Club: trigo Club suave blanco que no contiene más del 10% de otros trigos blancos suaves (Proyecto SICA, Banco Mundial, 2001).

Los americanos consumen casi todo el trigo blanco en productos hechos con harina refinada, lo cual produce un sabor menos intenso que en el trigo entero o la fibra. El trigo rojo tiene un sabor más fuerte que el trigo blanco (Symns y Cogswell, 1991).

Composición Química

La composición química del grano de trigo varía más que la de cualquier otro cereal en el contenido de proteína. Los diferentes tejidos del grano varían en su composición. Los principales factores que originan estas variaciones son diferencias genéticas, temperatura, cantidad de lluvia, tipo de cultivo, características del suelo y fertilización (Inglett, 1974).

Carbohidratos

Son los constituyentes más abundantes, representando alrededor del 83 % de materia seca. El almidón es el mayor componente, pues forma cerca del 80 % del endospermo. Otros carbohidratos son aproximadamente 2 % de pentosanas, 2 % de azúcares y 0.4 % de celulosa aproximadamente. El almidón es el principal carbohidrato de reserva en el trigo y se encuentra en las células del endospermo en forma de partículas características llamadas gránulos. Estos tienen propiedades físicas que los hacen importantes tecnológica y funcionalmente en procesos como el de panificación. Los gránulos intactos son insolubles en agua; sin embargo, cuando se calientan en exceso de agua la absorben, se hinchan y finalmente se desintegran; este proceso es llamado gelatinización. Durante la molienda algunos gránulos sufren daños físicos. Estos gránulos absorben más agua que los gránulos normales y son más susceptibles al ataque de las amilasas. Ambas propiedades son importantes para la funcionalidad del almidón en la panificación (Bushuk, 1986; Pomeranz, 1978).

Proteínas

Son el constituyente más importante del grano de trigo con relación a su principal uso: la panificación. En términos de funciones fisiológicas de la semilla, hay tres tipos de proteínas de trigo: de almacenamiento, estructurales y metabólicas. Las prolaminas forman los llamados cuerpos proteicos, que son la principal fuente de nitrógeno durante la germinación de la semilla. La selección de aminoácidos por planta, para servir con mejor eficiencia como fuente de nitrógeno ha producido una proteína que es única en funcionalidad para panificación aunque de calidad nutricional relativamente baja. La cantidad de glutenina soluble, está relacionada indirectamente con la calidad de panificación y mientras que la cantidad insoluble está directamente relacionada (Orth *et al*, 1972).

Las proteínas del endospermo son únicas, debido a su alto contenido de prolamina y glutenina, las cuales son las responsables de sus propiedades de panificación. Las albúminas y las globulinas, se consideran de origen citoplásmico, ya que contienen todas las enzimas del endospermo y algunas proteínas inactivas (Orth *et al*, 1973).

Lípidos

Los lípidos en el grano de trigo varían en un rango de 2-4 %. Aproximadamente la mitad del total de ellos se encuentran en el germen, una quinta parte en el endospermo y el resto en otras estructuras, principalmente en la capa aleurona. Los lípidos son muy importantes, porque al descomponerse originan problemas de rancidez en las harinas; el germen que contiene una gran cantidad de lípidos tiene que eliminarse durante la molienda,

además, los lípidos del endospermo imparten blandura a los productos de panificación mejorando así su textura (Kent, 1984).

Vitaminas y Minerales

Forman menos del 1 % del endospermo del trigo y el mayor constituyente de la fracción mineral son los fosfatos y sulfatos de potasio, magnesio y calcio. Elementos de menos importancia incluyen fierro, manganeso, zinc y cobre. Además, se han detectado cantidades trazas de otros elementos en el endospermo del trigo (Kent, 1984).

El trigo tiene un contenido relativamente alto en tiamina y niacina comparado con otros cereales, las cuales se pierden en el proceso de molienda. En las prácticas de molienda, la harina es generalmente enriquecida con vitaminas hasta los niveles contenidos en el trigo entero (Kent, 1984).

Control de Calidad en Harinas

La calidad de harinas representa el compendio de varias características medibles que son significativas en términos de uso final. La calidad de la harina puede ser definida como la capacidad para obtener un producto final uniformemente bueno y de buenas condiciones, donde estén de acuerdo tanto el proveedor como el usuario (Pratt, 1971). En un amplio sentido, la fuerza de la harina es algunas veces un sinónimo de calidad de la harina. La presencia o ausencia de fuerza, son factores que gobiernan la conveniencia de la harina para un uso final específico. La fuerza se asocia a el trigo o a la proteína de la harina e incluye medidas de calidad y cantidad. Hay muchos métodos para evaluar la fuerza de la masa, las

cuales son objetivas y subjetivas; sin embargo, estas pruebas deben estar relacionadas con otras características en la harina (Mailhot y Patton, 1988).

Los factores de calidad de la harina se pueden dividir al menos en dos grupos: los que son inherentes al trigo, como lo son el resultado del manejo genético en una clase y variedad particular, además de los cambios que pueden traer las condiciones de crecimiento, incluyendo la fertilización, el clima (sequía, calor, heladas, lluvias, etc.) y daños; y los que pueden ser alterados durante el proceso de conversión del trigo en harina. El último podría subdividirse en un segundo grupo de factores de calidad, algunos de los cuales son controlables entre los límites razonables, y que pueden ser modificados intencionalmente para mejorar el proceso del producto final: blanqueado y madurado, adición de suplementos enzimáticos, molienda fina y clasificación por aspecto. En algunas discusiones de componentes de calidad, se debe asignar un peso para cada componente, dependiendo de los requerimientos del uso final (Mailhot y Patton, 1988).

La calidad y cantidad de las proteínas se deben considerar como factores primarios en medida del potencial de la harina en relación con su uso final. La expresión cuantitativa de la proteína cruda se relaciona con el nitrógeno orgánico total en la harina, mientras que en las evaluaciones de calidad se relacionan específicamente con las características fisicoquímicas en los componentes del gluten (Udy, 1956).

La cantidad de las proteínas se ha medido por el análisis clásico del kjeldahl, el cual asume una relación constante entre el nitrógeno total y el arreglo de aminoácidos que se enlazan juntos para formar proteínas. En la harina de trigo, esta relación se expresa

multiplicando el contenido de nitrógeno por 5.7. Por muchos años se ha determinado por este método al cual se le designa como proteína cruda (Udy, 1956).

Proceso de Molienda

El objetivo de la molienda es obtener los máximos rendimientos de harina cuando se procesan trigos panaderos o semolina cuando se procesan trigos cristalinos. Los subproductos de esta industria son el salvado y el salvadillo; el proceso convencional empieza cuando el trigo se somete a una operación de limpieza para remover metales, residuos vegetales, piedras y otros granos (Serna-Saldívar, 1996).

El grano limpio se acondiciona antes de pasar a la molienda; el acondicionamiento es la simple adición de agua al grano con el objetivo de poder separar más efectivamente el pericarpio del endospermo, suavizarlo para lograr una mejor y más efectiva reducción de tamaño y lograr un mejor comportamiento de las fracciones durante el tamizado (Hoseney, 1994).

La molienda se realiza con dos tipos de molinos de rodillos: molinos de quiebra y molinos de reducción de partículas. La separación y clasificación de las partículas se realiza con tamizadores y purificadores. El propósito de la molienda es primeramente quebrar el grano en pedazos para obtener el pericarpio o salvado en forma de hojuelas y sin residuos del endospermo. Después, los pedazos del endospermo gradualmente se reducen hasta obtener una harina que cumpla con las especificaciones de color y cantidad de ceniza y proteína (Serna-Saldívar, 1996).

La calidad de las harinas que se obtienen en el proceso de molienda va a depender fuertemente de la clase de trigo. Existen básicamente tres grandes grupos de harinas: las panaderas, las galleteras y harinas multifuncionales. Las mejores harinas panaderas contienen un alto contenido proteico que se traduce en gluten fuerte, absorción alta de agua y mejor volumen y estructura del pan. Las harinas con bajo contenido proteico son preferidas por las industrias productoras de galletas, pasteles y productos leudados con agentes químicos. Las harinas multifuncionales tienen un contenido de proteína intermedio entre el intervalo recomendado para las harinas suaves y panaderas. Estas son utilizadas generalmente por amas de casa, para la producción de pan, galletas, pasteles o tortillas de harina (Serna-Saldívar, 1996).

El proceso de molienda de la harina de trigo comprende una serie de operaciones de quebrado, reducción mediana y separación por cernido. El tamaño de partícula es un concepto muy importante en dicha molienda. La harina resultante varía en tamaño de partícula y difiere en propiedades químicas y físicas. Para el estudio del efecto del tamaño de partícula de la harina en productos, se ha separado la harina de trigo por tamizado o por aireado de acuerdo a diferencias de densidad y tamaño de partícula (Wang y Flores, 1999). Algunos estudios muestran que la harina con tamaño de partícula media fraccionada por tamizado tiene mejor potencial de horneado (Lorenz, 1986).

Otras muestran que las harinas con tamaño de partícula media, fina y fraccionadas por aireado tienen mejor potencial de cocción por el alto contenido de proteínas en esas fracciones (Wichser *et al*, 1948).

Muchos investigadores han tratado de entender a la proteína en el grano de trigo, utilizando tinciones y microscopía electrónica. Estos estudios muestran que el área total entre los gránulos de almidón está rellena con proteína y las proteínas solubles en agua rodean dichos gránulos. Los cuerpos proteicos de trigos duros y blandos en los granos maduros, son muy diferentes (Barlow *et al*, 1973). Los enlaces entre la proteína y los gránulos de almidón son más fuertes en el trigo duro que en el trigo blando. Durante la molienda, los granos de trigo blando se fracturan con facilidad en la proteína almacenada, por lo tanto, los gránulos de almidón quedan libres, teniendo como resultado harinas con poco daño en los gránulos de almidón. Algunos gránulos de almidón de trigo duro son dañados por la molienda porque están fuertemente unidos a la proteína (Wang y Flores, 1999).

Propiedades Reológicas de la Masa

La reología ofrece una herramienta para obtener información de la estructura de los materiales como la masa y de su comportamiento durante el proceso. Las propiedades reológicas también son importantes para determinar la calidad de las masas. La estructura de la masa se describe en tres niveles de resolución: molecular, microscópico y milimétrico. El nivel más conveniente para describir y entender el comportamiento de una masa dependerá del fenómeno a examinarse (Bloksma, 1990).

Para el mezclado de la masa se utiliza el farinógrafo y para producir información acerca del comportamiento de la masa durante la etapa de mezclado. El instrumento utilizado para determinar la extensión de la masa es el extensógrafo, el cual nos da

información acerca de la resistencia, extensión y estabilidad, la cual es muy importante para la retención de gas durante la fermentación y el horneado. El amilógrafo y el viscógrafo han sido diseñados para estudiar los cambios en las propiedades reológicas que son causadas por la gelatinización del almidón en suspensiones diluidas (Shuey, 1975).

El objetivo de entender el comportamiento de la masa en las condiciones de proceso o encontrar el porqué un lote particular de harina falla durante el proceso de elaboración de algún producto en la velocidad y extensión de la deformación durante el paso relevante del proceso (Prins y Bloksma, 1983).

La ruptura de las membranas de la masa durante la fermentación y en particular durante el leudado, restringe el volumen de la hogaza que puede ser obtenido. Así la información de la ruptura de las propiedades es importante, ya que se determina la fuerza de tensión o si la masa tiene poca extensión esto por medio de piezas de prueba, las cuales deben sufrir una gran deformación para que la ruptura ocurra. Esta información puede ser obtenida por el alveógrafo (Bloksma, 1990).

Las diferencias cualitativas pueden ocurrir entre resultados de experimentos con pequeñas y grandes deformaciones. Por ejemplo, en medidas con pequeñas amplitudes, se encontró que hay diferencias entre variedades de trigo que pueden ser compensados completamente adaptando la cantidad de agua adicionada en la preparación de las masas. Sin embargo, en panificación o en pruebas de extensión es en el extensógrafo, donde ocurren grandes deformaciones (Hibberd, 1970).

Tortillas de Harina de Trigo

Las tortillas de harina de trigo son muy consumidas en México y su popularidad se ha incrementado en los Estados Unidos. En 1985, fue en aumento la venta anual de tortillas de harina, tortillas de maíz, tacos y frituras manufacturadas por compañías estadounidenses.

Aunque las tortillas son producidas con casi los mismos ingredientes del pan, los procesos tecnológicos y las características del producto son totalmente diferentes. Una tortilla de harina se define como plana, circular, de ligero color blanco, generalmente con un promedio de grosor de 1/16 pulgadas y un diámetro de 6-13 pulgadas (Serna- Saldívar *et al*, 1988). Las tortillas de harina se comen con frijol, carne, queso y otros ingredientes, han sido producidas por siglos y en tiempos pasados las tortillas se hacían diariamente en forma doméstica. La harina de trigo se mezclaba con agua, manteca y sal para formar la masa, esta se hacía en forma de disco a mano y se sometía a cocción en una plancha caliente. Hoy, la tortilla de harina se manufactura industrialmente, siguiendo los mismos principios. La tecnología para la producción de la tortilla en Estados Unidos es algo diferente a la de México, esto es debido a la preferencia de los consumidores, por necesidad de alta eficiencia, demanda de uniformidad y expectativas de vida de anaquel. Muchas de las tortillas producidas para los mercados de hoy son manufacturadas por prensado en caliente, por corte de discos o extendidas a mano (McDonough *et al*, 1996).

La preparación de la masa y la utilización de ingredientes varía en cantidades en las diferentes operaciones. Consecuentemente las tortillas tienen diferentes usos y propiedades. La principal diferencia es la forma en la cual se forma la masa. Cada forma de operación

requiere diferentes especificaciones de harina, preparación de la masa y condiciones de preparación (Serna-Saldívar *et al*, 1988).

Proceso de Elaboración de Tortillas de Harina de trigo

Las masas de harina para tortilla difieren de aquellas para elaborar pan principalmente en el contenido de agua y grasa utilizadas (Serna-Saldívar *et al*, 1988). Mientras que la formulación para pan contiene del 2 al 4% de grasa, la masa de harina para tortillas contiene alrededor de 15%; además, las condiciones de procesamiento y específicamente el horneado son muy diferentes entre la elaboración de pan y tortillas siendo las temperaturas utilizadas menos drásticas y por menor tiempo en éstas últimas.

Harina

La harina es el ingrediente más importante, y por medio de hidratación y acción mecánica ésta llega a ser una masa, la cual se desarrolla de acuerdo a su contenido y características de sus proteínas (Serna-Saldívar *et al.*, 1988). Las proteínas de la harina están compuestas por dos tipos principales: gliadina y glutenina, las cuales son principalmente responsables de la formación del gluten y comportamiento reológico de la masa (Badui, 1993).

Grasa/aceite

La mayoría de las formulaciones para tortillas contienen entre 5 y 15% de manteca. Este ingrediente tiene una gran influencia en la maquinabilidad de la masa, sabor y textura de la tortilla. La manteca se incorpora a la red del gluten durante el mezclado y la

maquinabilidad se mejora debido a que la grasa reduce la viscosidad de la masa. La grasa mejora la estabilidad en el anaquel debido a que actúa como lubricante e interactúa con las proteínas y el almidón durante el amasado, horneado y enfriamiento; además, probablemente disminuye el envejecimiento por modificación de las interacciones de los componentes del almidón especialmente amilosa (Serna- Saldívar, 1988).

Sal

La mayoría de las formulaciones contienen de 1.3 a 2 % de sal. La masa con mayor contenido de sal es menos viscosa debido a que la sal fortalece y endurece el gluten (Hoseney, 1944). La sal afecta el sabor de la tortilla, vida de anaquel (disminuye la actividad de agua) y maquinabilidad de la masa (Serna-Saldívar, 1988).

Agua

El agua es el segundo ingrediente principal; sirve como medio para la incorporación y distribución de otros ingredientes y además se requiere para la formación del complejo del gluten. La temperatura del agua generalmente se ajusta para proporcionar una masa a 28°C, lo cual es óptimo para el reposo. En contraste con el pan, las tortillas se procesan utilizando menos agua y más manteca en la formulación; consecuentemente, el gluten no está completamente desarrollado como lo está en el pan. Generalmente la cantidad de agua varía desde 45 a 55%, dependiendo ya sea, del tipo de harina, proteína de la harina, tipo de operación y presencia de otras sustancias tales como gomas y manteca (Serna-Saldívar , 1988).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizó la variedad de trigo mexicana Rayón con tres niveles de extracción (74, 80 y 100%) y se utilizaron también harinas de trigo blanco y harinas de trigo rojo provenientes del Estado de Kansas, E.U, con tres niveles de extracción (74, 80 y 100%).

Análisis a las Harinas

Pruebas Fisicoquímicas

Análisis químico proximal. A todas las muestras de harina se les realizó un análisis químico proximal de acuerdo a las técnicas de la A.A.C.C (2000). Los análisis que se llevaron a cabo fueron los siguientes: contenido de proteínas (método 46-13), contenido de grasa (método 30-20), contenido de cenizas (método 08-03) y contenido de humedad (método 44-40).

Contenido de gluten. La cantidad de gluten se determinó por medio del equipo denominado Glutomatic (marca Falling Number modelo 2100) de acuerdo al método mecánico 38-11 de la A.A.C.C. (2000).

Prueba de sedimentación. El valor de sedimentación indica la capacidad de hinchamiento de las proteínas del gluten presentes en la harina. Se utilizó el método 56-62 de la A.A.C.C. (2000).

Tamaño de partícula. El tamaño de partícula se evaluó utilizando un Rot- Tap de mallas U.S Estándar, # 100 y 120 respectivamente.

Color. La medición de color se realizó en todos los tratamientos por medio del colorímetro Hunter Lab para determinar los valores de **L**, **a** y **b** (Minolta CR-300, Minolta Corporation, Ramsey, NJ) con una calibración estándar CR-44.

Pruebas Reológicas

Parámetros alveográficos. Se utilizó un alveógrafo (marca Chopin) siguiendo el método estándar de Chopin (1978). Las pruebas se llevaron a cabo para obtener los valores de extensibilidad (L), tenacidad (P) y el trabajo de deformación (W).

Parámetros farinográficos. El farinógrafo mide y registra la resistencia de la masa al mezclado y es usado para evaluar la absorción de harinas y determinar la estabilidad y otras características de las masas durante el amasado (A.A.C.C. 2000). Los parámetros farinográficos se obtuvieron utilizando un farinógrafo (marca Brabender tipo 810143) de acuerdo al método farinográfico 54-21 de la A.A.C.C. 2000) y los parámetros evaluados de los farinogramas fueron los siguientes: Absorción de agua, definida como la cantidad de agua requerida para centrar la curva del farinograma en la línea de las 500 unidades Brabender (UB); normalmente se denota como porcentaje en relación de la harina utilizada. Tiempo de desarrollo, este valor es el tiempo medido desde el momento en que el agua ha sido adicionada hasta el punto en donde la curva alcanza su máxima consistencia. Estabilidad, está definida como la diferencia entre el tiempo de llegada y tiempo de salida.

Formulación y Preparación de Tortillas

Las harinas se procesaron de acuerdo con el siguiente método: muestras de 11 kilogramos de harina se procesaron en una fábrica comercial de tortillas. Donde se utilizó una boleadora (marca Villamex, modelo V-180, patente 972707-E, serie 0120); un horno (marca Villamex, modelo 1300 A RA 001) y una mezcladora (marca Villamex). La fórmula de las tortillas consistió en harina (100%), sal (2 %) y manteca (15%).

La absorción de agua de las tortillas se basó en la absorción que indicó el farinógrafo (Brabender Instruments, Inc.) a 450 unidades brabender. Los porcentajes de los ingredientes para las tortillas se modificaron haciendo pruebas de laboratorio hasta llegar a las cantidades adecuadas (Serna-Saldívar, 1988).

La Fig. 1 muestra el proceso para la elaboración de la tortilla a nivel comercial. La harina de trigo que tenía un temperatura (T) de $34.1 \pm 2.3^{\circ}\text{C}$, se mezcló con manteca, sal y agua. En un primer paso, se homogenizó la harina junto con la manteca y la sal, dándosele un tiempo de mezclado (TM) de 10 minutos. Posteriormente, se le adicionó el agua con una temperatura (T) de $33.7 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ para someterlo a un segundo mezclado que presentó variaciones de 10.3 - 22 minutos según el tipo de harina o el nivel de extracción.

Al finalizar el mezclado se obtuvo la masa la cual presentó una T de $33.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, sometiéndola enseguida a un primer reposo antes del moldeado, la cual presentó desde 0 a 13 minutos de tiempo de reposo (TRE). Se llevó a cabo el moldeado para obtener las bolas de masa, para enseguida someterlos a un segundo reposo el cual presentó un tiempo de

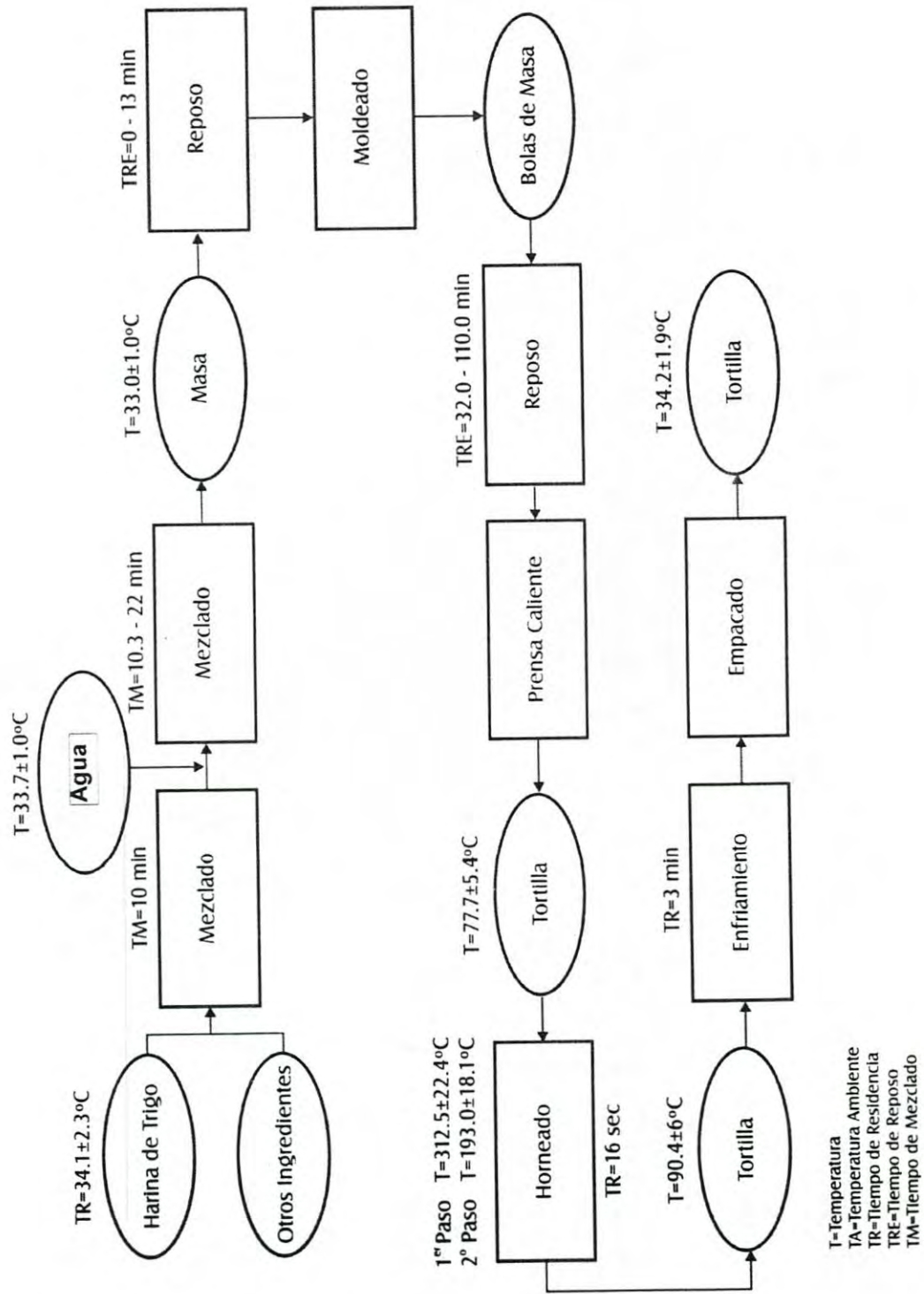


Fig. 1. Diagrama de flujo del proceso comercial para elaborar tortillas de harina de trigo.

reposo (TRE) entre 32 y 110.0 minutos también dependiendo del tipo de harina o el nivel de extracción.

El siguiente paso fue someter a las bolas de masa a un prensado caliente donde la tortilla presentó una T de $77.7 \pm 22.4^{\circ}\text{C}$. Para el horneado, la tortilla se sometió a dos pasos dentro del horno para un cocimiento más uniforme. En el primer paso, la tortilla presentó una temperatura de $312.5 \pm 22.4^{\circ}\text{C}$ y en el segundo paso tuvo una temperatura de $193.0 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$; el tiempo de residencia en el horno fue de 16 segundos.

Al salir del horno, la tortilla tuvo una temperatura de $90.4 \pm 6.0^{\circ}\text{C}$, la cual se sometió inmediatamente a un proceso de enfriamiento con un tiempo de residencia de 3 minutos en la malla. Después, la tortilla previamente enfriada se empacó, finalmente la tortilla ya empacada presentó una T de $34.2 \pm 1.9^{\circ}\text{C}$.

Para el almacenamiento de las tortillas se realizó el siguiente proceso: se almacenaron las tortillas los días 0, 1, 2 y 3, en tres repeticiones tanto para temperatura ambiente como para refrigeración, durante los cuales se realizaron pruebas de peso, diámetro, espesor, rollabilidad y módulo de elasticidad diariamente. La evaluación sensorial se llevó a cabo el último día (día 3).

Después de tres días de almacenamiento, se realizó la evaluación sensorial con personas a las que sólo se les proporcionaron breves indicaciones sobre la forma de calificar, sin dar más detalles sobre los tipos de tortillas ni sobre los niveles de extracción.

Evaluación de las tortillas

Físicas

Peso, diámetro y espesor. Para el peso, se tomaron diez tortillas y se registró el peso en gramos de cada una de ellas. El diámetro se midió tomando diez tortillas usando una regla graduada en centímetros, lo anterior se realizó midiendo cuatro veces el diámetro de cada tortilla en forma perpendicular, obteniendo finalmente un valor promedio. Para la prueba de espesor se tomaron 10 tortillas y se les midió su espesor con la ayuda de un vernier, obteniendo su valor en milímetros (Vázquez, 1995).

Texturales

Modulo de Elasticidad. Para realizar esta evaluación se utilizó una celda de kramer que consiste de un dispositivo adaptado a un texturómetro (marca Instron, modelo 4465 standard). Este dispositivo simula la masticación que se efectúa al comer un alimento. El método consistió en medir la fuerza requerida para romper un pedazo de tortilla de área conocida. Se cortó una pieza del centro de la tortilla y se colocó en una caja rectangular con que cuenta la celda de kramer y bajando el cabezal del texturómetro a una velocidad de 10 cm/min, se aplicó una compresión uniaxial que registró la fuerza requerida para romper la tortilla. Una vez realizada la prueba, el texturómetro registró una curva en la que la altura del pico fue la fuerza máxima que se aplicó a la tortilla para poder romperla. La firmeza se calculó como el módulo de elasticidad que es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación (Kramer, 1973).

Rollabilidad. Esta prueba se realizó con el fin de ver el grado de flexibilidad de las tortillas obtenidas de los diferentes tipos de harinas por efecto de los tiempos y temperaturas de almacenamiento. Para ello se cortaron tiras de tortillas de 2 cm de ancho y se enrollaron en un cilindro de madera de 2 cm de diámetro. Dependiendo del número de rupturas que presentó la tortilla fue el grado de flexibilidad; para esto, se utilizó una escala de 5 si no sufría ninguna ruptura, 4 si la tortilla sufría pequeñas partiduras, 3 si la tortilla se rompía parcialmente, 2 si la tortilla se rompía bastante y 1 si la tortilla se rompía completamente (Torres *et al*, 1993).

Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de las tortillas de harina de trigo se realizó utilizando un panel de 50 jueces no entrenados y una prueba de nivel de agrado usando una escala hedónica no estructurada. La evaluación se realizó en tortillas almacenadas a temperatura ambiente después de un período de almacenamiento de tres días (Pedrero, 1989).

Prueba de nivel de agrado

El objetivo fue localizar el nivel de agrado o desagrado que provocó una muestra específica. Se utilizó una escala no estructurada (también llamada escala hedónica), sin mayores descriptores que los extremos de la escala, en los cuales se puntualizó la característica de agrado. Esta escala contó con un indicador del punto medio, a fin de facilitar al juez consumidor la localización de un punto de interferencia de la muestra. Se presentaron máximo 5 muestras de tortillas a cada juez durante cada día de evaluación, ubicando cada una por separado en la escala hedónica. Las muestras se presentaron al

consumidor como las confrontaría habitualmente, procurando evitarle la sensación de que se encuentra en una circunstancia de laboratorio o bajo análisis. Las evaluaciones se realizaron por la mañana, en horario de 10:00 a 12:00 horas. La población elegida para la evaluación correspondió a los consumidores potenciales o habituales del producto en estudio. Estas personas no conocían la problemática del estudio, solamente entendían el procedimiento de la prueba y respondieron a ella. Se utilizó un panel de 50 jueces no entrenados.

La escala hedónica se convirtió en numérica transformando a centímetros la distancia entre los dos extremos del continuo y midiendo el punto de respuesta indicado por el consumidor. Las calificaciones de la prueba hedónica se tabularon por el juez-consumidor (filas) y por productos (columnas), totalizando la sumatoria de cada columna y cada fila para obtener un gran total. Para analizar (comparar) las muestras se aplicó el análisis de varianza (Pedrero, 1989).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Los factores de estudio fueron: nivel de extracción (tres niveles 74, 80 y 100%) y tipos de harinas (de trigo blanco (HTB), de trigo rojo (HTR) y de la variedad Rayón (HTL). Se utilizó un diseño experimental factorial de 3X3 para las diferentes determinaciones a las harinas de trigo, a las evaluaciones físicas de las tortillas y a las pruebas de evaluación sensorial. Además, cada tratamiento se realizó por duplicado para dar un total de 18 tratamientos. Por otro lado, las evaluaciones de textura de las tortillas se realizaron a diferentes tiempos (0, 1, 2, y 3 días) a temperaturas de ambiente y de refrigeración, también

aquí se utilizó un diseño experimental de factoriales de 3X3X4X2. Cada tratamiento se realizó por duplicado para dar un total de 144.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con los datos obtenidos de las diferentes determinaciones y de acuerdo con el diseño experimental utilizado, además, en el análisis de varianza las réplicas se utilizaron como bloques. Se corrió el análisis de varianza con un nivel de significancia de $p=0.05$. La diferencia entre la cantidad de tratamientos específicos se realizó con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa "Statistical Analytical System Software" (SAS, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de las Harinas

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis de varianza para la composición química de las harinas de trigo con diferentes niveles de extracción y la Tabla 2, los valores promedio de los contenidos de humedad, proteína y ceniza.

Contenido de humedad

Se observó que los valores de humedad de las harinas fueron significativamente diferentes para el tipo de harina ($p < 0.01$). Sin embargo en el caso del nivel de extracción, las diferencias fueron no significativas (Tabla 1). La variación entre contenidos de humedad fue de 10.29 a 12.23% (Tabla 2).

Contenido de Proteína

Las diferencias en el contenido de proteína fueron significativas tanto para el tipo de harina ($p < 0.01$) como para el nivel de extracción ($p < 0.01$) (Tabla 1). La harina de trigo blanco presentó un contenido de proteína de 12.90, similar a la del trigo variedad Rayón (12.90). Por otro lado, la harina de trigo rojo presentó un contenido de proteína ligeramente menor, 11.18. Se observó también que el contenido de proteína fue aumentando cuando el nivel de extracción aumentó (Tabla 2), esto puede explicarse por el incremento en el contenido de endospermo corneo periferal así como de la capa aleurona que es rica en proteínas (Serna-Saldívar, 1996).

TABLA 1
Análisis de varianza, valor de F, de la composición química de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		Humedad	Proteína	Ceniza
Tipo de harina (TH)	2	13.42** ¹	401.10**	19.85**
Nivel de extracción (N.E.)	2	2.28NS ²	120.15**	1117.85**
Réplica (REP)	1	10.61**	0.71NS	0.35NS
TH*NE	4	5.81**	4.27**	38.29**
Error	52			

¹** = Significancia a $p < 0.05$.

²NS = No significativa.

TABLA 2

Valores promedio de la composición química de harina de trigo con diferentes niveles de extracción.

Tipo de Harina	Nivel de extracción (%)	Humedad (%)	Proteína (% base seca)	Ceniza (% base seca)
Harina trigo blanco (HTB)	74	11.10 ¹ ± 0.47 ²	12.9±0.31	.74±0.09
	80	10.29±0.58	13.77±0.15	0.94±0.11
	100	10.71±0.43	14.42±0.30	1.89±0.10
Harina trigo rojo invierno (HTR)	74	10.80±0.16	11.18±0.33	0.57±0.06
	80	10.88±0.031	11.52±0.26	0.79±0.04
	100	11.02±0.31	12.40±0.24	1.82±0.08
Harina trigo Rayón (HTL)	74	12.23±0.06	12.90±0.18	0.65±0.06
	80	10.96±0.04	12.72±0.23	1.41±0.04
	100	11.42±0.08	13.71±0.16	1.52±0.01

¹ Promedio de tres repeticiones.

² Desviación estándar.

Cenizas

Las diferencias en el contenido de cenizas fueron significativas tanto para el tipo de harina ($p < 0.01$) como para el nivel de extracción ($p < 0.01$), (Tabla 1). Los valores estuvieron entre 0.57 a 0.74% para las harinas provenientes de un 74% de extracción (Tabla 2). El contenido de ceniza se incrementó al incrementarse el nivel de extracción, lo cual se puede explicar por el incremento en el contenido de la capa aleurona y de pericarpio (Serna-Saldívar, 1996).

Gluten seco

Las Tablas 3 y 4 muestran los resultados del análisis de varianza y los valores promedio del contenido de gluten seco y de la sedimentación de las harinas de trigo de diferentes niveles de extracción respectivamente. En gluten seco, tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción, las diferencias fueron significativas ($p < 0.01$), (Tabla 3). El porcentaje de gluten seco fue mayor en la harina de trigo blanco (11.10%) que en la harina de trigo rojo (10.80%). Para la harina de trigo Rayón el contenido de gluten seco fue mayor (12.23%), (Tabla 4).

Valor de Sedimentación

El valor de sedimentación fue mayor en harina de trigo blanco que en la harina de trigo rojo y en la harina de trigo Rayón; (46.78, 34.56 y 26, respectivamente), (Tabla 4). Se ha relacionado el valor de sedimentación con el volumen de pan (Serna-Saldívar, 1996) y este valor es un indicador muy importante de la calidad de harinas.

TABLA 3

Análisis de varianza, valor de F, de contenido de gluten seco y sedimentación de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F	
		Gluten seco	Sedimentación
Tipo de Harina (TH)	2	266.21** ¹	2562.52**
Nivel de extracción (NE)	2	184.31**	11084.90**
Réplica (REP)	2	3.86NS ³	4.04* ²
TH*NE	4	59.97**	762.30**
Error	52		

¹** = Significancia a $p < 0.01$.

²* = Significancia a $p < 0.05$.

³NS = No significativa a $p = 0.05$.

TABLA 4

Valores promedio de contenido de gluten seco y sedimentación de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Tipo de Harina	Nivel de extracción (%)	Gluten seco (%)	Sedimentación (ml)
Harina trigo blanco (HTB)	74	11.10 ¹ ±0.47 ²	46.78±0.67
	80	10.99±0.58	40.11±0.60
	100	10.71±0.43	12.22±0.44
Harina trigo rojo (HTR)	74	10.80±0.16	34.56±1.01
	80	10.88±0.031	32.56±0.53
	100	11.02±0.31	12.33±0.50
Harina trigo Rayón (HTL)	74	12.23±0.06	26.00±0.00
	80	10.96±0.04	12.33±0.58
	100	11.42±0.08	12.33±0.58

¹Promedio de 3 repeticiones.

²Desviación estandar.

Color

Las Tablas 5 y 6 muestran los resultados del análisis de varianza y valores promedio para las características de color medidas con el colorímetro Hunter Lab, para harinas de diferentes niveles de extracción. Se observaron diferencias significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción en relación al parámetro **L** (un indicador de la claridad, en donde 0 es negro y 100 es blanco). Como es de esperarse, la harina de trigo blanco presentó un valor de **L** mayor (44.74) que el de la harina de trigo rojo (36.30) y el de Rayón (21.20). Se observó que en general al incrementarse el nivel de extracción el valor de **L** disminuye, o sea que se vuelve menos clara.

Para el valor de **a** (en donde **+a** es una medida del rojo y **-a** del verde), las diferencias no fueron significativas para el tipo de harina, por el contrario, si fueron significativas para el nivel de extracción. Lo que se puede observar, es que al incrementar el nivel de extracción el valor negativo de **a** se reduce, lo que se explica como una disminución de los tonos rojos.

Para el valor de **b** (en donde **+b** es una medida del amarillo y **-b** del azul) las diferencias en el tipo de harina fueron significativas, en cuanto al nivel de extracción las diferencias fueron no significativas. La harina de trigo blanco presentó mayor valor de **+b** (6.56) que el de la harina de trigo rojo (6.04) y el de la harina de trigo Rayón (3.30). En cuanto al nivel de extracción, aunque hay diferencias estas no presentan un patrón definido.

TABLA 5

Análisis de varianza, valor de F, para color en harinas de trigo con diferente niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		L	a	b
Tipo de harina (TH)	2	60.82** ¹	1.82NS	76.88**
Nivel de extracción (NE)	2	18.42**	5.94**	1.63NS
Réplica (REP)	2	1.01NS ³	2.48NS	1.17NS
TH*GE	4	4.34**	0.11NS	3.55* ²
Error	52			

¹** = Significancia a $P < 0.01$.

²* = Significancia a $P < 0.05$.

³NS = No significativa.

⁴ Determinación con el colorímetro Hunter Lab L=Claridad: 100=blanco, 0=negro; +a=rojo, -a=verde; b=amarillo, -b=azul.

TABLA 6

Valores promedio de color para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Niveles de extracción (%)	Valores Hunter		
		L	a	b
Harina trigo blanco(HTB)	74	44.74 ¹ ±4.85 ²	-2.23±0.59	6.56±0.45
	80	40.21±4.62	-1.99±1.37	6.80±0.59
	100	30.79±6.31	-1.46±0.35	6.10±1.14
Harina trigo rojo (HTR)	74	36.30±4.99	-2.43±1.15	6.04±0.60
	80	40.28±5.84	-2.10±1.03	6.39±0.70
	100	32.14±2.75	-1.52±0.53	5.69±0.49
Harina trigo Rayón (HTL)	74	21.20±2.57	-2.03±0.21	3.30±0.56
	80	16.50±1.67	-1.30±0.10	2.47±0.45
	100	18.23±2.22	-0.87±0.23	4.03±0.65

¹ Promedio de tres repeticiones.² Desviación estándar.

Tamaño de partícula

Se observaron diferencias significativas para la cantidad de harina retenida en la malla 100, 120 y en el fondo, tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 7). Las Figuras 2, 3 y 4 muestran el porcentaje acumulativo retenido en las mallas utilizadas para la harina de trigo blanco, harina de trigo rojo y harina de variedad Rayón respectivamente. Se puede observar en la Figura 2, que para la harina de trigo blanco, el porcentaje de harina retenido en las mallas 100 y 120 se fue incrementando al ir aumentando el nivel de extracción. En el caso de harina de trigo rojo (Fig. 3) también el porcentaje retenido en las mallas se incrementó al incrementar el nivel de extracción. Sin embargo, en este caso, el porcentaje acumulativo retenido fue muy similar para los niveles de extracción 74 y 80%. Para la harina de trigo variedad Rayón (Fig. 4), el porcentaje retenido en la malla 100 fue muy similar en los tres niveles de extracción. Las diferencias se presentaron en la malla 120 al presentar mayor retención las harinas de extracción 80 y 100% sucesivamente. Esto significa que las harinas de mayor extracción contienen partículas mas grandes.

Pruebas Reológicas

Las Tablas 8 y 9 muestran los resultados de los análisis de varianza y valores promedio de los parámetros farinográficos para harinas de diferentes niveles de extracción. Se observan diferencias significativas en absorción de agua, tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 8). Se observa que el porcentaje de absorción de agua es mayor (64.82) en la harina de trigo blanco con respecto a las

TABLA 7

Análisis de varianza, valor de F, para distribución de tamaño de partícula de harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		No. 100	No. 120	Fondo
Tipo de harina (TH)	2	6.12** ¹	101.71**	19.27**
Nivel de extracción (NE)	2	36.56**	146.74**	98.60**
Réplica (REP)	1	0.50NS ²	2.60NS	1.26NS
TH*NE	2	5.81**	12.45**	5.21**
Error	19			

¹** Significancia a $P < 0.01$.

²NS = No significante.

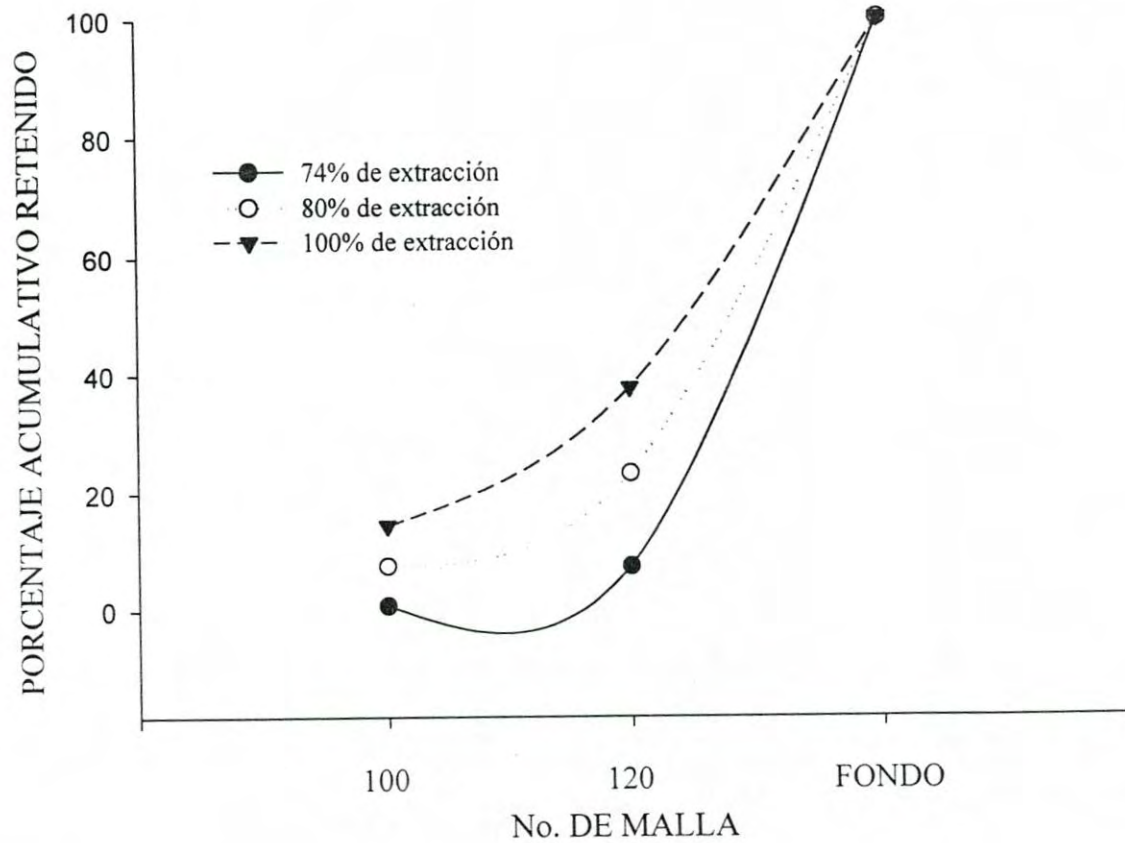


Fig. 2.- Porcentaje acumulativo retenido para la determinación de tamaño de partícula en harina de trigo blanco.

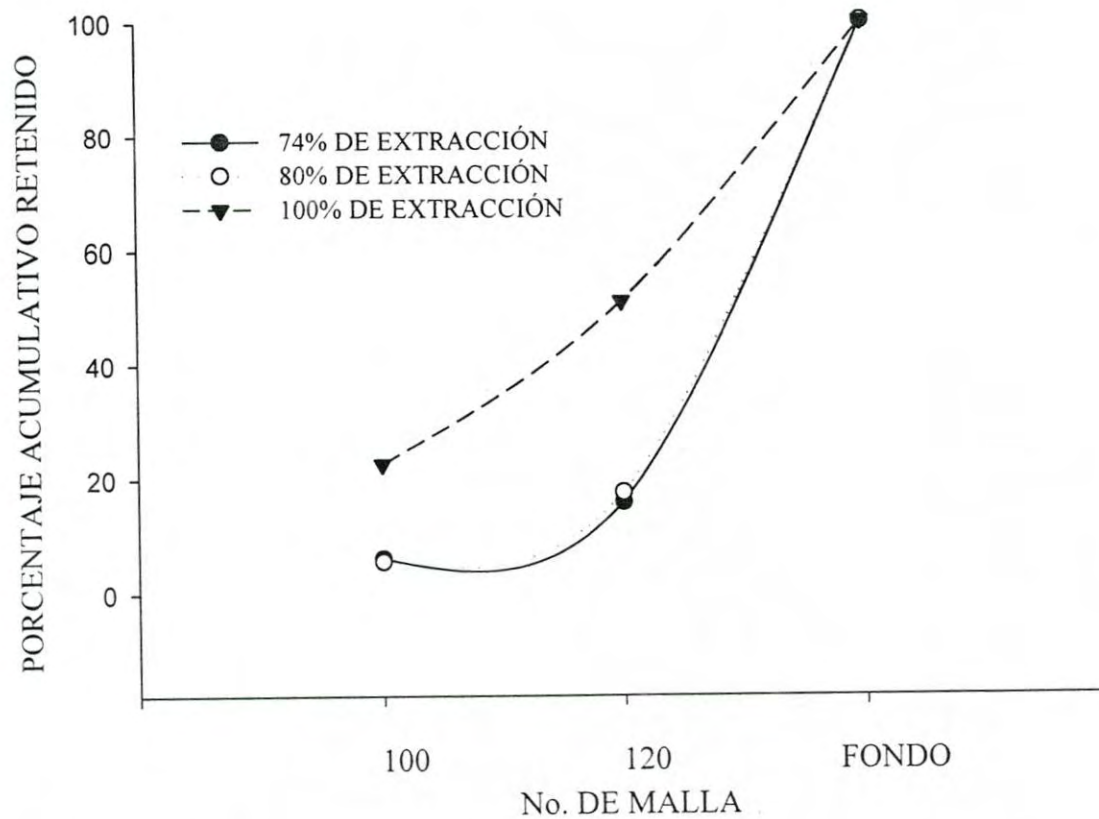


Fig. 3.- Porcentaje acumulativo retenido para la determinación de tamaño de partícula en harina de trigo rojo.

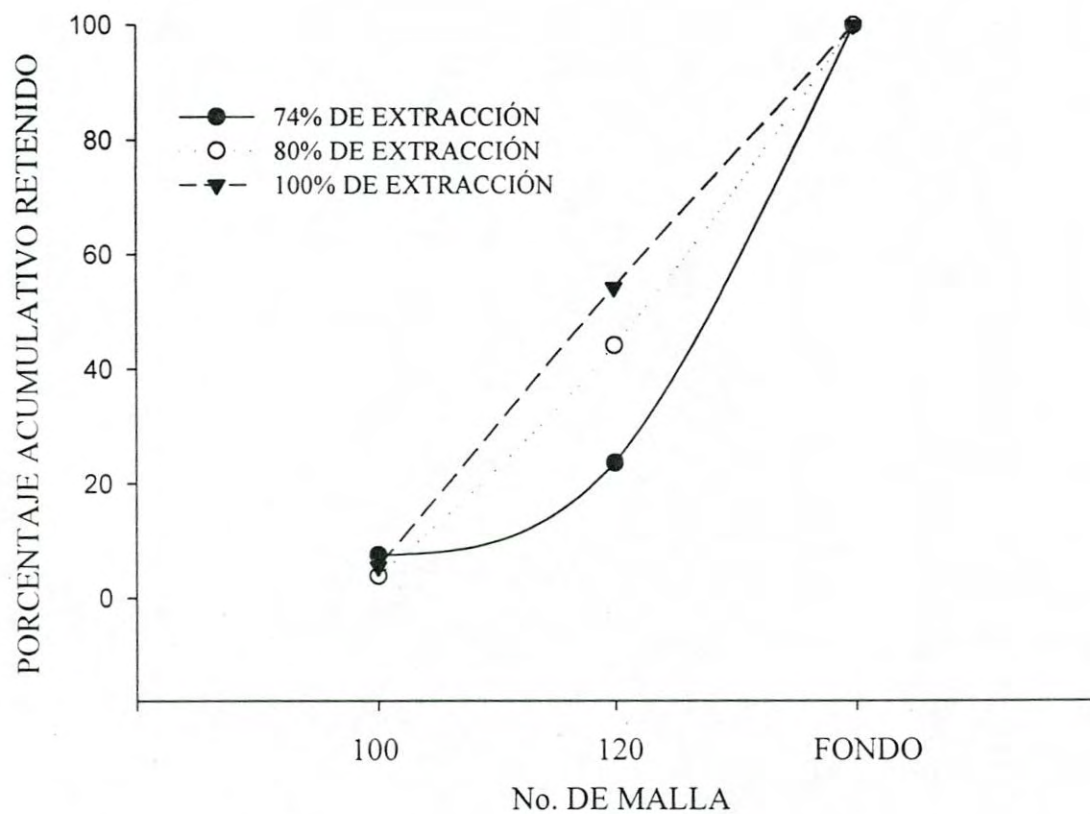


Fig. 4.- Porcentaje acumulativo retenido para determinación de tamaño de partícula de harina de trigo variedad Rayón.

TABLA 8

Análisis de varianza, valor de F, de parámetros farinográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		Absorción de agua (%)	Tiempo de desarrollo (min)	Estabilidad (min)
Tipo de harina (TH)	2	707.49** ¹	12.37**	14.38**
Nivel extracción (GE)	2	1775.39**	12.27**	16.71**
Réplica (REP)	1	17.04**	0.75NS	2.25NS
TH*GE	4	125.34**	11.46**	1.90NS
Error	52			

¹ ** = Significancia a $p < 0.01$.

² NS = No significativa.

TABLA 9

Valores promedio de parámetros farinográficos para harinas de trigo de diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Nivel de extracción (%)	Absorción de agua (%)	Tiempo de desarrollo (min)	Estabilidad (min)
Harina trigo blanco (HTB)	74	64.82±0.54 ²	8.60±0.81	12.48±0.89
	80	69.86±0.83	6.60±0.31	7.81±1.97
	100	76.26±0.58	6.88±0.51	10.02±2.32
Harina trigo rojo (HTR)	74	62.14±0.29	6.44±0.63	12.00±1.41
	80	64.56±0.26	5.30±0.25	9.54±1.23
	100	71.57±0.60	8.43±2.28	12.90±4.06
Harina trigo Rayón (HTL)	74	62.90±0.00	5.06±0.93	8.00±0.17
	80	70.60±0.00	5.90±0.62	5.10±0.20
	100	70.00±0.00	5.43±0.040	8.53±2.05

¹ Promedio de 3 repeticiones.

² Desviación estándar.

harinas de trigo rojo (62.14) y a las harinas de trigo Rayón (62.90), (Tabla 9). Se observó también que conforme incrementa el nivel de extracción incrementa el porcentaje de absorción de agua (Tabla 9), esto debido probablemente al incremento de proteína y de carbohidratos de el pericarpio en la harina (Serna-Saldívar, 1996).

En el tiempo de desarrollo se presentaron diferencias significativas tanto en el tipo de harina como en el nivel de extracción (Tabla 8). El tiempo de desarrollo fue mayor en harina de trigo blanco (8.60 min) que en la harina de trigo rojo (6.44 min) y en la harina de trigo Rayón (5.06 min), (Tabla 9). Se observó que el tiempo de desarrollo varía en tiempo (minutos) dependiendo del nivel de extracción de la harina. Estas variaciones se presentaron en los tres tipos de harina.

En la estabilidad también se presentaron diferencias significativas en el tipo de harina y en el nivel de extracción (Tabla 8). Se observó que la harina de trigo blanco presentó mayor estabilidad (12.48 min) que la harina de trigo rojo (12 min) y la harina de trigo Rayón (8 min). En cuanto al nivel de extracción en cada tipo de harina, la estabilidad dada en minutos varía dependiendo del nivel de extracción. En un mismo tipo de harina, la estabilidad fue diferente para cada nivel de extracción (Tabla 9).

Pruebas alveográficas

Las Tablas 10 y 11 muestran los resultados de los análisis de varianza y valores promedio de los parámetros alveográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción. La tenacidad, presentó diferencias significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 10). Se observó que es mayor la tenacidad en las

TABLA 10

Análisis de varianza, valor de F, de parámetros alveográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		Tenacidad (mm)	Tenacidad/extensibilidad	Trabajo de Deformación ($J \times 10^{-4}$)
Tipo de harina (TH)	2	6.38** ¹	16.18**	144.55**
Nivel extracción (GE)	2	52.23**	36.22**	13.27**
Réplica (REP)	1	4.50* ²	1.54NS	2.32NS
TH*GE	4	3.22NS ³	0.06NS	0.72NS
Error	19			

¹ ** = Significancia a $P < 0.01$.

² ** = Significancia a $P < 0.05$.

³ NS = No significativa.

TABLA 11

Valores promedio de parámetros alveográficos para harinas de trigo con diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Nivel de extracción (%)	Tenacidad (mm)	Tenacidad/extensibilidad	Trabajo de deformación (JX10 ⁻⁴)
Harina trigo blanco (HTB)	74	94.11 ¹ ±4.08 ²	0.64±0.04	399.23±14.60
	80	120.58±9.95	1.12±0.17	363.50±19.56
Harina trigo rojo (HTR)	74	91.96±5.38	1.09±0.021	267.90±21.16
	80	106.12±10.27	1.57±0.31	248.58±19.90
Harina trigo Rayón (HTL)	74	93.00±1.41	1.02±0.04	253.80±27.15

¹ Promedio de 3 repeticiones.

² Desviación estándar.

harinas de trigo blanco (94.11 mm) que en las harinas de trigo rojo (91.96 mm) y en las harinas de trigo Rayón (Tabla 10). También se observó que la tenacidad varía dependiendo del nivel de extracción de la harina, presentándose esto en los tres tipos de harina analizados (Tabla 11).

La relación tenacidad/extensibilidad (P/L) presentó diferencias significativas para el tipo de harina y en el nivel de extracción (Tabla 10). La relación (P/L) fue mayor en la harina de trigo rojo (1.09) que en la harina de trigo blanco (0.64) y en la harina de trigo Rayón (1.02). La relación (P/L) varía dependiendo del nivel de extracción que presenta la harina, sucediendo lo mismo en los tres tipos de harina (Tabla 11).

En el trabajo de deformación (W) las diferencias fueron significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 10). La harina de trigo blanco presentó mayor trabajo de deformación ($399.23 \text{ J} \times 10^4$) que la harina de trigo rojo ($267.90 \text{ J} \times 10^4$) y la harina de trigo Rayón ($253.80 \text{ J} \times 10^4$). El trabajo de deformación también presentó diferencias entre los niveles de extracción, presentándose el mismo caso en los tres tipos de harina analizados (Tabla 11).

Características de las tortillas

Las Tablas 12 y 13 muestran los resultados del análisis de varianza y valores promedio para humedad, peso, grosor y diámetro de la tortilla de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes grados de extracción.

TABLA 12

Análisis de varianza, valor de F, para humedad, peso, grosor y diámetro de la tortilla de diferentes tipos de harinas de trigo y diferentes niveles de extracción.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Valor de F			
		Humedad	Peso	Grosor	Diámetro
Tipo de harina (TH)	2	6.45** ²	4.63* ²	6.14**	13.51**
Nivel de extracción (NE)	2	6.94**	15.51**	0.44NS	7.35**
Réplica (REP)	1	6.58**	4.80*	50.94**	7.31**
TH*NE	4	4.41**	1.07NS	1.56NS	2.61*
Error	170				

¹ ** = Significancia a P<0.01.

² * = Significancia a P<0.05.

³ NS = No significativa.

TABLA 13

Valores promedio de humedad, peso, grosor, y diámetro de tortillas de diferentes tipos de harinas de trigo y diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Nivel de extracción (%)	Humedad (%)	Peso (g)	Grosor (mm)	Diámetro (cm)
Harina trigo blanco (HTB)	74	30.25 ¹ ±1.92	35.23±2.73	0.96±0.06	20.08±1.40
	80	30.31±1.98	33.07±2.15	0.90±0.08	19.43±0.45
	100	31.75±0.45	33.27±2.00	0.94±0.08	19.17±0.46
Harina trigo rojo (HTR)	74	28.77±0.33	33.82±1.15	0.85±0.20	19.94±0.82
	80	29.85±0.61	32.65±1.44	0.89±0.070	19.94±0.40
	100	29.51±1.80	32.12±1.00	0.89±0.10	19.94±0.53
Harina trigo Rayón (HTL)	74	28.56±0.74	34.28±1.41	0.91±0.10	20.72±1.12
	80	31.68±1.23	32.65±2.19	0.89±0.05	19.93±0.61
	100	29.36±0.62	33.45±1.50	0.90±0.09	20.25±0.57

¹ Promedios de 10 repeticiones.

² Desviación estándar.

Las tortillas presentan diferencias significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 12). El contenido de humedad más alto fue para la tortilla preparada con harina de trigo blanco (30.25). Los otros dos tipos de harina presentaron un porcentaje de humedad similar (28%) . El contenido de humedad tuvo una variación de porcentajes conforme el nivel de extracción aumentaba (Tabla 13). El peso de la tortilla fue similar para cada uno de los tipos de harina (entre 32 y 35g). Se presentó una variación significativa tanto en el tipo de harina como en el nivel de extracción. La tortilla de harina de trigo blanco fue la que obtuvo mayor peso (35 g) que las tortillas de harina de trigo rojo y las tortillas de harina de trigo de variedad Rayón (Tabla 13). El grosor de la tortilla presentó diferencias significativas en el tipo de harina, pero para el grado de extracción la diferencia fue no significativa (Tabla 12). La tortilla de harina de trigo blanco fue la que presentó mayor grosor (0.96 mm) que el de las de harina de trigo rojo y el de las de harina de trigo Rayón. En el diámetro si hubo diferencias significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 12). El diámetro mayor lo presentó la tortilla de harina de trigo de la variedad Rayón (20.72 cm) a diferencia de la tortilla de harina de trigo blanco y la de harina de trigo rojo que presentaron menor diámetro (Tabla 13).

Color de la Tortilla

Las Tablas 14 y 15 muestran los resultados del análisis de varianza y valores promedio para color en tortilla de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción. Para el valor de **L** la diferencia fue significativa para el tipo de harina, donde las diferencias fueron estadísticamente no significativa fue en el grado de extracción (Tabla 14).

TABLA 14

Análisis de varianza, valor de F, para color en tortilla de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F		
		L	a	b
Tipo de harina (TH)	2	12.84** ¹	77.10**	81.48**
Nivel de extracción (NE)	2	1.14NS ²	782.08**	50.45**
Réplica (REP)	1	19.73**	2.37NS	31.47**
TH*NE	4	2.38NS	47.33**	14.25**
Error	476			

¹** = Significancia a P<0.01.

²** = No significativa.

TABLA 15
Valores promedio de color en tortilla de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Nivel de extracción (%)	Valor de Color ¹		
		L	a	b
Harina trigo blanco (HTB)	74	26.88 ² ±4.45 ³	-1.70±0.79	9.24±1.75
	80	32.17±3.63	-1.55±1.30	11.96±2.18
	100	27.87±3.09	3.18±1.69	13.00±1.46
Harina trigo rojo (HTR)	74	27.19±6.20	-1.81±0.85	9.27±2.22
	81	28.67±4.20	-0.07±1.84	11.12±1.59
	100	26.77±31.09	4.13±1.01	9.48±1.49
Harina trigo Rayón (HTL)	74	25.42±6.64	-1.71±0.80	7.88±2.04
	80	21.52±3.88	2.79±1.56	9.11±2.02
	100	22.16±3.23	4.07±1.10	9.12±2.60

¹ Determinado con el colorímetro. L= ligero; 100=blanco, 0=negro; +a=rojo, -a=verde; b=amarillo.

² Promedio de 9 repeticiones.

³ Desviación estándar.

Los valores de **L** para las tortillas preparadas con harinas de 74% de extracción fueron muy parecidas para los tres tipos de harina; 26.99, 27.19 y 25.42 para la tortilla de harina de trigo blanco, para la de trigo rojo y para la de la variedad Rayón respectivamente. Como el valor de **L** es un indicador de la claridad, donde 0 es negro y 100 es blanco presentó una variación en los diferentes niveles de extracción. Al aumentar el nivel de extracción el valor de **L** disminuyó. Para el valor de **a** se presentó una diferencia significativa para el tipo de harina y en el nivel de extracción (Tabla 15). Al aumentar el nivel de extracción, el valor negativo de **a** (en donde **+a** es una medida del rojo y **-a** del verde) tiende a reducirse lo que se explica como una disminución de los tonos rojos. Esta situación se presentó en los tres tipos de harina y a través de los diferentes niveles de extracción (Tabla 15). Para el valor de **b** (en donde **+b** es una medida del amarillo y **-b** del azul) las diferencias si fueron significativas tanto para el tipo de harina como para el nivel de extracción (Tabla 14). La tortilla de harina de trigo rojo fue la que obtuvo un valor más alto de **b** (9.27) que las tortillas de harina de trigo blanco (9.24) y las tortillas de harina de la variedad Rayón (7.88), (Tabla 15).

Evaluación Sensorial

Las Tablas 16 y 17 muestran los resultados del análisis de varianza y valores promedio para la evaluación sensorial de tortillas de diferentes tipos de harina de trigo y con diferentes niveles de extracción. En la evaluación sensorial, las tortillas presentaron diferencias significativas para el tipo de harina; para el nivel de extracción, no se presentaron diferencias significativas (Tabla 16). La tortilla de harina de trigo de la variedad Rayón fue la que presentó una calificación más alta en la escala de evaluación sensorial (13.01); que la tortilla de harina de trigo blanco (11.09) y la tortilla de harina de

TABLA 16
Análisis de varianza, valor de F, para evaluación sensorial de tortillas de harina con diferentes niveles de extracción.

Fuente de variación	Grados de libertad	Valor de F
Tipo de Harina (TH)	2	6.50** ¹
Nivel de extracción (NE)	2	0.65NS
Réplica (REP)	1	10.12**
TH*NE	4	1.68NS ²
Error	803	

¹** = Significancia $p < 0.01$.

²NS = No Significativa.

TABLA 17

Valores promedio de evaluación sensorial en tortilla de diferentes tipos de harina de trigo y diferentes niveles de extracción.

Tipo de harina	Niveles de extracción (%)	Calificación
Harina Trigo blanco (HTB)	74	11.09 ¹ ±4.41 ²
	80	12.50±3.48
	100	11.36±4.03
Harina Trigo Rojo (HTR)	74	11.98±4.40
	80	12.18±3.85
	100	11.88±3.98
Harina trigo Rayón (HTL)	74	13.01±3.25
	80	12.43±4.12
	100	12.91±3.17

¹ Promedio de 50 repeticiones.

² Desviación estándar.

trigo rojo (11.98). Esto indica que la preferencia de los panelistas se inclino por este tipo de harina. Se presentó una variación en los niveles de extracción en los tres tipos de tortillas de harina. Las calificaciones de los panelistas en general fueron muy parecidas, ya que algunos preferían que las tortillas fueran completamente blancas y sin manchas, pero también algunos prefirieron las tortillas con 80 y 100% de extracción (integrales), por lo que los resultados arrojados al final fueron en general muy similares.

Propiedades texturales de las tortillas

Rollabilidad

La Figura 5, muestra los resultados de rollabilidad en tortillas de harina de trigo blanco a temperaturas ambiente y de refrigeración a tres niveles de extracción por un período de tres días. En el día cero, prácticamente no se presentó disminución alguna en la rollabilidad de las tortillas en las dos temperaturas de almacenamiento y en los tres niveles de extracción.

En el primer día, la mayoría de las tortillas presentaron buena rollabilidad, tanto las almacenadas a temperatura ambiente como en las de temperatura de refrigeración. Sólo la tortilla de 80% de extracción y de temperatura ambiente presento una valor promedio debajo de los 5 puntos.

En el segundo día, las tortillas de harinas de 74 y 80% de extracción y refrigeradas presentaron buena rollabilidad. En todas las tortillas almacenadas a temperatura ambiente disminuyó la rollabilidad, registrando un valor cercano a los 4.5 puntos. En el tercer día, las tortillas con 74 y 80% de extracción y refrigeradas presentaron muy pocos cambios. En

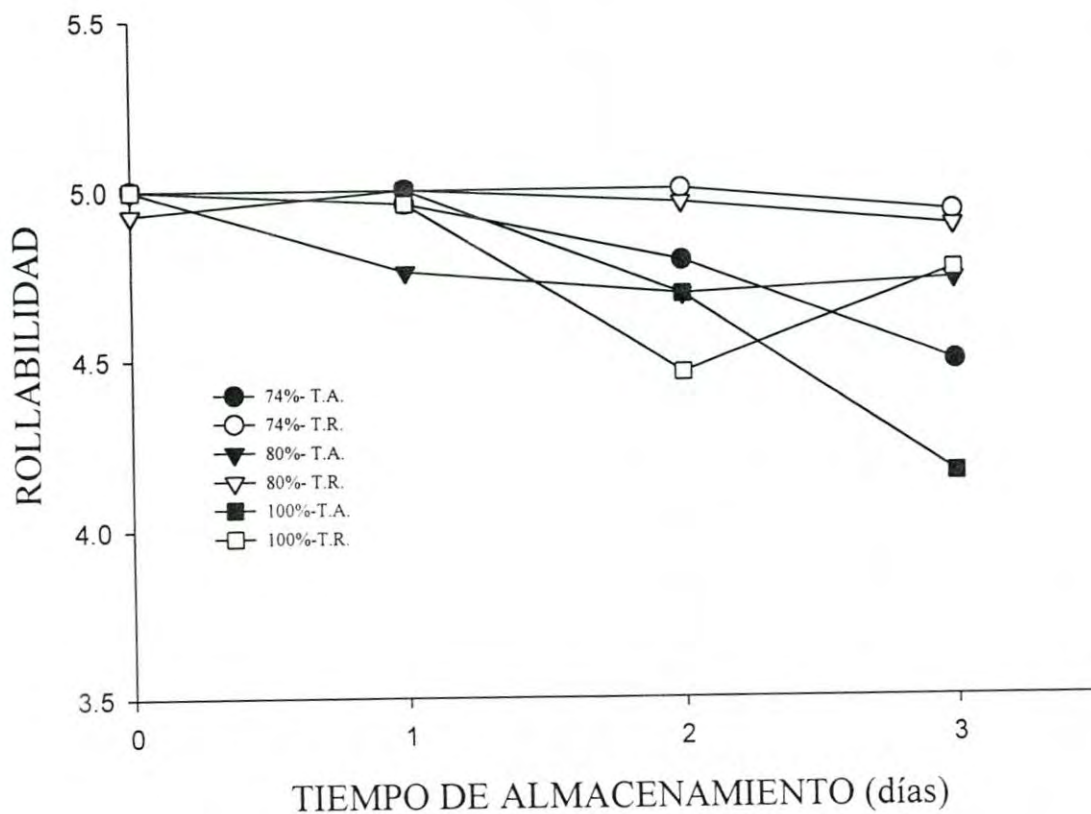


Fig. 5. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre rollabilidad de la tortilla de harina de trigo blanco con 74, 80 y 100% de extracción.

todas las demás tortillas la rollabilidad disminuyó cercano a los 4.5 puntos. La similitud entre las tortillas de 74 y 80% de extracción probablemente se debió a la temperatura de refrigeración a las que fueron sometidas ya que los cambios en rollabilidad fueron muy similares. La rollabilidad disminuyó más notablemente en las tortillas almacenadas a temperatura ambiente ya que presentaron mayores pérdidas de flexibilidad que las tortillas almacenadas en refrigeración. Conforme pasaban los días de almacenamiento la rollabilidad se hacía más baja.

La Figura 6 muestra los resultados de rollabilidad de tortillas de harina de trigo rojo almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración para los tres niveles de extracción y por un período de tres días. En el día cero no se presentó cambio alguno en las tortillas tanto para las de temperatura ambiente como para las refrigeradas.

En el primer día, la tortilla de 74% de extracción y a temperatura de refrigeración no presentó cambios en rollabilidad, las demás disminuyeron su rollabilidad entre los 4.5 y 5 puntos.

En el segundo día, la rollabilidad bajó en todas las tortillas de todos los niveles de extracción, donde las tortillas de temperatura ambiente bajaron considerablemente su rollabilidad, en cambio en las tortillas de refrigeración la rollabilidad tuvo poca disminución. En el tercer día, la rollabilidad de todas las tortillas se presentó casi de la misma forma que en el segundo día, sólo las tortillas de temperatura ambiente y a 80% de nivel de extracción disminuyeron su rollabilidad considerablemente.

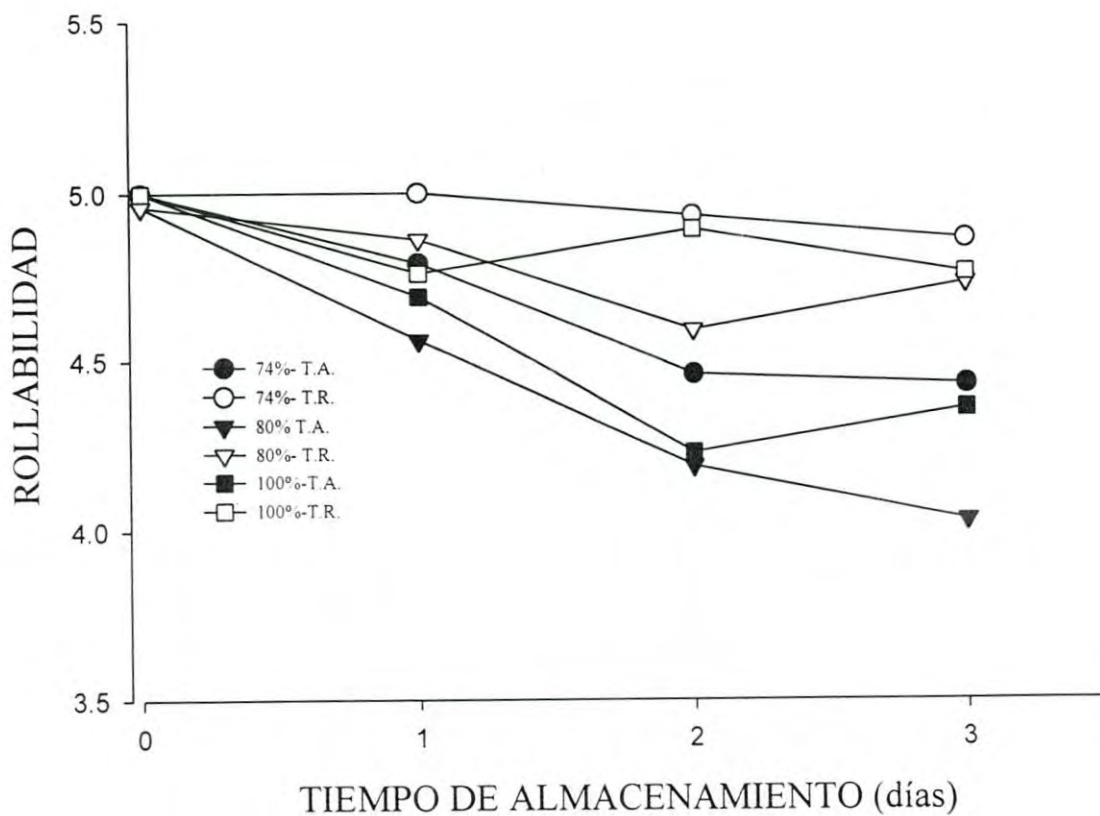


Fig. 6. Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre la rollabilidad de la tortilla de harina de trigo rojo con 74, 80 y 100% de extracción.

La Figura 7 muestra los resultados de rollabilidad en tortillas de harina de trigo de la variedad Rayón a temperatura ambiente y de refrigeración a tres niveles de extracción en un período de tres días. En el día cero no se presentó cambio alguno en las tortillas, tanto a temperatura ambiente como a temperatura de refrigeración. En el día primero, la rollabilidad no disminuyó en las tortillas de 74% de nivel de extracción y a temperatura ambiente, tampoco en las tortillas de 74 y 100% de nivel de extracción y almacenadas en de refrigeración. Donde si se presentó una disminución de rollabilidad fue en las tortillas de harinas de 80% de nivel de extracción almacenadas en refrigeración y en las tortillas de temperatura ambiente de 80 y 100% de nivel de extracción. Las tortillas preparadas con harinas de más alta extracción tienden a fracturarse más fácilmente.

En el segundo día, las tortillas de 74% tanto de temperatura ambiente como de refrigeración no presentaron cambios en rollabilidad. Pero las tortillas de 80 y 100% de nivel de extracción, tanto de temperatura ambiente como de refrigeración si presentaron disminución en rollabilidad. En el tercer día, sólo en las tortillas de 74% de nivel de extracción y a temperatura ambiente no disminuyó su rollabilidad. En las tortillas de 74% de temperatura de refrigeración y las de 80 y 100% tanto de temperatura ambiente como de refrigeración si presentaron cambios notables en la disminución de rollabilidad, especialmente las de 100% de nivel de extracción tanto de temperatura ambiente como de refrigeración. Esto es debido a que son las que tienen un nivel de extracción mayor, por lo tanto la tortillas tiende a fracturarse más fácilmente al pasar los días.

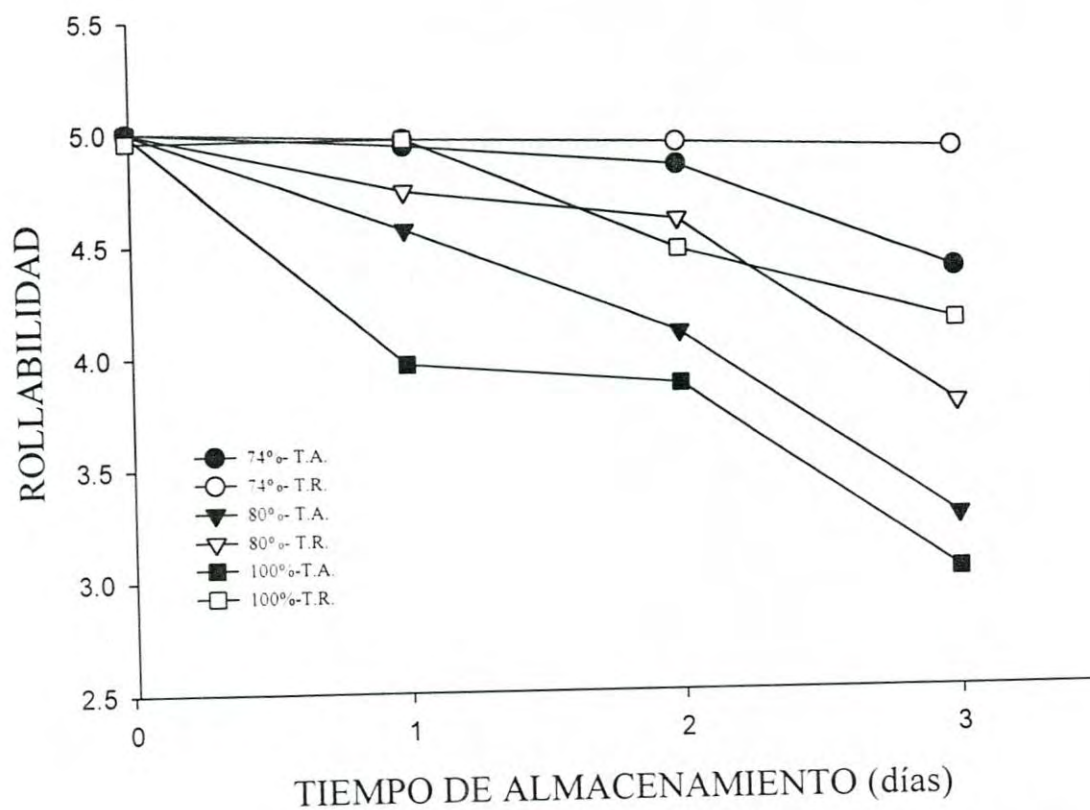


Fig. 7. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre la rollabilidad de la tortilla de harina de la variedad Rayón con 74, 80 y 100% de extracción.

Módulo de elasticidad

En la Tabla 18 se muestran los resultados del análisis de varianza para el módulo de elasticidad de tortillas de harina de trigo con diferentes niveles de extracción y almacenadas a diferentes condiciones. No se observaron diferencias significativas en cuanto al tipo de harina y la temperatura de almacenamiento de las tortillas, pero si en cuanto al nivel de extracción de las harinas y el tiempo de almacenamiento de las tortillas.

La Figura 8 muestra los resultados del módulo de elasticidad contra el tiempo de almacenamiento (días) en tortillas de harina de trigo blanco con tres niveles de extracción. Las tortillas que mostraron un módulo de elasticidad más alto fueron las tortillas de harinas de 100% de extracción, tanto almacenadas a temperatura ambiente como en refrigeración, observándose una pequeña variación entre ellas. Las tortillas de harinas de extracción de 74 y 80% tanto de temperatura ambiente como de refrigeración presentaron un módulo de elasticidad más bajo. El módulo de elasticidad indica el grado de rigidez que presentan las tortillas conforme pasan los días de almacenamiento, si el módulo de elasticidad es mayor, también es mayor la rigidez en las tortillas. En el primer día, las tortillas de 100% de extracción no presentaron cambios con respecto al día cero, el módulo de elasticidad que presentaron también fue muy alto. Las tortillas de 74 y 80% de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración tampoco presentaron cambios observables en el primer día, por lo tanto su módulo de elasticidad fue bajo en comparación con las tortillas de 100% de extracción.

En el segundo día, las tortillas de 100% de extracción y de temperatura ambiente presentaron un esfuerzo ligeramente alto en comparación con las tortillas de 100% de

TABLA 18

Análisis de varianza, valor de F, para el módulo de elasticidad de tortillas de harina de trigo con diferentes niveles de extracción y almacenadas a diferentes condiciones.

Fuente de variación	Grados de libertad	Módulo de elasticidad
Tipo de harina (TH)	2	0.99NS
Nivel de extracción (NE)	2	104.44**
Tiempo (TIE)	3	15.93**
Temperatura (TEMP)	1	2.30NS
NE*TIE*TEMP	6	0.13NS
TH*NE*TEMP	4	1.15NS
TH*NE*TIE	12	1.00NS
Error	665	

¹ * = Significancia a $p < 0.05$.

² ** = Significancia a $p < 0.01$.

³ NS = No significativa.

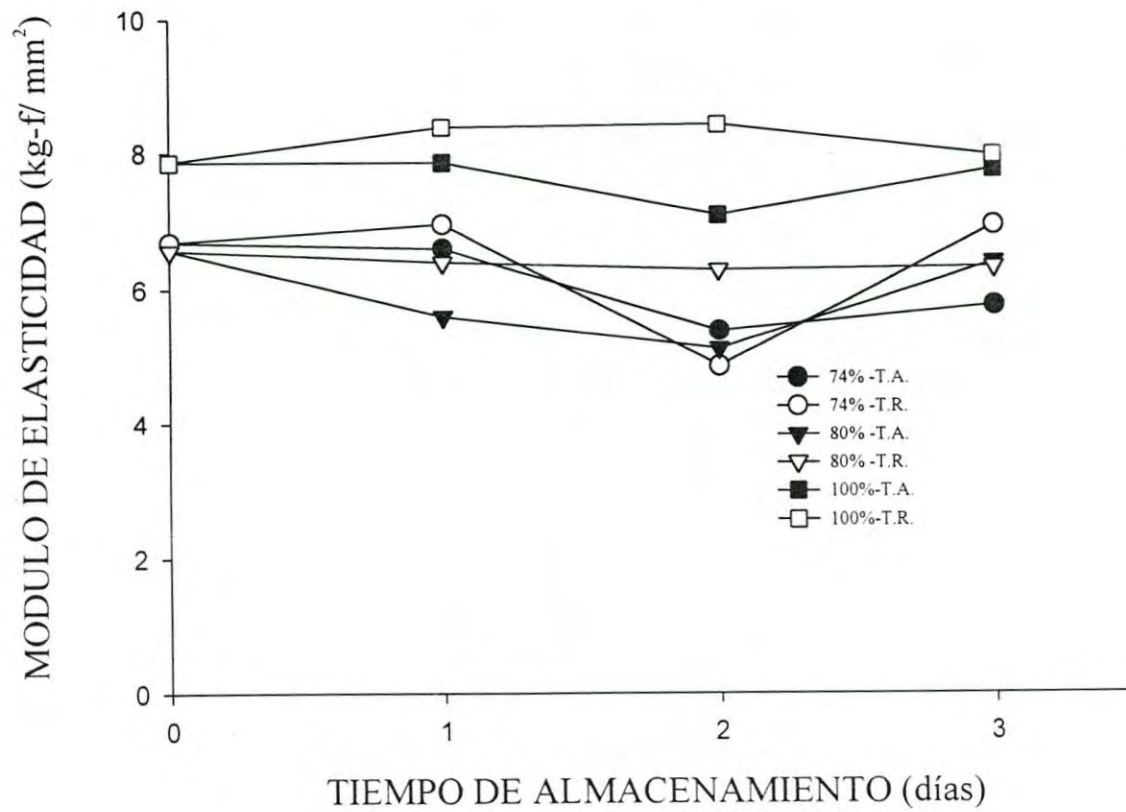


Fig. 8. Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo blanco con 74, 80 y 100% de extracción.

refrigeración y de temperatura ambiente que presentaron un módulo de elasticidad ligeramente bajo. En las tortillas de 74 y 80% de nivel de extracción de temperatura ambiente y refrigeración el módulo de elasticidad (rigidez) bajo de forma notable en el segundo día principalmente en las tortillas almacenadas a temperatura ambiente.

En el tercer día, el módulo de elasticidad de las tortillas de harinas de 100% de extracción tanto de temperatura ambiente como de refrigeración fue alto. Las tortillas de 74 y 80% de nivel de extracción tanto las almacenadas a temperatura ambiente como en refrigeración presentaron condiciones similares de rigidez en el tercer día.

La Figura 9 muestra los resultados del módulo de elasticidad contra el tiempo de almacenamiento en días de tortillas de harina de trigo rojo y a tres niveles diferentes de extracción. En el día cero, las tortillas que presentaron un módulo de elasticidad más alto fueron las tortillas de 74 y 100% de extracción tanto las almacenadas a temperatura ambiente como en refrigeración. Las tortillas de 80% de extracción tanto de temperatura ambiente como de refrigeración presentaron un módulo de elasticidad más bajo.

En el primer día, el módulo de elasticidad fue un poco más alto para las tortillas de harinas de 74% de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración y en las tortillas de 100% de nivel de extracción a temperatura de refrigeración. Las tortillas de harinas de 74% y almacenadas a temperatura ambiente presentaron una disminución en el esfuerzo por lo que módulo de elasticidad fue bajo. Las tortillas de 80% de extracción de temperatura ambiente y refrigeración tuvieron un módulo de elasticidad más bajo que el de las tortillas de 74 y 100% de extracción.

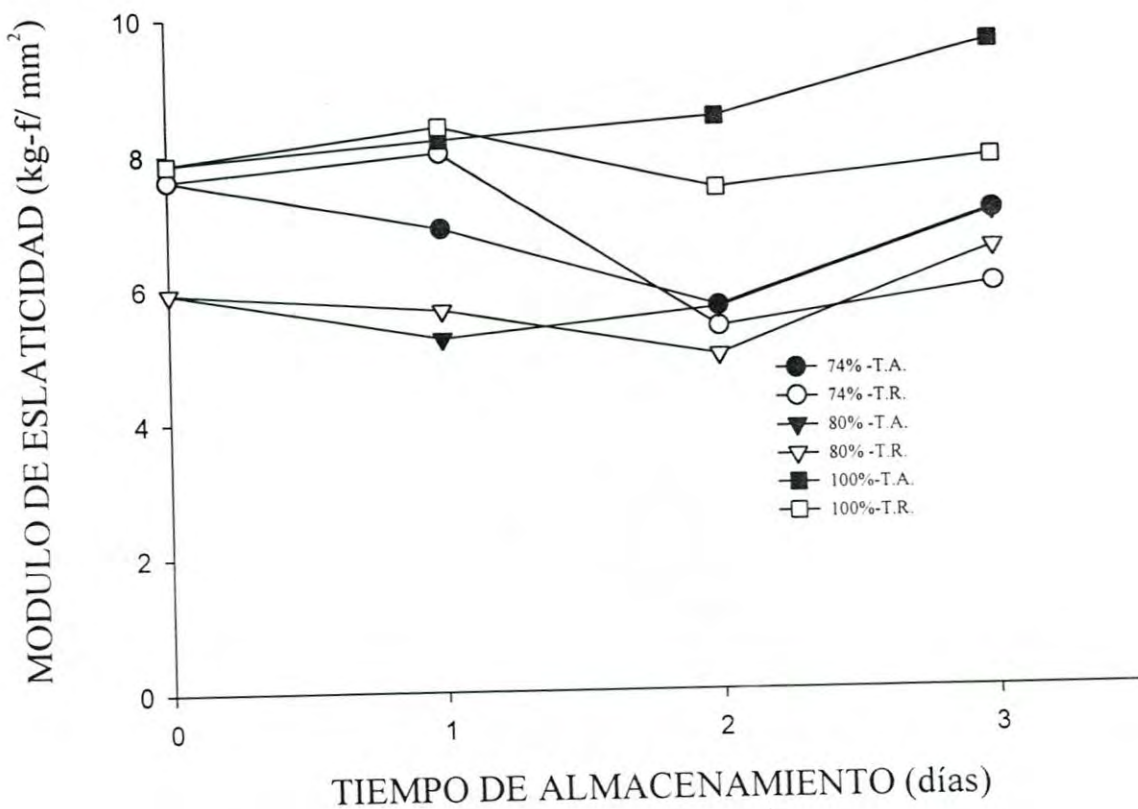


Fig. 9. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo rojo con 74, 80 y 100% de extracción.

En el segundo día, las tortillas de harinas de 100% de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración tuvieron un módulo de elasticidad alto, presentándose una pequeña diferencia entre ellas. Las tortillas de harinas de 74 y 80% de extracción tanto almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración presentaron una notable disminución en el módulo de elasticidad, esto probablemente debido a una relajación en la estructura del gluten.

En el tercer día, las tortillas de harinas de 100% de extracción y almacenadas a temperatura ambiente presentaron una rigidez considerablemente alta, presentándose probablemente más actividad en la retrogradación del almidón. Las tortillas de harinas de 100% de extracción y almacenadas a temperatura de refrigeración también presentaron un módulo de elasticidad alto pero en menor proporción que las tortillas almacenadas a temperatura ambiente. Las tortillas de harinas de 74 y 80% de extracción tanto de temperatura ambiente como de refrigeración presentaron condiciones de rigidez similares en el tercer día de almacenamiento, pero siempre registrando un módulo de elasticidad menor que las tortillas de harinas de 100% de nivel de extracción.

En la Figura 10, se muestran los resultados del módulo de elasticidad contra el tiempo de almacenamiento para tortillas de harina de trigo de la variedad Rayón y a tres niveles diferentes de extracción. En el día cero, las tortillas de 74 y 100% de nivel de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración muestran un módulo de elasticidad notablemente alto en comparación con las tortillas de 80% de nivel de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración. Esto probablemente es

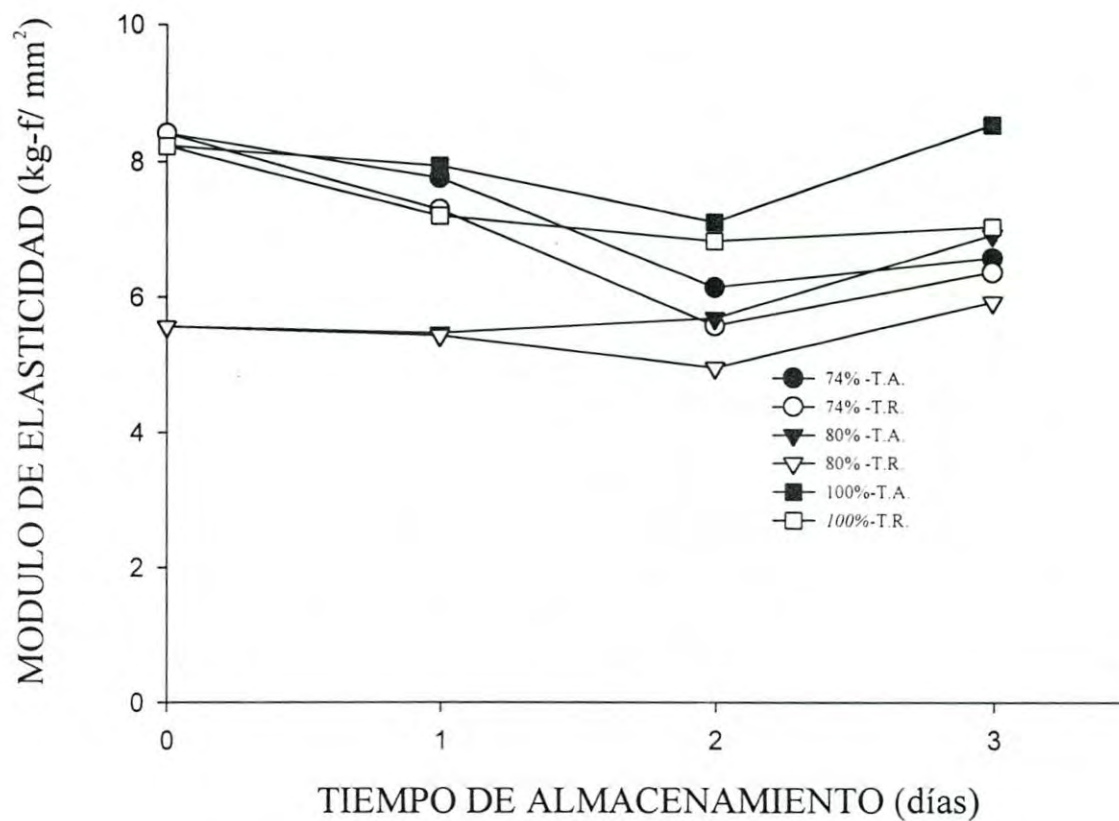


Fig. 10. Efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento sobre el módulo de elasticidad de la tortilla de harina de trigo de la variedad Rayón con 74, 80 y 100% de extracción.

debido a que las tortillas de 74 y 100% de extracción almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración presentan un mayor grado de rigidez en el día cero.

En el primer día, las tortillas de 74 y 100% de nivel de extracción tanto las almacenadas a temperatura ambiente y en refrigeración, presentaron una disminución en el módulo de elasticidad. También se presentaron pequeñas diferencias entre las tortillas almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración presentando menor grado de rigidez las tortillas de refrigeración. Las tortillas de 80% de extracción, almacenadas a temperatura ambiente y de refrigeración en el primer día, no mostraron cambios significativos en el comportamiento del módulo de elasticidad.

En el segundo día todas las tortillas de todos los niveles de extracción presentaron una disminución notable en el módulo de elasticidad, esto debido probablemente a la relajación de la estructura del gluten, lo que hizo que la rigidez disminuyera.

En el tercer día, se presentó un aumento en el módulo de elasticidad para todas las tortillas de todos los niveles de extracción, presentando un módulo de elasticidad mayor las tortillas de 100% de nivel de extracción y almacenadas a temperatura ambiente. Las tortillas de 74 y 80% de extracción de temperatura ambiente y de refrigeración presentaron un módulo de elasticidad y comportamiento similar, registrando también un leve aumento.

CONCLUSIONES

1. El contenido de proteína en los tres tipos de harina fue aceptable para la producción de tortilla. Conforme aumentó el nivel de extracción, mayor fue el contenido de proteína, esto se explica por el incremento en el contenido de endospermo corneo periferal así como de la capa aleurona rica en proteínas.
2. Las harinas tuvieron otras características que permitieron concluir que los tres tipos de harina fueron apropiadas para producir tortillas de buena calidad. Las cantidades adecuadas de minerales (ceniza) y el valor de sedimentación, son indicadores muy importantes en la calidad de las harinas, el color y el tamaño de partícula, fueron características muy importantes de la tortilla para determinar su calidad a través de cada nivel de extracción.
3. La aceptabilidad de las tortillas con diferentes niveles de extracción determinados por análisis sensorial indicó que hubo una ligera preferencia por las tortillas de la variedad Rayón, pero en general, todas las tortillas tuvieron buena aceptabilidad por parte de los panelistas.
- 4.- El tipo de harina afectó en forma significativa al espesor, color, diámetro de la tortillas, principalmente el color, ya que era apreciable la diferencia conforme aumentaba el nivel de extracción.

5.- El desarrollo de rigidez, así como la baja rollabilidad hacia el final del experimento en las tortillas almacenadas a temperatura ambiente y refrigeración pudieron deberse a una rigidificación en la estructura del gluten en la tortilla o bien, a la retrogradación del almidón.

6.- En las condiciones de estudio, la rollabilidad y la rigidez medida como el módulo de elasticidad fue capaz de diferenciar la textura entre los tres tipos de harina utilizados, así como entre los niveles de extracción.

7.- Para los tres tipos de harina, los niveles de extracción óptimos para la elaboración de la tortilla son los de 74%, ya que ésta presenta buen color y en general buen aspecto y sabor. Los niveles de extracción de 80 y 100% también son de buena calidad, pero la diferencia es que al momento de producir tortillas, la apariencia principalmente en el color cambió.

10.- La opinión de los panelistas, fue muy variada, ya que algunos coincidieron en que las tortillas de 74% de nivel de extracción eran las mejores, sin embargo, hubo panelistas que refirieron a la tortillas de tipo integral (80 y 100% de nivel de extracción), aunque esto no se reflejó en la calificación, ya que para los tres niveles de extracción se obtuvo una calificación muy similar

11. La calidad del gluten y de las proteínas de la harina de trigo blanco, redujeron el efecto negativo de la presencia de fibra y de partículas de mayor tamaño en la textura de las tortillas.

RECOMENDACIONES

1. Es importante darle continuidad a este trabajo realizando más investigaciones en lo que se refiere a la elaboración de tortillas, así como tomar en cuenta las temperaturas durante el proceso desde el inicio hasta el final para obtener una tortilla con un horneado más uniforme.
2. Continuar con los estudios a las muestras para verificar que los niveles de extracción sean los correctos, también, darle continuidad a más trabajos de investigación para conocer el nivel de aceptación de las harinas de trigo rojo y blanco.
3. Realizar más trabajos de investigación que ayuden a mejorar la calidad y la apariencia de las tortillas con 80 y 100% de extracción, aumentar la vida de anaquel principalmente de las que están sometidas a temperatura ambiente.
4. Es necesario profundizar en el entendimiento del mecanismo a nivel molecular del proceso de envejecimiento de las tortillas, ya que se observó, contrariamente a lo que pudiera esperarse, que las tortillas almacenadas a temperatura de refrigeración mantienen sus propiedades texturales por más tiempo.

REFERENCIAS

- A.A.C.C. American Association of Cereal Chemists. 2000. *Approved Methods of the Cereal Chemistry, Inc. Vol. 1 and 2.* St. Paul, MN.
- Badui, D.S. 1993. *Química de los Alimentos. Tercera edición.* Ed. Alhambra, S.A. México, D.F.
- Barlow, K.K., Buttrose, M.S., Simmonds, D.H. and Vesk, M. 1973. The nature of the starch protein interface in wheat endosperm. *Cereal Chem.* 50: 443-454.
- Bello, A.B., Serna-Saldívar, S.O., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1991. Methods to prepare and evaluate wheat tortillas. *Cereal Foods World* 36(3): 315-322.
- Bloksma, A.H. 1990. Dough structure, dough rheology and baking quality. *Cereal Foods World* 35:237-244.
- Bushuk, W. 1986. Wheat: Chemistry and uses. *Cereal Foods World* 31:218-226.
- Chopin, M. 1978. *Metódica del ensayo alveográfico de una harina. Manual del Alveografo.* Paris, Francia.
- Dally, V. And Navarro, L. 1999. Flour Tortillas: A growing sector of the U.S. food industry. *Cereal Foods World* 44(7):457-459.
- Davidson, G. 1999. Census study offers first detailed view of U.S. tortilla industry. *Milling & Baking News* 78(22): 27-28.
- Friend, C.P., Ross, R.G., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1995. Effects of additives in wheat flour tortillas. *Cereal Chem.* 70: 412-416.
- Hibberd, G.E. 1970. Dynamic viscoelastic behavior of wheat flours dough. II. Effects of water absorption in the linear region. *Rheol. Acta.* 9: 497.

Hoseney, R.C. 1994. Principles of Cereal Science and Technology. Second edition. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, MN. USA.

Inglett, G.E. 1974. Wheat Production and Utilization. The AVI Publishing Co. Westport, Conn.

Kent, N.L. 1984. Technology of Cereals. Pergamon Press Ltd, Great Britain.

Kramer, A. 1973. Food texture definition, measurement of food. Reidel Publishing Company. Dordrecht, Holanda.

Lorenz, K. 1986. The importance of flour particle size in the mechanical dough development bread process. Cereal Chem. . 2: 27-31.

Mailhot, W.C. and Patton, J.C. 1988. Criteria of Flour Quality. In Wheat. Chemistry and Technology. Pomeranz Y. Editor. Vol II. American Association of Cereal Chemists, St. Paul Minnesota, USA.

McDonough, C.M., Seetharaman, K., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1996. Microstructure changes in wheat flour tortillas during baking. J. Food Sci. 61(5): 995-998.

Moreno, R.O. 1982. Respuesta del trigo al nitrógeno, fósforo y potasio en la rotación trigo-trigo. En: Avances de la Investigación. CIANO. Cd, Obregón, Sonora.

Norma Oficial Mexicana, NMX-FF-1996-SCFI.

Orth, R.A. and Bushuk, W. 1973. Studies of glutenin. III. Relation of variety, localization of growth and baking quality to molecular weight distribution of subunits. Cereal Chem. 46: 195.

Pedrero, L.D. y Pangborn, R.M. 1989. Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos analíticos. Ed. Alambra Mexicana. Primera edición. México, D.F.

Pomeranz, Y. 1978. Wheat: Chemistry and Technology. AACC. St, Paul, MN.

Pratt, D.B., Jr. 1971. Criteria of flour quality. Pages 201-226 in Wheat: Chemistry and Technology, 2nd de. Y. ,Pomeranz, de. Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN.

Prins, A. and Bloksma, A.H. 1983. Guidelines for the measurements of rheological properties and the use of existing data. In: Physical Properties Foods. Eds. Appl. Sci. Publ., London, England.

Proyecto SICA, Banco Mundial , 2001; <http://www.sica.gov.ec/cadenas/trigo2001.htm>

Qarooni, J. 1993. Wheat Flour Tortillas. Technical Bulletin, Research Department 15(5): 1-8. American Institute of Baking, Manhattan, Kansas, E.U.A.

SAS Institute Inc. 2000. SAS User's Guide. Statistics Version 6.04

Serna-Saldivar, S.O., Rooney, L.W. and Waniska, R.O. 1988. Wheat flour tortilla production. Cereal Foods World 33: 855-864.

Serna-Saldivar, S.O. 1996. Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales. AGT. Editor, S.A. México, D.F.

Shuey, W.C. 1975. Practical instruments for rheological measurements on wheat products. Cereal Chem. 52: 42.

Symns, K. and Cogswell, T. 1991. Development and utilization of hard white wheats. Reserch Department. Technical Bulletin 4: 1-5. American Institute of Baking, Manhattan, Kansas, E.U.A.

Suhendro, E.L., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. 1993. Effects of added proteins on wheat tortillas. *Cereal Chem.* 70: 412-416

Torres, P.I., Ramirez-Wong, B., Serna-Saldívar, S.O. and Rooney, L.W. 1993. Effect of sorghum flour addition on the characteristic of wheat flour tortillas. *Cereal Chem.* 70(1): 8-13.

Udy, D.C. 1956. Estimation of protein in wheat and flour by ion-binding. *Cereal Chem.* 33: 190-197.

Vázquez-Lara F. 1995. Evaluación de los cambios en solubilidad que sufren las proteínas durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz y sus efectos en la textura de la masa y el producto final. Tesis de Maestría. Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora.

Wang, L. And Flores, R.A. 1999. Effects of flour particle size on the textural properties of flour tortillas. *J. Cereal Sci.* 31: 263-272.

Waniska, R.D. 1999. Perspectives of flour tortillas. *Cereal Foods World.* 44 (7): 471-473

Wichser, F.W., Shellenberger, J.A. and Pence, R.O. 1948. Relationship of the physical properties of wheat flour to granulation. *Cereal Chem.* 24: 381-393.