

2 of No. 94



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

SORGO EN PANIFICACION

T E S I S

Que para obtener el título de:

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P r e s e n t a :

Vivian Marina Rivera Montas

México, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	página
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCIÓN	5
II.- REVISION BIBLIOGRAFICA	7
A.- Producción y consumo de sorgo	7
1.- Producción	
2.- Formas de consumo	
a) Tortillas	
b) Productos de panificación	
c) Otras formas de consumo	
B.- Estructura y composición química	13
1.- Estructura	
2.- Composición química	
a) Carbohidratos	
b) Lípidos	
c) Proteínas	
d) Pigmentos	
C.- Harinas pre-gelatinizadas	16
1.- Fenómenos de gelatinización y retrogradación	
D.- Métodos de procesamiento en la elaboración del pan... 19	
1.- Métodos convencionales	
a) Método esponja	

b) Método directo	
2.- Método Chorleywood	
III.- MATERIALES Y METODOS	21
A.- Materiales	21
1.- Materia prima	
2.- Reactivos	
3.- Equipos y aparatos	
B.- Métodos experimentales	21
1.- Obtención de harina integral	
2.- Obtención de harina pre-gelatinizada	
3.- Elaboración de pan	
4.- Elaboración de galletas	
5.- Análisis sensorial	
C.- Métodos analíticos	28
1.- Determinación de las propiedades reológicas de la masa	28
a) Preparación de las mezclas de harina de trigo comercial con harina integral pre-gelatinizada de sorgo	
b) Determinación de la viscosidad de las harinas	
c) Determinación de las propiedades de mezclado de la masa.	
d) Determinación de las propiedades de extensión de la masa	
2.- Indices de absorción y solubilidad en agua ...	33

3.- Humedad	
4.- Cenizas	
5.- Proteínas	
6.- Grasa	
7.- Aminoácidos	
a) Lisina	
b) Triptofano	
8.- Azúcares totales	
9.- Taninos	
10.- Fenoles	
11.- Color	
D.- Métodos estadísticos	38
1.- Prueba de Friedman	
2.- Prueba de orden de rangos	
IV.- RESULTADOS Y DISCUSION	40
Características químicas y tecnológicas de las harinas	
A.- Análisis bromatológico de la materia prima	40
1.- Análisis bromatológico de la harina integral de sorgo y sus mezclas con harina de trigo.	
2.- Análisis bromatológico de la harina pre-gelatiniza- da de sorgo y sus mezclas con harina de trigo.	
B.- Características tecnológicas	44
1.- Características de viscosidad	
2.- Características de mezclado	

3.- Características de extensión

4.- Características de color, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.

C.- Prueba de Panificación 69

1.- a) Análisis bromatológico del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo

b) Análisis bromatológico del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo.

2.- a) Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo

b) Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo

3.- Evaluación de las galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo y harina de sorgo

4.- Análisis sensorial 79

A.- Análisis sensorial en pan

1.- Análisis sensorial en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo.

2.- Análisis sensorial en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo.

B.- Análisis sensorial en galletas

1.- Análisis sensorial en galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo - harina integral de sorgo

2.- Análisis sensorial en galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo

V.- CONCLUSIONES	94
VI.- SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS	97
VII.- BIBLIOGRAFIA	98

INDICE DE TABLAS

página

Tabla I.- Producción mundial de sorgo	7
Tabla II.- Estadísticas nacionales de producción de sorgo	9
Tabla III.- Análisis bromatológico de las mezclas ha- rina de trigo y harina integral de sorgo	41
Tabla IV.- Análisis bromatológico de las mezclas hari- na de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo	43
Tabla V.- Efecto de la adición de harina integral de sorgo en las características de los amilogra- mas de harina de trigo.....	46
Tabla VI.- Efecto de la adición de harina pre-gelati- nizada de sorgo en las características de los amilogramas de la harina de trigo	47
Tabla VII.- Efecto de la adición de harina integral de sorgo en las características de los farino- gramas de la harina de trigo.....	55
Tabla VIII.- Efecto de la adición de harina pre-gela- tinizada de sorgo en las características de los farinogramas de la harina de trigo	56
Tabla IX.- Efecto de la adición de harina integral de sorgo en las características de los extenso- gramas de la harina de trigo	63

Tabla X.- Efecto de la adición de harina pre-gelatinizada de sorgo en las características de los extensogramas de la harina de trigo	65
Tabla XI.- Características de color, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua de las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo '.....	67
Tabla XII.- Características de color, índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua de las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	68
Tabla XIII.- Análisis bromatológico del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo	70
Tabla XIV.- Análisis bromatológico del pan elaborado con mezclas harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo	72
Tabla XV.- Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas harina de trigo y harina integral de sorgo	75
Tabla XVI.- Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo	77
Tabla XVII.- Evaluación de la aptitud galletera de las galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo	80

Tabla XVIII.- Evaluación de la aptitud galletera de las galletas elaboradas con las mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo	81
Tabla XIX.- Resultados de la prueba de Friedman en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	82
Tabla XX.- Resultados de la prueba de orden de rangos en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	85
Tabla XXI.- Resultados de la prueba de Friedman en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	86
Tabla XXII.- Resultados de la prueba de orden de rangos en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	87
Tabla XXIII.- Resultados de la prueba de Friedman en galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	90
Tabla XXIV.- Resultados de la prueba de orden de rangos en galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	91
Tabla XXV.- Resultados de la prueba de Friedman en galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	92

Tabla XXVI.- Resultados de la prueba de orden de ran-
gos en galletas elaboradas con las mezclas
harina de trigo - harina pre-gelatinizada
de sorgo 93

LISTAS DE FIGURAS

página

Fig. 1.- Eje de coordenadas tridimensionales que representan la escala de la medida del color	37
Fig. 2.- Curvas amilográficas de las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	49
Fig. 3.- Curvas amilográficas de las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	50
Fig. 4.- Efecto de la harina integral de sorgo en la viscosidad de la harina de trigo	52
Fig. 5.- Efecto de la harina pre-gelatinizada de sorgo en la viscosidad de la harina de trigo	53
Fig. 6.- Farinogramas de las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo	57
Fig. 7.- Farinogramas de las mezclas harina de trigo - harina pregelatinizada de sorgo	58
Fig. 8.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en la absorción de agua de la harina de trigo, en el sistema harina-agua	60
Fig. 9.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en la estabilidad de la harina de trigo en el sistema harina-agua	61

Fig. 10.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en el contenido proteínico de los panes	73
Fig. 11.- Panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo y las mezclas harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	78
Fig. 12.- Galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo y harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo	83

R E S U M E N

El pan es considerado un alimento importante para gran parte de la población mexicana, considerando las importaciones que actualmente se realizan de trigo, se tuvo como principal objetivo del presente trabajo estudiar el efecto de harina de sorgo integral y pregelatinizada en las características reológicas de la masa y calidad del pan y galletas, como alternativa para el uso de sorgo blanco (Sorghum bicolor L. Moench) en alimentación humana, así como también reducir las importaciones de trigo.

Fueron usadas dos harinas de sorgo blanco en proporciones de 10, 15, 20, 25 y 30%, una integral y otra pre-gelatinizada, esta última elaborada macerando el grano de sorgo en agua a temperatura ambiente durante 13 hrs, tratamiento con vapor autoclave (121°C) durante 5 min., secado y molienda.

La adición separada de ambas harinas no afectó las características de temperatura inicial de gelatinización, temperatura de viscosidad máxima y rango de gelatinización. Los valores de viscosidad máxima, viscosidad mínima a temperatura constante y viscosidad final sufrieron un aumento progresivo con la adición de harina integral, notándose un efecto inverso con el uso de harina pre-gelatinizada, que puede ser atribuido al efecto del proceso hidrotérmico a que fue sometida esta harina.

Los farinogramas realizados mostraron que la absorción de agua se mantuvo constante con la adición de harina integral, rostrando una mayor capacidad de absorción de agua en las mezclas elaboradas con harina pre-gelatinizada. El aumento de tiempo de llegada, tiempo de desenvolvimiento de la masa y tiempo de salida, con el empleo de ambas harinas, puede ser atribuido a una dilución del gluten en las mezclas. Los mayores valores de tiempo de desenvolvimiento indicaron que la adición de ambas harinas aumentaron la energía de mezclado de la masa, necesaria para desenvolver la red de gluten. La estabilidad presentó una disminución gradual con el aumento de porcentaje de ambas harinas en las mezclas, indicando un efecto de debilitamiento en la red de gluten.

La extensibilidad de la masa fue disminuida con la adición de ambas harinas, sufriendo una modificación la estructura de la masa haciéndose más tenaz, revelado por un incremento gradual en los valores de resistencia a la extensión, resistencia máxima y número proporcional.

El análisis de color realizado en las mezclas de trigo con harina integral y pre-gelatinizada presentó menores valores en relación al testigo (harina de trigo).

Los valores de índice de absorción de agua fueron mayores con el uso de harina pre-gelatinizada.

El peso de los panes elaborados con ambas mezclas fue mayor en relación al pan elaborado con harina de trigo; sien

do mayores estos valores cuando se usó harina pre-gelatinizada.

Los panes elaborados con 10 y 15% de harina integral presentaron los mayores volúmenes en relación al resto de los panes elaborados. El color de la miga y textura disminuyeron progresivamente a medida que se fue incrementando el nivel de sustitución de harina de trigo con ambas harinas.

Los resultados obtenidos en el análisis estadístico (Prueba de Friedman) de los panes evaluados con las mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo, mediante la prueba de panificación relativo a las características internas y externas, sabor, color, aroma, textura y apariencia general; no se encontró diferencia significativa entre mezclas en las características de color y sabor, el aroma mostró diferencia a un nivel del 0.05%, y la textura y apariencia general mostraron diferencia significativa a un nivel de 0.1%. Estos resultados fueron similares a los determinados en las mezclas donde se usó harina pre-gelatinizada.

La prueba de orden de rangos para el caso de mezclas con harina integral, en la característica de color mostró diferencia significativa entre el testigo y las mezclas con 15 y 30% a un nivel de significancia del 5% y en apariencia general entre testigo y mezcla con 30% al 10%. En el caso de mezclas con harina pre-gelatinizada, se encontró diferencia significativa entre el testigo y las mezclas con 15 y 25% en la carac-

terística de color a un nivel de significancia de 5 y 1% respectivamente.

En la evaluación de las galletas, la adición separada de harina integral de sorgo y harina pre-gelatinizada a la harina de trigo en los niveles de hasta 30%, no mostró diferencias significativas entre mezclas, así como también no se encontraron diferencias entre testigo y mezclas.

I N T R O D U C C I O N

En diversos países de Africa, Asia y América se han llevado a cabo investigaciones con la finalidad de disminuir en gran medida las importaciones de trigo que afecta sensiblemente su balance económico. Esto ha tenido como resultado el empleo de harinas compuestas a base de trigo y otros cereales disponibles para la elaboración de alimentos básicos, como es en el caso del pan, consiguiendo con esta medida una mayor captación de divisas y favoreciendo un mayor desarrollo del sector rural con mayores opciones agrícolas de producción.

El cultivo del sorgo ha alcanzado una importancia básica dentro del cultivo mundial de cereales, constituyéndose en parte esencial de la dieta humana de muchos países, principalmente de Asia y Africa.

La importancia de este cereal en México está basada en su amplia adaptación a las diferentes zonas del país, altos rendimientos obtenidos y facilidad de cosecha mecanizada, por lo que el sorgo ocupa actualmente el 3er lugar en lo que respecta a superficie cultivada, ocupando México el 5º lugar a nivel mundial en área cosechada⁷.

Las variedades comerciales actualmente empleadas en México para alimentación de ganado, cerdos y aves de corral son sorgos cafes, rojos u oscuros que presentan compuestos polifenólicos que causan problemas digestivos en animales monogástricos.

La introducción de líneas experimentales de sorgos blancos con ausencia de taninos y reducido contenido de fenóles, ya plenamente adaptadas a las diferentes regiones del país, ha dado un gran margen a la elaboración experimental de diversos alimentos a base de este cultivo, como es el caso de harinas nixtamalizadas, atole, tortillas y hojuelas⁵⁷.

Considerando la gran aceptación y proyección que están teniendo estos sorgos blancos en las diferentes zonas productoras de este cultivo, así como también los resultados satisfactorios obtenidos en la elaboración de alimentos básicos como las tortillas, el presente trabajo tuvo como objetivo principal estudiar el efecto de la adición de harina de sorgo integral y pre-gelatinizada a la harina de trigo, en las características reológicas y elaboración de pan y galletas.

II. REVISION BIBLIOGRÁFICA

A.- Producción y Consumo de Sorgo

1.- Producción

El sorgo es un cultivo, conocido desde 700 años a.c., pertenece a la familia de las gramíneas, del género sorghum bicolor L. Moench ²¹.

Originario de Asia y Africa, el sorgo ocupa el tercer lugar de la producción mundial en cereales y cerca del 75% de dicha producción, se destina para consumo humano ⁶⁵.

Según las estadísticas reportadas por Rooney et al. en el año 1975, la producción de sorgo se distribuyó de la siguiente manera: América del Norte 37%, América Central 7%, América del Sur 11%, Africa 20%, Oeste de Asia menos del 1%, Sur de Asia 21%, Este de Asia 1%, Oceanía 2% y Europa menos del 1% ⁵¹.

Tabla I. Producción Mundial de Sorgo

Año	Superficie Cosechada (Millones de Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Producción		Consumo
			(Millones de Ton.)	1	(Millones de Ton.)
1960	45.4	0.94	42.5	14.5	24.3
1965	47.2	1.04	49.2	21.5	33.2
1970	49.7	1.23	61.2	29.8	34.9
1975	48.1	1.37	65.7	29.3	36.4
1978	47.5	1.44	68.6	30.9	35.1

1 Consumo como alimento Fuente: Rooney et al. ⁵¹.

2 Otro tipo de consumo

El cultivo de sorgo en México, ha cobrado gran interés en los últimos quince años, siendo uno de los granos más importantes, debido principalmente a su amplio rango de adaptabilidad a la variaciones ambientales, su utilidad como grano forrajero, facilidad de mecanización, resistencia a la sequía y relativa tolerancia a enfermedades y plagas¹⁰.

La mayor parte de la producción a nivel nacional está concentrada en el norte (Tamaulipas). Este (Jalisco, Michoacan y Sinaloa) y Area Central (Guanajuato). Estos estados cuentan con el 82% del total de la producción de sorgo¹⁰. Otros estados que cultivan sorgo en menor proporción son Chi huahua- Nuevo León, Morelos, Nayarit, Sonora y Coahuila ,
Tabla II.

2.- Formas de consumo.

El grano de sorgo tiene muchos y variados usos, dependiendo del lugar o región donde se produzca.

En Estados Unidos, el grano de sorgo es considerado como grano forrajero, sólo del 3-5% de la producción es usada para consumo humano en forma de "Hot cakes", "Waffles", galletas y para fines industriales^{5,21}.

Tabla II.- Estadísticas Nacionales de Producción de Sorgo

AÑO	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton.)	Rendimiento (Kg./Ha)	Valor (miles de pesos)
1970	920 930	2 747 211	2 829	1 774 027
1971	935 785	2 715 958	2 689	1 712 539
1972	1 108 972	2 611 523	2 355	1 921 807
1973	1 184 596	3 269 835	2 750	2 773 383
1974	1 155 746	3 499 418	3 028	4 438 493
1975	1 445 100	4 125 818	2 855	8 502 889
1976	1 251 130	4 026 864	3 218	6 682 702
1977	1 413 070	4 273 141	3 024	8 530 351
1978	1 396 558	4 185 055	2 997	-
1979	1 216 000	3 378 000	3 049	-
1980	1 579 000	4 812 000		16 776 000
1981	1 767 000	6 296 000		24 296 000

Reportado por la Secretaría de Programación y Presupuesto ^{55,56}.

En Africa se ha empleado el sorgo en malteado y en forma no malteada, en amplias variedades de "porridges" o sopas y en bebidas similares al atole. En Nigeria, se elabora el Ogi, producto que se obtiene del grano de sorgo macerado en agua durante 2 a 4 días, esto permite al grano una adecuada fermentación. Posteriormente el sorgo es lavado y filtrado en una malla o cedazo con suficiente agua. El sedimento de este filtrado es lo que se conoce como Ogi ^{25,51}.

En el sur de Asia se usa para alimentación humana como

pasta gruesa y seca para desayunos y meriendas, bebidas fermentadas y otras formas de consumo ²¹.

En México, la producción de sorgo en su totalidad se destina a la elaboración de concentrados proteínicos para alimentación animal y aves de corral ⁷. A nivel experimental se han realizado estudios para la elaboración de harinas nixtamalizadas de sorgo blanco para tortillas, obteniéndose tortillas de buenas características sensoriales ⁵⁷.

a) Tortillas

El maíz ha sido cultivado en México y otros países de Latinoamérica durante mucho tiempo y es uno de los granos de mayor consumo directo en forma de tortillas y otros productos. Debido al déficit en la producción de maíz todo el año, una opción para incrementar la cantidad de harina disponible para tortillas, ha sido la mezcla de maíz y sorgo en combinaciones aceptables ^{31,52}.

No obstante que el maíz es y ha sido preferido para la producción de tortillas en algunos países de Centroamérica, el sorgo está siendo consumido en forma de tortillas de sorgo o mezclas maíz-sorgo en diferentes proporciones, cubriendo los déficits de maíz.

Trabajos cooperativos entre INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas) e ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics), han producido tortillas de características sensoriales aceptables empleando sorgo blanco integral y mezclas de maíz-sorgo ¹⁶.

b) Productos de panificación

Se han realizado numerosas investigaciones sobre productos de panificación con sorgo. Entre lo más sobresaliente se presentan: Hart et al. (1970) desarrollaron una fórmula para hacer pan con 100% de harina de sorgo y con aditivos tales como la metilcelulosa, monoesterato de glicerol y almidón de otros cereales. Investigadores de la Universidad de Texas obtuvieron pan aceptable conteniendo de 20 a 30% de harina de sorgo. Los panes con 5% de harina de sorgo no mostraron diferencias significativas con el testigo de 100% de trigo^{21,25,51}.

Badi y Hoseney (1977) demostraron que no hubo diferencias significativas en el volumen de panes con 5 y 20% de harina de sorgo con respecto al testigo harina de trigo⁵.

Casier et al. (1977) desarrollaron una fórmula para preparar pan de sorgo de buena calidad utilizando de 2 a 4% de pentosanas como elemento universal de cocción^{13,21}.

Se reportó también que las harinas de sorgo son excelentes en la elaboración de pasteles de frutas y bizcochitos y pueden ser usadas en panes de cocimiento rápido tales como panecillos, galletas, rollo, "hot cakes" y "waffles"^{5,21}.

Ugali. Es un producto elaborado en Kenya que consiste en una bola de pasta, rellena de carne, elaborada con harina de sorgo y en algunos casos mezclada con harina de maíz. La harina o mezclas de harinas se amasa con agua caliente, generalmente el ugali se sirve con ensalada de vegetales^{25,51}.

Chapati.- Es un pan hecho en la India sin el uso de levadura, se hace con harina integral de sorgo. Existen diferencias significativas entre sorgos híbridos y los cultivivos criollos para hacer Chapati en sus propiedades, como el amasado y enrollado de la pasta o masa, el porcentaje del agua absorbida por la harina durante el amasado. Además el gusto, sabor y aroma del Chapati se ve determinado por la pigmentación del pericarpio^{21,25,51}.

c) Otras formas de consumo.

Extrudando el sorgo con suplementos de proteínas vegetales, permite producir alimentos análogos a los obtenidos del arroz, y en formulaciones para salchichas, carnes frías y pan^{13,14,21}.

También puede ser usado para alimentos tales como botanás, para la obtención de azúcar, jarabes. En la elaboración y fortificación de alimentos. La harina de sorgo también puede ser mezclada con harinas de legumbres, para mejorar el balance de aminoácidos de los alimentos, a base de cereales. Las mezclas se pueden llevar a cabo con harinas pregelatinizadas y envasados como alimentos concentrados o alimentos de uso convencional, almacenados en un tiempo limitado^{14,21}.

B.- Estructura y Composición química

1.- Estructura

El sorgo es un grano de cariósipide desnuda esférica, cuyo peso varía de 3 a 80 mg. por grano. Está compuesto de pericarpio 6 - 8%, endospermo 80 - 82 % y germen 10 - 12%.

La capa externa del pericarpio es la epidermis o epicarpio, ésta contiene pigmentos y cera. La capa intermedia o mesocarpio, contiene pequeños gránulos de almidón, embebidos en una densa red proteínica. La porción interior del pericarpio (endocarpio) está compuesto de células entrecruzadas.

Algunas variedades de sorgo tienen una capa de células altamente pigmentada debajo del pericarpio, esta capa se ha referido a la testa llamada también subcapa o capa nuclear.

El endospermo está compuesto de una capa de aleurona y de las porciones periférica, córnea y harinosa.

La capa de aleurona, localizada inmediatamente debajo del pericarpio es una capa de células pequeñas y densas con alto contenido de aceite y proteína.

El endospermo periférico, está localizado debajo de la capa de aleurona y consiste de una capa de algunas células gruesas, las cuales se distinguen del resto en el endospermo.

porque contienen pequeños gránulos de almidón, los cuales están contenidos en una red proteínica.

El endospermo harinoso, está localizado en el centro del grano y está rodeado por el endospermo córneo.

El gérmen está firmemente embebido en el grano y es muy difícil eliminarlo durante los procesos de molienda seca y húmeda^{21,25}.

2.- Composición Química.

La composición del grano de sorgo es similar a la del maíz, en general contiene un porcentaje mayor de proteínas y 1% menor de aceite que el maíz²⁵.

a) Carbohidratos

Los carbohidratos, incluyendo almidón, celulosa, azúcares simples y pentosanas, comprenden del 80-85% del peso seco del grano. El almidón constituye normalmente el 70-75%, contiene 20-30% de amilosa y 70-80% de amilopectina. El rango de temperatura de gelatinización del almidón es aproximadamente de 67-77°C.

b) Lípidos

El aceite está concentrado en el germen, pericarpio y capa de aleurona en un 3.5%. El germen contiene más del 79% del aceite total. Los ácidos grasos consisten principalmente de linoléico, oléico, palmítico, esteárico y linolénico.

c) Proteínas

Las proteínas del sorgo de acuerdo a la clasificación de Osborne son albuminas solubles en agua, las globulinas solubles en sales diluidas, las prolaminas solubles en alcohol y glutelinas solubles en bases diluidas. Las albuminas y globulinas tienen mayor cantidad de lisina y otros aminoácidos esenciales. La fracción de prolamina o kafirina es alta en ácido glutámico y aminoácidos no polares.

La lisina es el primer aminoácido limitante seguido por treonina y triptofano. Las proteínas del sorgo contienen ligeramente más triptofano que las proteínas del maíz.

d) Pigmentos

Los dos grandes tipos de pigmentos presentes en el grano de sorgo, son los carotenoides y compuestos polifenólicos.

Los tipos de polifenoles incluyen flavonoides, antocianidinas, leucoantocianidinas y taninos condensados. Los taninos condensados están presentes en el sorgo que tiene testa, especialmente aquellos que son resistentes a los pájaros, referidos a los sorgos cafés; la mayor desventaja de estos sorgos es que causan una disminución considerable en el valor nutritivo: ocasionando una disminución en el PER (Relación de Eficiencia Proteínica); formación de complejos con las proteínas que se ingieren en la dieta y con otros componentes de ésta; complejos con enzimas digestivas interfiriendo en la di-

gestión normal. También los taninos o sus productos de hidrólisis cuando son absorbidos, ocasionan un efecto tóxico en otras partes del organismo^{36,37,42}.

C.- Harinas pre-gelatinizadas

Las harinas pre-gelatinizadas de trigo y maíz son producidas y comercializadas en los Estados Unidos, hace más de 50 años, para diversos usos industriales y alimenticios. En países de América Latina, en los últimos años, la elaboración y el uso alimenticio de la harina pre-gelatinizada de maíz ha crecido^{26,40}.

Cuando una harina o "grits" (compuesto básicamente por endospermo, constituido principalmente de almidón), son suficientemente calentados por cualquier medio, con un adecuado nivel de humedad, los gránulos de almidón presentes se gelatinizan. Este es el principio básico de la elaboración de harina pre-gelatinizada^{38,49}.

Con el uso de este tratamiento se consigue modificar una serie de propiedades funcionales de la harina, tales como capacidad de absorción de agua, la solubilidad y las propiedades de viscosidad en un sistema acuoso, proporcionando su uso en nuevos y variados productos alimenticios^{49,61}.

Por ser un producto pre-cocido, una harina pre-gelatinizada presenta la ventaja de facilitar la preparación de los alimentos tradicionalmente hechos a base de harina no gelatinizada y es útil principalmente en las zonas donde el abastecimiento de electricidad y combustible son limitados⁴¹.

Las harinas pre-gelatinizadas de sorgo pueden ser utilizadas en la elaboración de pastas, potajes, en mezclas previas para sopas y atoles; también como alimento para desayuno y bocadillos²¹.

1.- Fenómenos de gelatinización y retrogradación.

El almidón en estado nativo es insoluble en agua fría y resistente al ataque de enzimas amilolíticas³⁴. Los gránulos de almidón poseen una capacidad limitada para absorber agua fría y entumecer irreversiblemente³⁵.

Cuando una suspensión de almidón es sometida a la acción del calor o de reactivos químicos apropiados, ocurre un debilitamiento de la red micelar dentro del gránulo y un posterior rompimiento de los puentes de hidrógeno, que mantienen su estructura. Esto permite una hidratación y entumecimiento irreversible del gránulo, con un subsecuente aumento de viscosidad y cambios significativos en las propiedades de la pasta. Este fenómeno se conoce como gelatinización^{35,17,54,58}.

La gelatinización del almidón no es un proceso instantáneo, no todos los gránulos de una muestra de almidón se gelatinizan a una misma temperatura, más si en un intervalo de 8 a 10°C^{35,38,59}. Durante la gelatinización simultáneamente con el entumecimiento del gránulo de almidón, ocurre una solubilización de una porción de los componentes moleculares del grano; siendo así, una suspensión de almidón a alta temperatura, considerada como una mezcla de gránulos entumecidos y fragmentos dis-

persos de gránulos agrupados con las moléculas de almidón. Estos elementos presentan una tendencia de asociarse o retrogradar cuando la pasta es enfriada, formando un gel rígido de viscosidad elevada. Un aumento de viscosidad durante el enfriamiento, refleja una tendencia del almidón a retrogradar³⁵.

Leach, considera tres factores importantes que influyen la retrogradación: concentración de amilosa, agrupamiento de las moléculas de amilosa y el estado de dispersión de las cadenas lineales³⁵.

La retrogradación está considerada básicamente como una cristalización¹⁸; ocurre principalmente por el agrupamiento de las partes lineales de las moléculas de almidón a través de una fuerte tendencia de formación de puentes de hidrógeno entre grupos hidroxilos en moléculas adyacentes al almidón, el que ocasiona la formación de geles o precipitados insolubles⁵⁴.

Los cambios que ocurren durante la retrogradación, son de considerable importancia en usos industriales del almidón. La primera indicación de retrogradación, es el aumento en la resistencia del almidón a la hidrólisis de enzimas amilolíticas, un progresivo aumento en la firmeza del gel, una disminución en la transmisión de la luz a través de las soluciones y pérdida de la habilidad para la formación del complejo azul con yodo¹⁸.

D.- Métodos de procesamiento en la elaboración del pan.

El pan puede ser obtenido por varios métodos que dependen del tipo de pan producido, de los aspectos económicos y de la preferencia de los consumidores. Los métodos pueden ser divididos en dos grupos, el primero que incluye los métodos convencionales y el segundo que engloba los métodos que dependen del desenvolvimiento mecánico de la masa.

Estan en uso corriente dos grandes sistemas , los cuales incluyen los principios de desenvolvimiento mecánico de la masa: el primero es el sistema tipo batido, siendo el proceso Chorleywood el ejemplo mas común y el segundo el sistema continuo, siendo el "Do-maker" y el "Am-flow" los ejemplos más comunes. Este segundo sistema es usado apenas para producción de pan tipo americano (pan de forma)^{33,43,45}.

1.- Métodos convencionales

Los métodos convencionales incluyen el método de masa directa y masa esponja.

a) Método esponja.

De acuerdo con Ponte⁴⁵ , el 50-70% de la harina se mezcla al principio con toda la levadura y la cantidad de agua suficiente para producir una masa homogénea y no llegar al desenvolvimiento de la proteína del gluten. Se deja fermentar durante 4 1/2 horas. La masa se mezcla con el resto de la harina, la sal y el agua necesaria para formar una masa adecuada, que se somete a una corta fermentación antes de formar

los panes y cocerlos³³.

b.- Método directo

En el procedimiento de masa directa todos los ingredientes son mezclados de una sola vez. El mezclado se hace hasta obtener el grado óptimo de desenvolvimiento del gluten. La masa es fermentada de 2-4 horas, se forman los panes y se dejan reposar antes del cocimiento.

Comparado con el proceso de esponja, la masa directa requiere menos tiempo de procesamiento, el pan obtenido tiene mejor sabor y aroma que el obtenido en el proceso esponja³³.

2.- Método Chorleywood.

Este método consiste de un proceso discontinuo en el cual la fermentación de la masa viene reemplazada por la aplicación de una intensa energía mecánica durante el amasado. Se caracteriza por el consumo de una gran cantidad de energía (40 julios/gramo) durante un periodo de cinco minutos.

Las fases de corte, boleado, descanso, moldeo, fermentación final y cocimiento son los mismos para el proceso Chorleywood y los métodos convencionales^{43,45}.

La cantidad de levadura empleada es algo superior a la de los procesos normales. Utilizan agentes oxidantes para oxidar las ligaduras químicas que han sido rotas durante el mezclado intensivo, permitiendo la reconstrucción de nuevas ligaduras y permitir la formación de la estructura del gluten y el desenvolvimiento de las características de la masa.

III.- Materiales y Métodos

A.- Materiales

1.- Materia prima

Se utilizó una línea de sorgo blanco (Sorghum bicolor L. Moench), proporcionado por CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) y harina de trigo comercial. (72% de extracción).

2.- Reactivos

La pureza de los reactivos usados para los análisis químicos en este estudio, estuvo de acuerdo con las especificaciones exigidas para los métodos de análisis.

3.- Equipos y aparatos

Además de los aparatos de uso común en el laboratorio, se utilizaron los siguientes:

Molino pulverizador UDY

Viscoamilógrafo Brabender

Micro - Farinógrafo Brabender

Micro - Extensógrafo Brabender

Fotocolorímetro Bausch and Lomb

Colorímetro de reflectancia Hunterlab

Autoclave

Centrifuga

B.- Métodos experimentales

1.- Obtención de harina integral

Para la obtención de harina integral de sorgo, se utili-

zó el molino UDY, con una malla de 0.4 mm.

El objeto de utilizar una harina integral fue obtener un mayor rendimiento y valor nutricional.

2.- Obtención de Harina pre-gelatinizada.

Para la elaboración de harina pre-gelatinizada, se empleó un tratamiento hidrotérmico, siguiendo las siguientes etapas: en el inicio la muestra de sorgo se sometió a maceración con agua durante un tiempo de 13 horas a temperatura ambiente (29-30°C). Tiempo obtenido experimentalmente, con la finalidad de modificar su contenido de humedad hasta alcanzar su humedad de equilibrio. El grano macerado, fue escurrido y sometido a un tratamiento térmico con vapor (autoclave) durante 5 min a 121°C. Una vez terminado el tiempo, el grano se secó en estufa a 50°C durante 15-18 horas hasta que el contenido de humedad del grano fue de 9% para su posterior molienda en el molino UDY.

3.- Elaboración de pan

La elaboración del pan se realizó por el método de masa directa, con las especificaciones del método 10-10 del AACCC¹, siendo la fórmula la siguiente:

a.- Fórmula del pan

Harina	100 g
Levadura comprimida (2%)	10 ml.
Sal (1.5%)	10 ml.
Azúcar (5%)	10 ml.
Grasa vegetal	3 g.
Leche en polvo	4 g.

Agua (%)	Óptimo para cada muestra
Tiempo de amasado	Óptimo para cada muestra
Tiempo de fermentación	205 minutos a 30°C y 75% humedad relativa
Manejo de la masa	Primer fresado, después de 80 minutos del amasado segundo fresado, después de 125 min del amasado.
Moldeo	El moldeo se realiza a los 25 min después del fresado
Cocción	25 min a 232°C

b.- Amasado

El total de los ingredientes fueron amasados en una amasadora tipo universal, en un tiempo óptimo de amasado, para obtener una masa homogénea, que no quede ni dura ni chiclosa, ya que de esto depende en gran parte el volumen del pan.

c. Fermentación

Una vez lista la masa, se llevó al gabinete de fermentación el cual consta de cuatro resistencias y un termostato automático, para mantenerlo a 30°C y un humidificador con su respectivo higrómetro para operarlo a 75% de humedad, de esta manera se evita que se resequen las masas.

Estando las masas en el gabinete de fermentación se les dieron dos fresados, los que consisten en estrujar la masa quince veces con las manos, con el propósito de eliminar el gas

que se forma durante la fermentación.

d.- Moldeo de la Masa.

Se efectuó en dos juegos de rodillos, del primero se obtiene una cinta de espesor uniforme y sin la mayoría de burbujas de gas, en el segundo juego de rodillos es donde se moldea apropiadamente la masa, ya que queda hecha un cilindro del tamaño adecuado para entrar a los moldes que previamente han sido engrasados.

e.- Fermentación secundaria

Una vez colocada la masa en los moldes se regresó al gabinete de fermentación con la finalidad de darle un reposo después de haber sido sometida al trabajo mecánico.

f. Cocimiento de la masa

El cocimiento de la masa se efectuó a 232°C durante 25 min, al cabo de este tiempo, se saca el pan ya cocido y se le determina su peso estando caliente.

g.- Evaluación de la calidad del Pan

El volumen del pan fue determinado usando un medidor de volumen, basado en el desplazamiento de semilla (colza). El volumen desplazado por el pan es directamente proporcional al volumen del mismo. Se determinó una hora después de haber salido del horno.

Al día siguiente de la elaboración del pan se efectuó un corte transversal, la mitad de este pan fue colocado en una lámina especial, (consta de una serie de filtros que evitan la inter-

ferencia de sombra) para ser sometido a su análisis visual de color y textura de la miga.

La calificación de cada pan se efectuó en base a una tabla hedónica, elaborada con testigo, considerado de características óptimas. Existiendo la posibilidad de que algunos de estos panes supere las características del testigo⁶³.

Tabla Hedónica para calificar aptitud panadera

a.- Para calificar color de la miga

100 cr	(crema)
90 cr	(amarillo crema)
80 A	(amarillo)

El número indica la intensidad en la coloración de la miga.

b. Para calificar textura, granulosidad y estructura de la miga.

100	E	Excelente
99	MB	Muy Buena
90		
89	B	Buena
80		
79	R	Regular
70		

69 P Pobre

60

menor de 59 MP Muy Pobre

El número indica la calidad del poro de la miga.

4.- Elaboración de galletas

La elaboración de galletas se realizó de acuerdo al método oficial del AACC ¹ N° 10-50.D. Se empleó 1/2 fórmula para la elaboración .

a.- Fórmula de la galleta

harina	112 g
Sal	1 g
royal	1.5 g
manteca vegetal	32 g
azúcar	65 g
huevo	13 ml
leche	32 ml

b.- Proceso de elaboración

Se mezcló el azúcar, royal, y manteca durante 3 min. luego se agregó el huevo (ligeramente batido) y se mezcló por 3 min. más. Se añadió la leche (con la sal) alternando con la harina.

Se laminó la masa con el rodillo (3/8" de grueso) se cortaron las galletas con un molde, y se colocaron en láminas engrasadas. Se cocieron a 204°C por 11 ó 12 minutos.

c.- Evaluación de la calidad de las galletas.

Para la evaluación de la calidad de las galletas se determinó el factor galletero (W/L); para lo cual se escogieron 5 galletas de las mejores, en una formulación y a cada una de las galletas se le determina la media de 3 diámetros medidos. Una vez obtenidas las medias de los diámetros, se sumaron para obtener el valor de (W); (L) se refiere a la altura de las 5 galletas. Obtenidos estos valores se calcula el factor galletero.

Escala para calificar galletas

Factor		Aptitud
Galletero		Galletera
Mas de	4.1	Excelente
3.5	4.0	Muy Buena
3.0	3.4	Buena
2.0	2.9	Regular
Menos de	1.9	Pobre

5.- Análisis sensorial.

Este análisis se efectuó en los panes y galletas elaborados de acuerdo a los métodos descritos anteriormente, las características evaluadas fueron color aroma, sabor, textura y apariencia general.

La evaluación se efectuó por la calificación de cada una de las características dada por una escala hedónica de 9 puntos. Esta se realizó presentando 4 muestras a cada panelista, con 8 repeticiones.

C.- Métodos analíticos

1.- Determinación de las propiedades reológicas de la masa.

a) Preparación de las mezclas de harina de trigo comercial y harina integral y pregelatinizada de sorgo.

Se prepararon diferentes tipos de mezclas, las cuales consistieron en mezcla de harina de trigo con harina integral de sorgo con niveles de sustitución de 10, 15, 20, 25 y 30% de harina de trigo. De la misma manera se prepararon mezclas con harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo en niveles de sustitución de 10, 15, 20, 25 y 30% de harina de trigo.

Estas mezclas se utilizaron en todos los análisis realizados.

Cabe mencionar que se realizaron estudios experimentales previos con mezclas de harina de sorgo integral y pre-gelatinizada en niveles de sustitución de 20, 40 y 60% de harina de trigo, a las cuales se les hicieron análisis reológicos y prueba de panificación, encontrándose en los análisis reológicos que las mezclas con 40 y 60% de sustitución de harina de trigo se obtuvieron masas muy tenaces y baja extensibilidad, por

lo que no resultaron aptos para la elaboración de pan. Para establecer un criterio final se hicieron panes con estas mezclas de ambas harinas de sorgo y trigo, encontrándose que en los panes elaborados con las mezclas de 40 y 60%; se obtuvieron panes de baja calidad en cuanto a volumen, textura y color de la miga.

b) Determinación de la viscosidad de las harinas.

La determinación de viscosidad se realizó en el viscoamilógrafo Brabender. La muestra (con tamaño de partícula menor de 300μ) se pesó una cantidad determinada para cada experimento, siendo que para las mezclas de harina de trigo con harina integral de sorgo y harina pre-gelatinizada se usó una concentración de 67.50 gr (14% humedad) en 450 ml de agua destilada. La temperatura inicial de 25°C fue aumentada en 1.5°C cada minuto, hasta alcanzar la temperatura máxima de 92°C permaneciendo constante a esta temperatura durante 20 min.^{24,38}

A continuación se conectó el ciclo de enfriamiento con disminución de la temperatura en 1.5°C por minuto hasta una temperatura final de 50°C .

Las medidas para interpretar el amilograma (gráfica de viscosidad en unidades amilográficas* (U.A) por tiempo en minutos) son:

1) Temperatura inicial de gelatinización: es la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ determinada con base al tiempo de funcionamiento del amilógrafo (1.5°C cada minuto) correspondiente al punto donde inicia o aumenta la viscosidad durante el ciclo de calentamiento.

*1. Unidad amiloográfica.- es una unidad arbitraria que representa la viscosidad en una escala de 0-1000.

2) Temperatura de viscosidad máxima ; corresponde a la temperatura en la cual la suspensión tiene el valor de máxima viscosidad durante el ciclo de calentamiento.

3) Rango de Gelatinización; es la temperatura en °C correspondiente a la diferencia entre temperatura de viscosidad máxima y la temperatura inicial de gelatinización.

4) Viscosidad Máxima; es el valor de viscosidad máxima de la curva en U.A. durante el ciclo de calentamiento.

5) Viscosidad mínima a temperatura constante (92°C): es el valor mínimo que alcanza la viscosidad de la pasta en U.A. durante el ciclo de temperatura constante a 92°C.

6) Viscosidad final a 50°C.:corresponde al valor de viscosidad en U.A. a la temperatura de 50°C en el ciclo de enfriamiento.

c) Determinación de las propiedades de mezclado de la masa.

La determinación de las propiedades de mezclado se realizó con un micro-farinógrafo Brabender. La muestra de harina fue analizada en 2 etapas la primera llamada curva de titulación . Se pesó 10g de muestra de harina y con el farinógrafo en movimiento se adicionó desde una bureta la cantidad de agua suficiente , hasta que apareció una línea continua en el papel graficador, indicando 500 unidades farinográficas. La cantidad de agua adicionada en porcentaje representa la absorción de agua de esa harina ;

La segunda etapa es el trazo del farinograma propiamente como tal. Se pesó nuevamente 10g de harina y se adicionó la cantidad de agua determinada previamente y se dejó el aparato en movimiento por un periodo no inferior a 20 minutos³, 8,11,22, 38,43.

En esta curva se determinan los parámetros que indican las propiedades de la harina :

1) Absorción de agua: es definida como la cantidad de agua necesaria para centralizar la curva del farinograma en la línea de las 500 U.F. para un sistema harina-agua.

2) Tiempo de llegada: es el tiempo en minutos, en el más próximo medio minuto, para que la parte superior de la curva alcance la línea de las 500 U.F. después que el mezclador fue encendido y el agua introducida.

3) Tiempo de desenvolvimiento de la masa: es el tiempo en minutos en el medio minuto más próximo del inicio de la adición de agua, hasta el desenvolvimiento de la consistencia máxima de la masa, movilidad mínima inmediatamente antes de la primera indicación de debilitamiento.

4) Estabilidad: es definida como la diferencia en tiempo, en el medio minuto más próximo, entre el punto donde la parte superior de la curva intercepta primero la línea de las 500 U.F. y el punto donde la parte superior de la curva deja la línea de las 500 U.F.

5) Tiempo de salida: este es el punto en el medio minuto más próximo de la primera adición de agua hasta que

la parte superior de la curva deja la línea de las 500 U.F., es la suma de tiempo de llegada y de estabilidad.

6) Lectura del valorímetro: es un dato empírico de calidad obtenido con un dispositivo especial que acompaña al farinógrafo Brabender.

d) Determinación de las propiedades de extensión de la masa.

La determinación de las propiedades de extensión fue realizada con un micro-extensógrafo Brabender. La muestra de 10 g. es preparada en el farinógrafo con una consistencia de 500 U.F. y con el tiempo de mezclado apropiado. De la masa obtenida se tomaron 15g la cual fue boleada en dispositivos especiales del propio aparato, luego se dejó 20 min. en la cabina de reposo a 30°C. Después de este tiempo la masa fue fijada por fijadores especiales, fue colocada en un soporte del aparato y es estirada por la separación del soporte hasta que se rompe. La fuerza requerida para estirar la masa es transmitida por un sistema calibrado hasta que el registrador grafi que la curva en el papel apropiado^{9,11,38,43}.

Las características usadas para interpretar el extensograma fueron:

1) Extensibilidad (E): Es la longitud del extensograma en mm, indicando la extensibilidad de la masa.

2) Resistencia a la extensión (R): Es la medida en términos de unidades extensográficas (U.E.), cada unidad es

igual a 1.6 g y es obtenida del punto más alto del extensograma, 50 mm después que la curva se ha iniciado.

3) Resistencia Máxima (R_m): es la medida en U.E. en la altura máxima del extensograma.

4) Número proporcional (D): es la relación entre la resistencia a la extensión y la extensibilidad de la masa (R/E).

5) Area Total (A): es el área total en cm^2 del extensograma, medida con planímetro

2.- Índices de Absorción y Solubilidad en agua.

Para determinar los índices de absorción y solubilidad en agua de las muestras, se siguió la metodología de Anderson^{4,38}. Una muestra de harina de 2.5 gr (tamaño de partícula menor de 150 μ) se suspendió en 30 ml de agua destilada, en un tubo de centrifuga de 50 ml. previamente pesado. La suspensión se sometió a agitación intermitente durante 30 min. el sobrenadante se separó cuidadosamente y se determinó el peso del residuo sólido. El sobrenadante se evaporó en estufa a 105°C, hasta peso constante y se pesó.

El índice de absorción de agua se expresa como la relación entre el peso del residuo y el peso seco de la muestra, al que se le resta el peso del residuo de evaporación del sobrenadante.

$$IAA = \frac{\text{Peso del residuo de centrifugación}}{\text{Peso seco de muestra} - \text{Peso de residuo de evaporación}}$$

El índice de solubilidad en agua se expresa como la relación entre el peso de residuo de evaporación y el peso seco de la muestra.

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso del residuo de evaporación}}{\text{Peso seco de la muestra}}$$

3.- Humedad :

Para la determinación de humedad, se utilizó el método N°44-18 del AACC¹. Se pesan de 1-2g de muestra en cápsula de peso conocido, se coloca en la estufa a 130°C durante 1 hora, luego se enfría y se pesa.

4.- Cenizas

El contenido de cenizas se determinó por calcinación de la muestra durante 2 horas a 600°C, según el método N°08-03 del AACC¹.

5.- Proteína

Se determinó el contenido de nitrógeno total por el método Kjeldhal, método N°46-10 descrito por AACC¹. El contenido de proteína total se calculó, usando el factor N x 6.25 para el caso del sorgo y las mezclas, para la harina de trigo se calculó usando el factor N x 5.7

6.- Grasa cruda

Se determinó de acuerdo con el método N°30-20 del AACC¹, utilizando una extracción continua con éter de petróleo, en un extractor Goldfish.

7.- Aminoácidos

a) Lisina

La lisina fue determinada por el método de Tsai modificado por Villegas⁶⁴. Basado en una hidrólisis enzimática con papaína, bloqueo de los grupos α -amino de los aminoácidos libres con cobre y la reacción del grupo epsilon-amino de la lisina con el 2-cloro - 3,5-dinitropiridina para formar un complejo colorido (amarillo).

b) Triptofano

Se determinó por el método de Opienska Blauth modificado por Hernández y Bates²⁸. Se basa en la hidrólisis enzimática con papaína, la reacción del ácido sulfúrico y acético formando el ácido glioxílico, que reacciona con el anillo indólico del triptofano dando un complejo de color púrpura.

8.- Azúcares totales

El contenido de azúcares totales se determinó según el método de antrona²⁰. Basado en la hidrólisis de los oligosacáridos reductores o no reductores extraídos con el etanol al 80% con ácido sulfúrico concentrado para producir monosacáridos libres, la antrona reacciona con éstos y con los monosacáridos ya existentes para desarrollar el color característico de la prueba.

9.- Taninos

Para determinar el contenido de taninos, se utilizó el método de vainillina en el cual se emplea vainillina-ácido clor-

hídrico diluïdos en metanol; basado en la reacción entre aldehídos aromáticos y núcleos de resorcinol floroglucinol.

En el grano de sorgo, es específico para catequinas y leucoantocianidinas reaccionando el anillo A de su molécula con la vainillina, para dar coloración roja⁴⁷.

10.- Fenoles.

La determinación del contenido de fenoles totales en las muestras, se realizó por el método de formación del complejo azul de Prusia. Los fenoles son capaces de reducir el cloruro férrico a cloruro ferroso y éste reacciona con el ferricianuro de potasio formando el complejo ferricianuroférrico potásico, conocido como azul de prusia soluble¹².

11.- Color

La determinación de color se efectuó en el "Hunterlab", que mide el color de las superficies planas, simulando la luz del día y cuyo principio se basa en registrar la intensidad de la luz absorbida por el color negro y la reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores: rojo, azul, amarillo y verde³⁰.

Las mediciones de color fueron realizadas en 30 g. de harina.

El valor promedio en cada escala se sustituyó en la fórmula:

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$$

donde: E = color de la superficie

L = mide la brillantez y varia desde 100 para el blanco perfecto y 0 para el negro.

a = mide el color rojo en la parte positiva (+a)

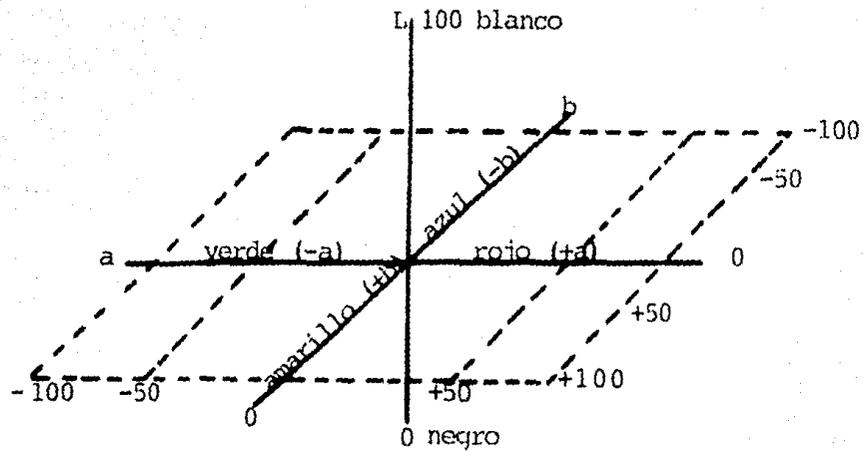


Fig. 1.- Eje de coordenadas tridimensionales que representan la escala de la medida del color.

y el color verde en la parte negativa (-a)
 b= mide el color amarillo en la parte positiva (+b) y azul en la negativa (-b)

Con esta escala es posible presentar los colores de la muestra por la posición de un punto en un sistema de coordenadas tridimensionales, fig. 1.

D.- Métodos estadísticos

Para realizar la interpretación del análisis sensorial en panes y galletas se empleó la siguiente prueba:

1.- Prueba de Friedman. Es una prueba no paramétrica, se realiza para más de dos muestras relacionadas, para determinar si los tratamientos son iguales o diferentes. Se fijaron rangos a las calificaciones asignadas a los tratamientos dentro de cada bloque o catador. Se obtuvieron la suma de los rangos de cada tratamiento o mezcla. Se calculó el estadístico de la prueba y se comparó a un valor determinado de χ^2 .

El estadístico es:

$$T = \frac{12}{rk(k+1)} \sum_{j=1}^k R_j^2 - 3r(k+1)$$

donde r= N°de repeticiones

k= N°de tratamientos

R_j^2 = cuadrado de los rangos

Se rechaza la hipótesis de si los K tratamientos son iguales cuando $T > \chi^2_{(K-1)}$; χ^2 y α se obtienen de tablas con valores específicos de K y r

2.- Prueba de orden de rangos

Esta prueba para significancia está hecha por el análisis de varianza de x^2 de Friedman⁵³. Se aplica en la determinación de las diferencias acertadas en la comparación de resultados del análisis sensorial entre los pares de las sumas de rango en los diferentes tratamientos²⁹.

Se realizó apareando cada uno de los tratamientos con el testigo; obtenida la diferencia entre sus sumas de rangos, se confrontó este valor con el estadístico de la prueba.

La regla de decisión fue: rechazar H_0 = no hay diferencia significativa entre los dos tratamientos, si se cumple que

$$Q > z_{\alpha} \sqrt{\frac{np(p+1)}{6}}$$

Q = Valor absoluto de la diferencia entre las sumas de rangos de los tratamientos,

z_{α} = Valor obtenido de la tabla de valores específica para este método a un nivel de significancia

n = Número de catadores o bloques

p = Tratamiento para cada bloque

IV.- RESULTADOS Y DISCUSION

Características químicas y tecnológicas de las harinas.

El presente estudio tuvo como objetivo, evaluar el efecto del proceso hidrotérmico en la calidad de harina pre-gelatinizada de sorgo, así como también características reológicas mediante la adición separada de harina integral y harina pre-gelatinizada de sorgo en niveles crecientes de hasta 30% a la harina de trigo. La cantidad de harina de sorgo que se puede incorporar a la masa del pan sin alterar su calidad es gobernado principalmente por la calidad de la harina de trigo usada y la influencia de la harina de sorgo en la propiedad mecánica de la masa y la calidad del pan.

A.- Análisis bromatológico de la materia prima.

1.- Análisis bromatológico de la harina integral de sorgo y sus mezclas con harina de trigo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis bromatológico de la harina de trigo, harina integral de sorgo y mezclas de ambas, mostrados en la tabla III, se encontró que el contenido de proteína en las diferentes mezclas elaboradas se mantuvo constante en tanto que el contenido de proteína en la harina integral de sorgo fue ligeramente mayor al encontrado en la harina de trigo.

El contenido de aminoácidos esenciales, lisina y triptofano en harina integral de sorgo fue menor en relación al

TABLA III

ANALISIS BROMATOLOGICO DE LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO Y HARINA INTEGRAL DE SORGO

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Humedad (%)	11.86	11.40	11.49	10.59	11.23	10.60	8.71
Proteína (%)	10.74	10.37	10.57	10.94	10.57	10.87	11.47
Lisina en muestra (%)	0.45	0.44	0.41	0.40	0.40	0.37	0.23
Triptofano en muestra (%)	0.19	0.17	0.17	0.18	0.16	0.15	0.06
Grasa (%)	0.95	1.27	1.44	1.68	1.72	1.62	3.45
Cenizas (%)	0.52	0.62	0.68	0.73	0.81	0.88	1.60
Azúcares totales (%)	2.07	1.75	1.88	2.07	2.07	1.94	1.62
Taninos <u>Eq. catequina</u>							
g muestra	0	0	0	0	0	0	0.05
Fenoles <u>mg ac. Tánico</u>							
g muestra	0.26	0.26	0.26	0.26	0.27	0.29	0.35

Valores reportados en B.S.

Promedio de 3 repeticiones

testigo (harina de trigo), y a medida que se aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo disminuyó ligeramente el contenido de estos aminoácidos.

El contenido de grasa y cenizas en la harina integral de sorgo fue mayor en relación al testigo y a las mezclas elaboradas, ésto puede considerarse normal, ya que se usó una harina integral de sorgo y una harina de trigo comercial.

El contenido de azúcares totales fue disminuído a medida que fue aumentando el nivel de sustitución en las mezclas.

El contenido de taninos en la harina integral fue bajo y se encuentra entre los límites de aceptación de sorgo blanco³⁶,³⁷, para consumo humano no encontrándose estos compuestos en el testigo y en las mezclas estudiadas.

El contenido de compuestos polifenólicos fue ligeramente mayor en harina integral con respecto al testigo y las mezclas.

2. Análisis bromatológico de la harina pre-gelatinizada de sorgo y sus mezclas con harina de trigo.

Los resultados mostrados en la tabla IV, del análisis bromatológico de la harina pre-gelatinizada y sus mezclas, mostraron que el contenido de proteína en la harina pregelatinizada fue ligeramente mayor al contenido de proteína en el testigo; manteniéndose constante en las mezclas.

El contenido de lisina y triptofano en harina pre-gela-

TABLA IV

ANALISIS BROMATOLOGICO DE LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO Y HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO

CARACTERISTICAS	HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Humedad (%)	11.86	11.32	11.03	10.63	10.76	10.61	8.96
Proteína (%)	10.74	10.93	11.10	11.02	10.93	10.60	11.73
Lisina en muestra (%)	0.45	0.41	0.30	0.30	0.29	0.29	0.20
Triptofano en muestra (%)	0.19	0.17	0.16	0.17	0.15	0.14	0.03
Grasa (%)	0.95	1.27	1.45	1.51	1.67	1.87	3.35
Cenizas (%)	0.52	0.64	0.68	0.76	0.75	0.82	1.43
Azúcares totales (%)	2.07	1.81	1.94	1.94	1.94	1.88	1.75
Taninos <u>Eq catequina</u>							
g. muestra	0	0	0	0	0	0	0
Fenoles <u>mg Ac. tánico</u>							
g muestra	0.26	0.44	0.43	0.41	0.44	0.45	0.43

Valores reportados en B.S

Promedio de 3 repeticiones

tinizada fue menor en relación al testigo y a medida que se aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo disminuyó el contenido de estos aminoácidos.

El contenido de grasa y cenizas en la harina pre-gelatinizada fue mayor en relación al testigo y al resto de las mezclas.

El contenido de azúcares totales fue mayor en el testigo que en la harina pre-gelatinizada y con relación a las mezclas.

El análisis realizado mostró ausencia de taninos en la harina pre-gelatinizada y en el resto de las muestras analizadas, que puede ser atribuido en el caso de la harina pre-gelatinizada al efecto de la maceración y al proceso hidrotérmico empleado en su elaboración, ya que probablemente hubo una solubilización de taninos.

Así también, el contenido de fenoles fue ligeramente mayor en la harina pre-gelatinizada con respecto al testigo y con relación a las mezclas se mantuvo constante, ocasionado tal vez a que los taninos solubilizados fueron determinados como compuestos fenólicos.

B. Características tecnológicas

Fueron estudiadas las características reológicas, color, índice de absorción e índice de solubilidad en agua, de las mezclas de harina de trigo con harina integral de sorgo y harina de trigo con harina pre-gelatinizada de sorgo.

1. Características de viscosidad

Fue estudiado el efecto de la adición de harina integral y harina pre-gelatinizada de sorgo en las características de viscosidad de harina de trigo.

Los valores obtenidos en las amilogramas de harina de trigo con 10, 15, 20, 25 y 30% de harina de sorgo son mostrados en la tabla V. La temperatura inicial de gelatinización y la temperatura de viscosidad máxima fue ligeramente mayor en harina integral con relación al testigo y a las mezclas, manteniéndose aproximadamente constantes estos valores entre testigo y mezclas. El rango de gelatinización se mantuvo aproximadamente constante, entre mezclas y testigo. La viscosidad máxima, viscosidad mínima a temperatura constante y la viscosidad final en el ciclo de enfriamiento aumentó a medida que se incrementó el nivel de sustitución de harina de trigo hasta un nivel de 30%.

Los resultados de los análisis de los amilogramas obtenidos con las diferentes adiciones de harina pre-gelatinizada a la harina de trigo están presentados en la tabla VI. La temperatura inicial de gelatinización y la temperatura de viscosidad máxima de la harina pre-gelatinizada fue ligeramente mayor con relación al testigo y a las mezclas, manteniéndose aproximadamente constantes estos valores entre testigo y mezclas. El rango de gelatinización se mantuvo aproximadamente constante entre mezclas y testigo. La harina de sorgo pregelatinizada mostró valores menores con respecto al tes-

TABLA V

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA INTEGRAL DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE
LOS AMILOGRAMAS DE HARINA DE TRIGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Temperatura inicial de gelatinización(°C)	58	58.5	60	61	60.75	60	74
Temperatura de Viscosidad máxima (°C)	91.5	92	93	92	92	93	100.5
Rango de gelatinización (°C)	33.50	33.50	33	31	31.25	33	26.50
Viscosidad Máxima (U.A.)	480	530	660	605	670	750	690
Viscosidad Mínima a Temperatura constante de 92°C (U.A.)	300	280	375	325	365	410	650
Viscosidad final (U.A.)	720	690	910	820	935	1020	1520

TABLA VI

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS AMIOGRAMAS DE HARINA DE TRIGO.

CARACTERISTICAS	HARINA PREGELATINIZADA DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Temperatura inicial de Gelatinización(°c)	58	56.50	58.50	59	58.50	58.50	76.50
Temperatura de viscosidad máxima (°c)	91.50	91.75	92	92	91.5	92	97.88
Rango de gelatinización (°c)	33.50	35.25	33.50	33	33.00	33.50	21.38
Viscosidad máxima (U.A.)	480	460	540	405	465	400	100
Viscosidad minima a temperatura constante de 92°c (U.A.)	300	275	345	275	325	285	142.50
Viscosidad final (U.A.)	720	650	775	635	620	630	225

tigo y a las mezclas en viscosidad máxima durante el ciclo de calentamiento y viscosidad final; en la viscosidad mínima a temperatura constante los valores también fueron menores excepto para la mezclas de 15 y 25% de harina pre-gelatinizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la adición separada de harina integral de sorgo y harina pre-gelatinizada a la harina de trigo, no afectó los valores de temperatura inicial de gelatinización y temperatura de viscosidad máxima y rango de gelatinización. Los valores de viscosidad máxima, viscosidad mínima a temperatura constante y viscosidad final fueron aumentados con la adición de harina integral, mostrando un efecto inverso con la adición de harina pre-gelatinizada, figs. 2 y 3 . Fenómeno que puede ser atribuido a un menor grado de retrogradación de la harina pre-gelatinizada que fue sometida a un tratamiento hidrotérmico. Los valores de viscosidad máxima, mínima y viscosidad final son presentados en las figuras 4 y 5.

Pratt⁴⁶, estableció patrones de viscosidad, usadas para el control de calidad de harina de trigo en el método convencional de producción de pan, siendo de 475 - 625 unidades amilográficas para el pan tipo forma, y de 400 - 600 unidades amilográficas para el pan tipo francés. Por lo que la cantidad óptima de alfa amilasa presente en la harina de trigo, debe presentar un amilograma dentro del patrón. Valores inferiores a los patrones establecidos indican la presencia de alto contenido de alfa amilasa que puede ser perjudicial para la cali-

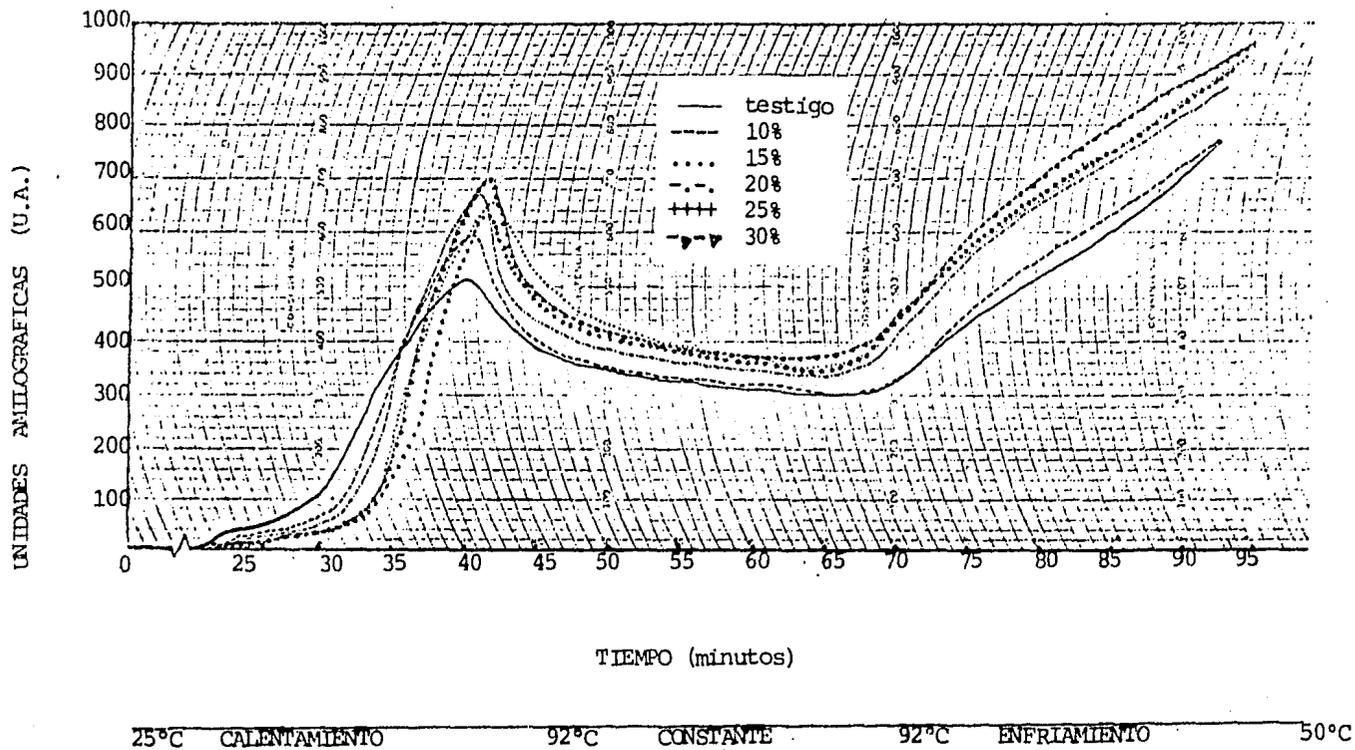


FIG. 2.- Curvas amilográficas de las mezclas: Harina de trigo - Harina integral de sorgo.

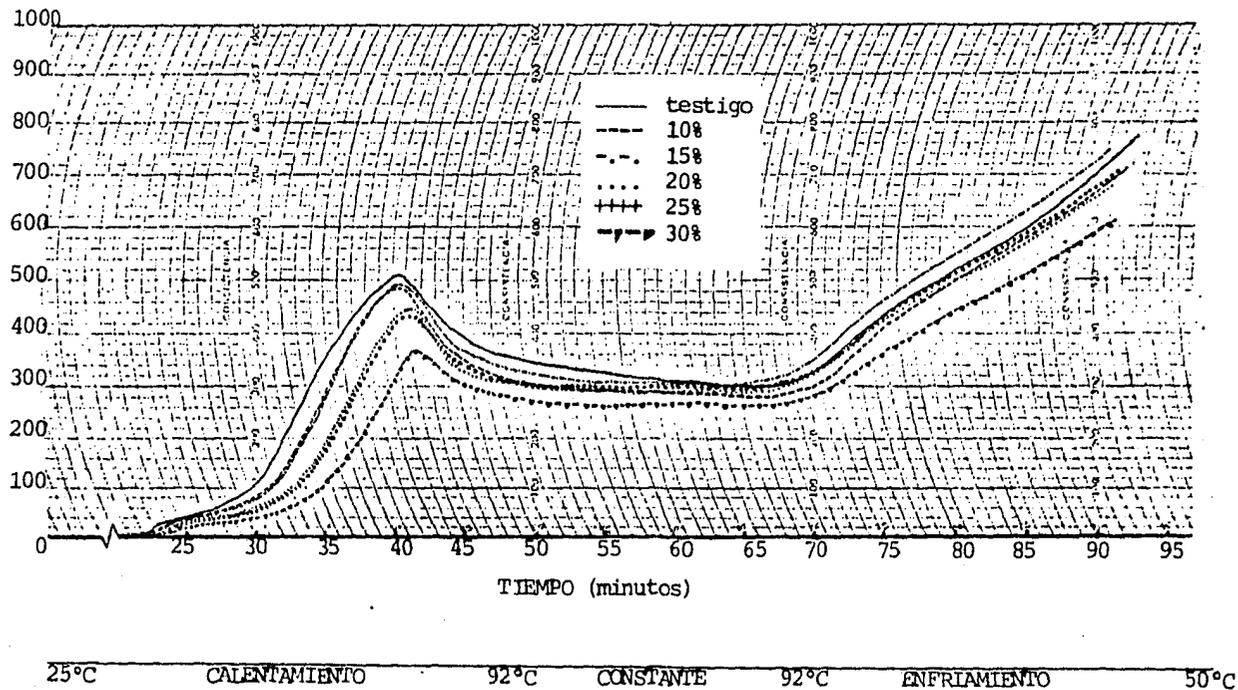


FIG. 3.- Curvas amilográficas de las mezclas: Harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo.

dad del pan. Entre tanto la disminución de viscosidad observada con la adición de harina pre-gelatinizada a la harina de trigo, no está relacionada con el contenido de alfa amilasa, más sí con el porcentaje de almidón dañado. Por tanto en esos casos, deben ser establecidos otros patrones de viscosidad dependientes del porcentaje de harina pre-gelatinizada y su grado de gelatinización.

2.- Características del mezclado.

El efecto de la adición de harina de sorgo integral y harina pre-gelatinizada en las características de mezclado de la harina de trigo, fue estudiado en el micro-farinógrafo.

En el mezclado de la harina de trigo, ocurre inicialmente la formación de una masa de grumos de poca coherencia, gradualmente a medida que la coherencia va aumentando, la masa va desarrollando las características elásticas hasta quedar suave y con una apariencia más seca. El desenvolvimiento de esas propiedades deseables, se denomina desenvolvimiento de la masa. Posteriormente, continuando el mezclado, la masa va perdiendo la propiedad de elasticidad volviéndose más extensible y pegajosa. Esa pérdida gradual de las características deseables en una masa, es observada mediante el micro-farinógrafo^{2,3,11}.

Los resultados obtenidos de los farinogramas fig. 6 de las mezclas de harina de trigo con 10,15,20,25 y 30% de harina de sorgo integral son mostrados en la tabla VII.

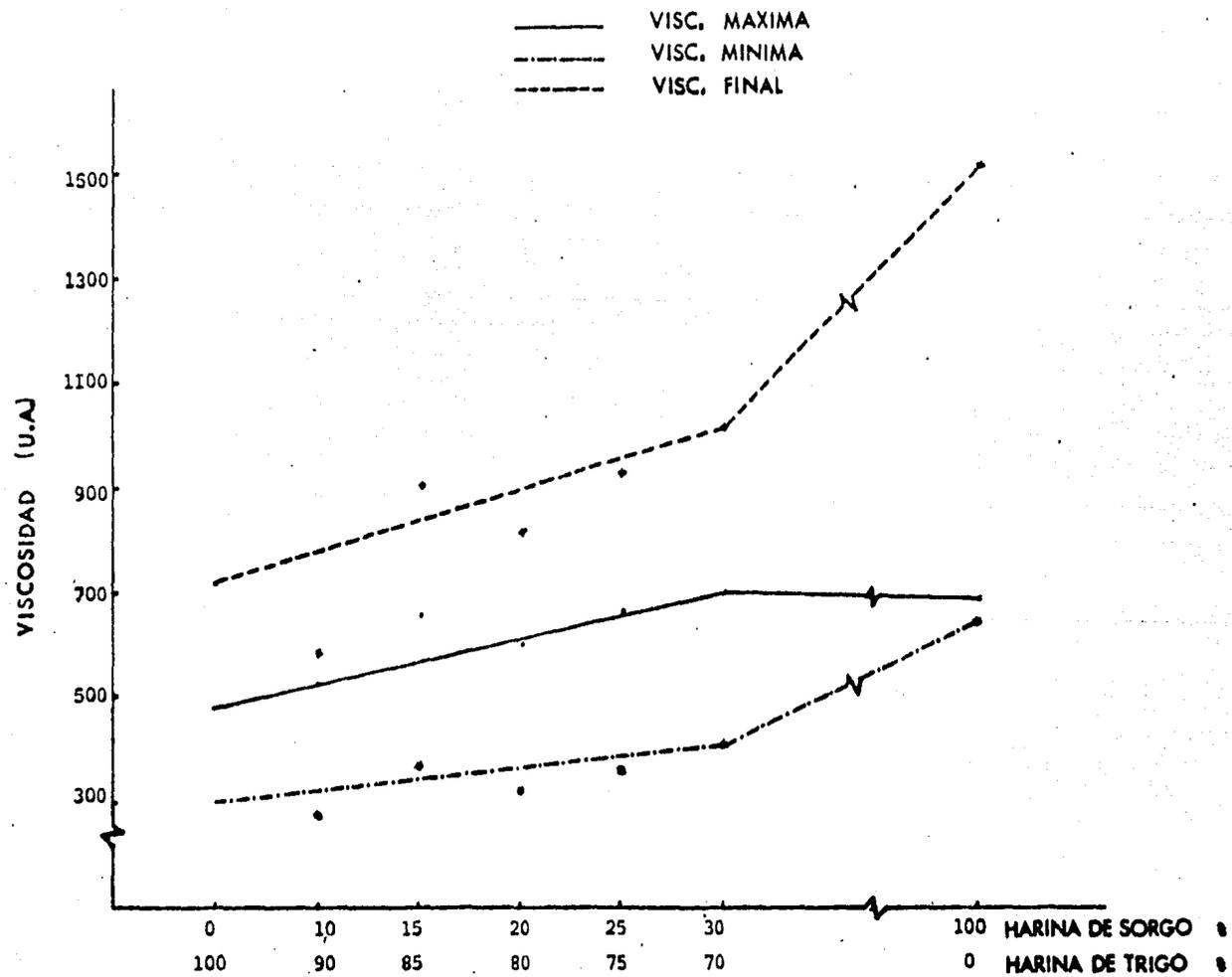


FIG. 4.- Efecto de la harina integral de sorgo en la viscosidad de la harina de trigo.

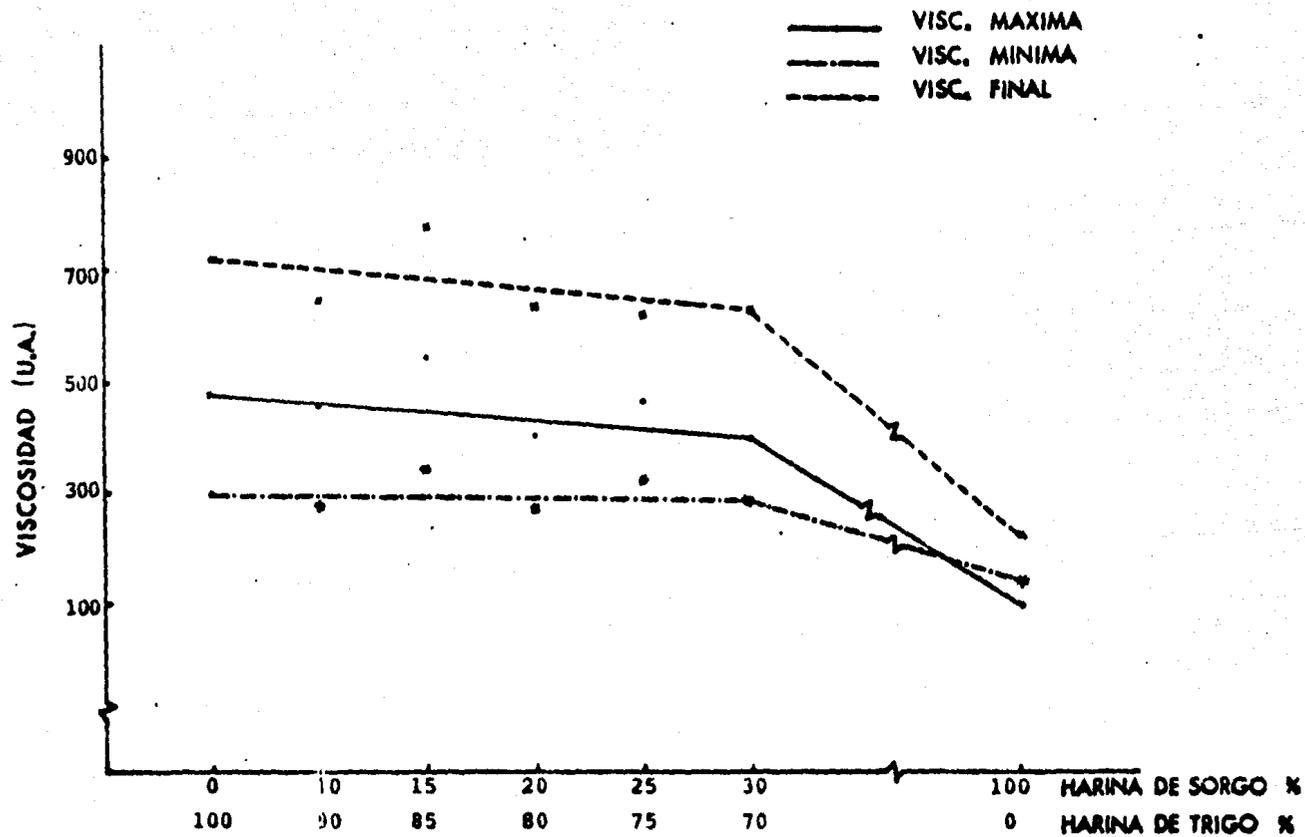


FIG. 5.- Efecto de la harina pre-gelatinizada de sorgo en la viscosidad de la harina de trigo.

La absorción de agua fue ligeramente mayor en el testigo con relación a las mezclas. El tiempo de llegada, el tiempo de desenvolvimiento de la masa y el tiempo de salida fueron aumentando progresivamente con el aumento del porcentaje de la harina de sorgo.

La estabilidad de una masa está relacionada a la calidad proteínica de la harina. Una mayor estabilidad indica mayor resistencia al mezclado y mejor calidad proteínica. Con el aumento de harina de sorgo integral a la harina de trigo, la estabilidad disminuyó gradualmente. Las lecturas del valorímetro permanecieron aproximadamente constantes.

Los resultados obtenidos de los farinogramas, fig. 7, con las diferentes adiciones de harina pre-gelatinizada a la harina de trigo, son mostrados en la tabla VIII.

El efecto de la adición de harina pre-gelatinizada en niveles de 10, 15, 20, 25, 30% mostró un aumento progresivo en los valores de absorción de agua, tiempo de llegada, tiempo de desenvolvimiento de la masa y en el tiempo de salida.

La estabilidad de la masa fue disminuyendo en las mezclas a medida que se fue aumentando el nivel de sustitución de harina de trigo.

Las lecturas del valorímetro se mostraron aproximadamente constantes.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que la absorción de agua considerado factor importante en la pro-

TABLA VII

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA INTEGRAL DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS FARINOGRAMAS DE LA HARINA DE TRIGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Absorción de agua (%)	62	61.5	61	58.5	60.5	60
Tiempo de llegada (min)	2.75	3.35	3.85	5.45	7.90	9.0
Tiempo de desenvolvimiento (min)	4.80	7.30	8.45	8.30	9.30	11
Tiempo de salida (min)	8.85	9.0	9.95	10.70	11.30	13.9
Estabilidad (min)	6.10	5.65	5.00	4.30	3.40	3.20
Lectura del Valorímetro (U.F.)	64	62	64	68	64	66

TABLA VIII

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS FARINOGRAMAS DE LA HARINA DE TRIGO

CARACTERISTICAS	HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Absorción de agua (%)	62	64.50	66.50	66	68	69
Tiempo de llegada (min)	2.75	4.25	7.90	8.20	10.20	15.25
Tiempo de desenvolvimiento (min)	4.80	9.10	10.55	10.20	13.35	19
Tiempo de salida(min)	8.85	10.90	13.20	13.30	15.20	24.50
Estabilidad (min)	6.10	5.8	5.30	5.10	5.0	3
Lectura del Valorimetro (U.F.)	64	64	66	68	-	-

FIG. 6.- Farinogramas de las mezclas harina de trigo -
harina integral de sorgo.

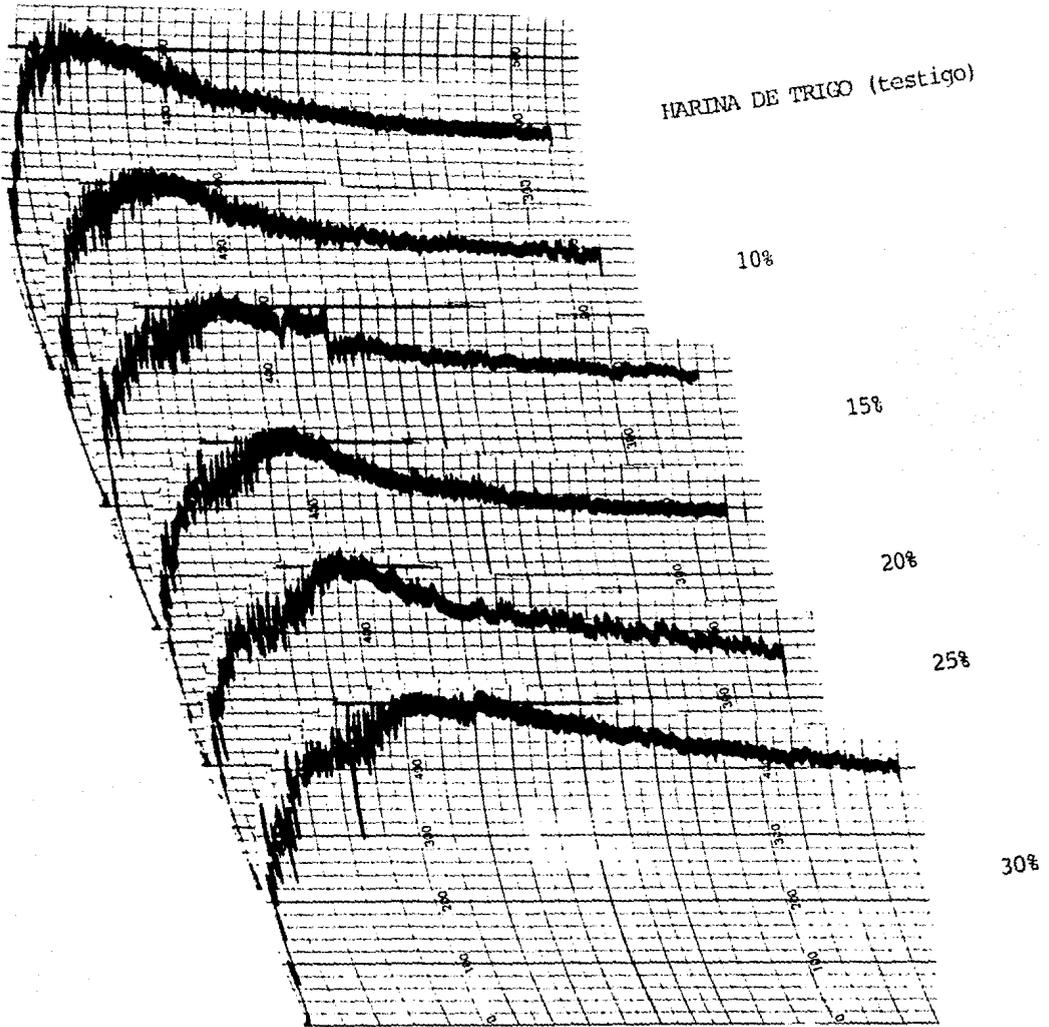
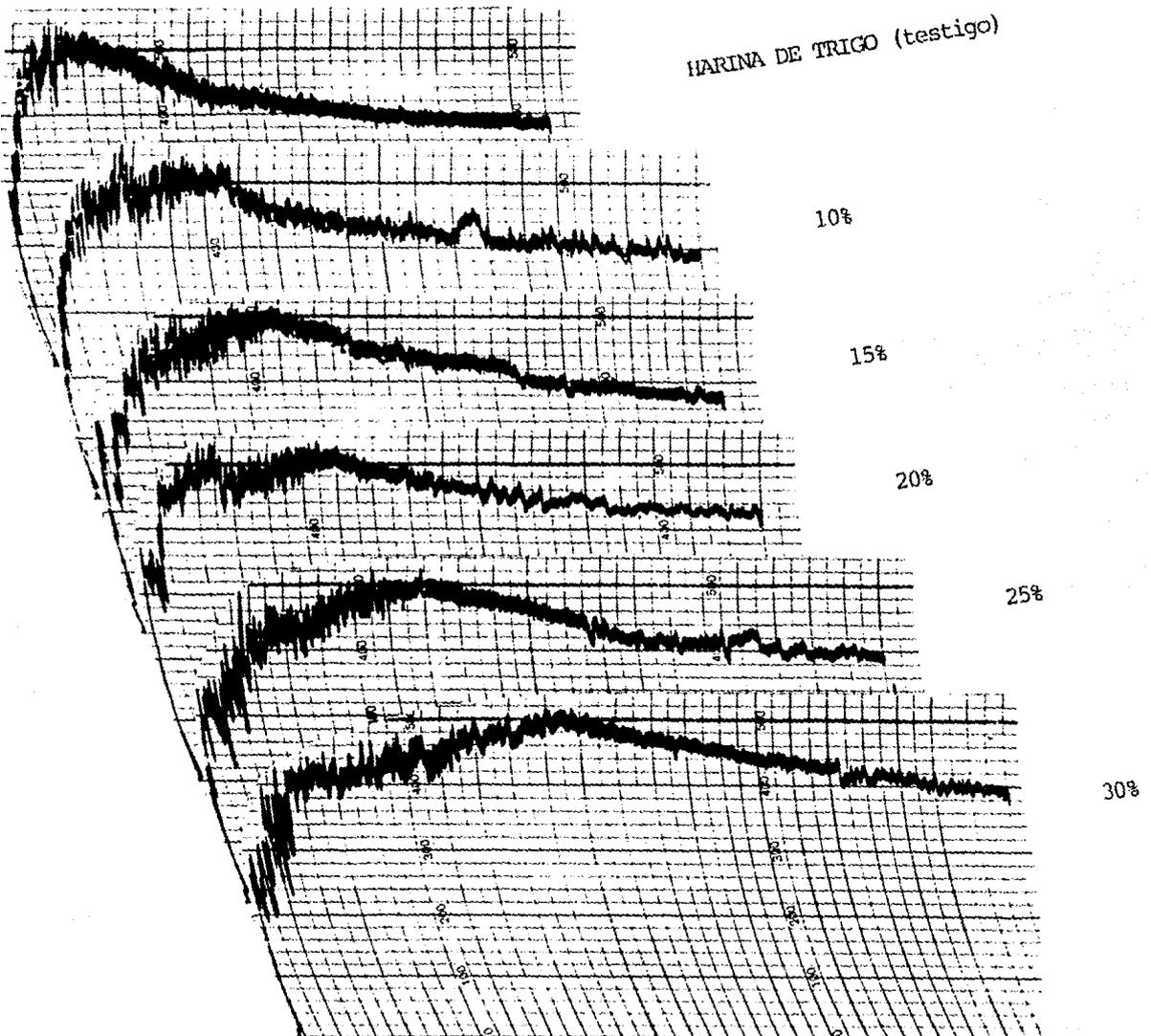


FIG. 7.- Farinogramas de las mezclas harina de trigo -
harina pre-gelatinizada de sorgo.



ducción de productos de panificación, no fue aumentada con la adición de harina de sorgo integral, pero sí con la adición de harina pre-gelatinizada. Esto muestra que la harina pre-gelatinizada posee mayor capacidad de absorción de agua que la harina integral, fig. 8.

El tiempo de llegada, el tiempo de desenvolvimiento de la masa y el tiempo de salida fueron aumentando con los niveles de sustitución. Estos aumentos fueron mayores para la harina pre-gelatinizada que para la harina integral de sorgo.

El efecto de la adición de las harinas integral y pre-gelatinizada en la estabilidad de la masa de la harina de trigo fue disminuída con el aumento del porcentaje de ambas harinas en las mezclas, fig. 9.

Las lecturas del valorímetro aumentaron con la adición de harina integral y harina pre-gelatinizada, siendo mayores estos valores para la última.

3. Características de Extensión

Las características de extensión de la masa son comúnmente determinadas usando un extensógrafo. El aparato registra una fuerza de resistencia a la extensión de la masa hasta su ruptura en relación a la elongación de la misma, denominada extensibilidad de la masa. La formación del gluten debido a la mezcla de agua -harina de trigo, ocurre debido a la hidratación de las proteínas insolubles en agua, presentes en la harina. La calidad tecnológica del gluten está evidencia-

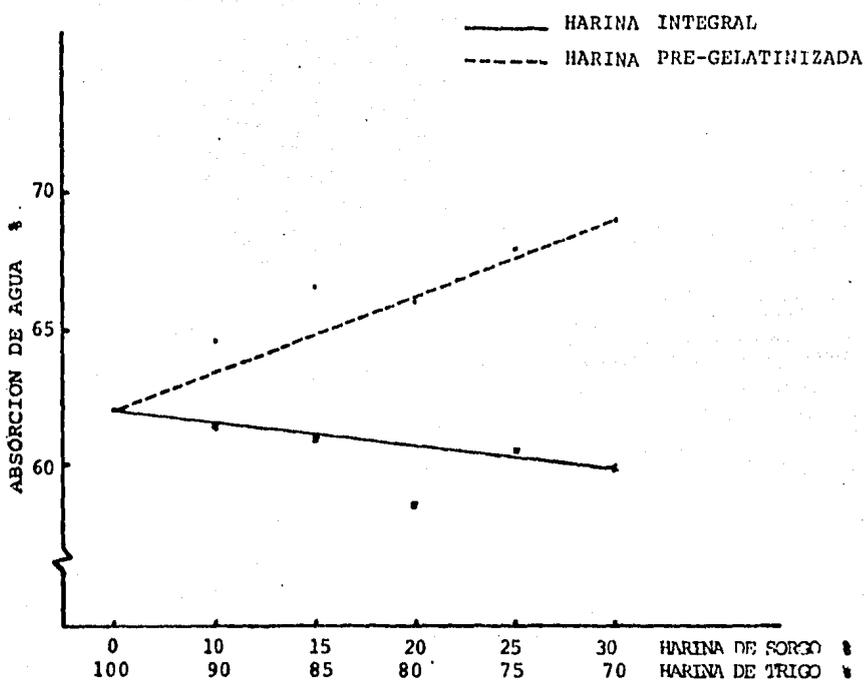


FIG. 8.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en la absorción de agua de la harina de trigo en el sistema harina-agua.

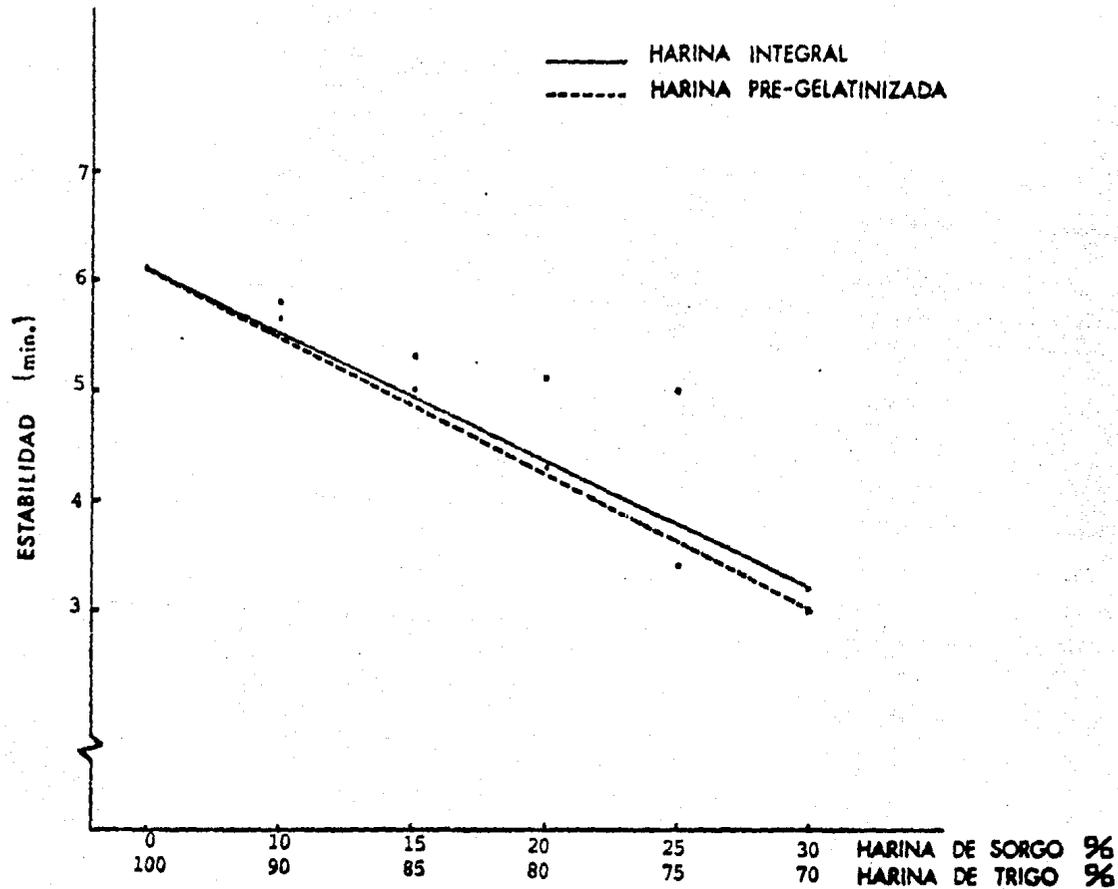


FIG. 9.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en la estabilidad de la harina de trigo en el sistema harina-agua.

da por la extensibilidad y resistencia a la extensión, dependientes en gran parte al número y a las fuerzas de unión cruzada entre las moléculas de las proteínas⁶⁰. Los puentes de hidrógeno y las uniones disulfídicas son las más importantes para la formación de la estructura del gluten. La resistencia a la extensión indica la habilidad que el gluten tiene de retener los gases producidos en la fermentación, en cuanto que la extensibilidad indica la capacidad de la masa a la extensión durante la fermentación. Las harinas con buena calidad para la producción de pan, deben tener adecuada resistencia a la extensión para retención de los gases y extensibilidad para permitir un aumento de volumen de la masa durante la fermentación. Esto justifica la gran importancia de esas propiedades para la producción de pan de buena calidad estando influenciadas por la presencia de otros tipos de harinas en la masa.

El efecto de la adición de harina integral en las características de extensión en la masa de harina de trigo están mostrados en la tabla IX.

Se observó que la presencia de harina integral en niveles crecientes, disminuyó los valores, de extensibilidad.

La resistencia a la extensión y la resistencia máxima aumentaron con la presencia de harina integral en niveles crecientes.

Los valores de número proporcional fueron aumentando con niveles crecientes de harina integral.

El área total fue mayor en las mezclas con relación al

TABLA IX

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA INTEGRAL DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS EXTENSOGRAMAS DE LA HARINA DE TRIGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Extensibilidad (mm)	156	148	111	106	98	81
(R) Resistencia a la extensión (U.E.)	500	750	730	820	920	980
(R _m) Resistencia máxima(U.E.)	530	770	758	830	960	1005
(D) Número proporcional (D=R/E)	3.21	5.07	6.58	7.74	9.39	12.10
Area Total(cm ²)	136.5	185.5	135.5	141	140	102

testigo.

Los resultados extensográficos de las adiciones de las diferentes sustituciones de harina pre-gelatinizada en la harina de trigo se muestran en la tabla X.

Con el aumento del contenido de harina pre-gelatinizada la extensibilidad fue disminuida.

Los valores de resistencia a la extensión y resistencia máxima fueron aumentando con mayor contenido de harina pre-gelatinizada;

El número proporcional fue aumentando con niveles crecientes de harina pre-gelatinizada.

El área total fue mayor en las mezclas con relación al testigo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que la extensibilidad fue disminuida con la adición de harina integral y harina pre-gelatinizada. Esta disminución fue ligeramente mayor para la harina pre-gelatinizada.

Los valores de resistencia a la extensión y resistencia máxima fueron aumentados con los niveles de sustitución de harina integral y harina pre-gelatinizada, modificando la estructura de la masa haciéndola más tenaz.

El número proporcional fue aumentando con el contenido de harina integral y harina pre-gelatinizada siendo este aumento mayor para la última.

Los valores de área total disminuyeron en mayor proporción en la harina pre-gelatinizada.

TABLA X

EFFECTO DE LA ADICION DE HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO EN LAS CARACTERISTICAS DE LOS EXTENSOGRAMAS DE LA HARINA DE TRIGO.

CARACTERISTICAS	HARINA PREGELATINIZADA DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Extensibilidad (mm)	156	137	100	88	75	70
(R) Resistencia a la extensión (U.E.)	500	560	810	810	880	910
(Rm) Resistencia máxima (U.E.)	530	620	815	815	890	910
Número proporcional (D=R/E)	3.21	4.09	8.10	9.20	11.73	13
Area Total (cm ²)	136.5	137	131.5	113	105	96

4.- Características de Color, índice de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.

Mezclas harina de trigo y harina integral de sorgo.

Los resultados obtenidos son mostrados en la tabla XI. La adición de harina de sorgo a la harina de trigo disminuyó ligeramente el color de las mezclas de harinas elaboradas, esto puede ser atribuido a que se usó una harina integral de sorgo.

El índice de absorción se mantuvo aproximadamente constante hasta un nivel de sustitución de 25% de harina de trigo, notándose un aumento cuando se usó un nivel de 30%.

El índice de solubilidad en agua fue constante en las mezclas y ligeramente menor con relación al testigo.

Mezclas harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo.

Los resultados obtenidos, tabla XII mostraron una ligera disminución en el color a medida que se aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo. La adición de harina pre-gelatinizada en niveles crecientes de hasta 30% aumentó el índice de absorción de agua, permaneciendo casi constante el índice de solubilidad en agua.

La adición separada de ambas harinas a la harina de trigo no modificó apreciablemente el color; observándose una mayor absorción de agua cuando se usó harina pre-gelatinizada datos que coinciden con los encontrados en el farinógrafo. El in-

TABLA XI

CARACTERISTICAS DE COLOR, INDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA, INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA DE LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA INTEGRAL DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Color	61.82	61.04	60.69	60.52	60.26	59.97	55.41
Indice de absorción de agua (IAA)	1.11	1.03	1.05	1.11	1.09	1.53	1.69
Indice de solubilidad en agua (ISA)	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06

promedio de 3 repeticiones .

TABLA XII

CARACTERISTICAS DE COLOR, INDICE DE ABSORCION DE AGUA, INDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA DE LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA PRECELATINIZADA DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO (%)						
	0	10	15	20	25	30	100
Color	61.82	61.37	61.13	60.46	59.87	59.83	53.62
Indice de absorción en agua (IAA)	1.11	1.16	1.19	1.23	1.40	1.47	2.56
Indice de solubilidad en agua (ISA)	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.05

Promedio de 3 repeticiones .

dice de solubilidad no fue modificado con la adición separada de ambas harinas.

C.- Prueba de Panificación.

Con la finalidad de establecer un criterio final sobre la calidad de las harinas elaboradas, se realizó la prueba de panificación elaborándose panes y galletas con cada una de las mezclas obtenidas.

1.- a) Análisis bromatológico del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo.

Los resultados obtenidos y presentados en la tabla XIII, mostraron que el contenido de proteína de los panes elaborados con las mezclas tuvieron un aumento con relación al testigo, mostrando un menor contenido de aminoácidos lisina y triptofano.

El análisis de grasa y cenizas mostró valores aproximadamente constante en panes de trigo y sus mezclas con sorgo.

La adición de harina de sorgo a la harina de trigo en la elaboración de panes mejoró el contenido de azúcares totales.

El análisis de los panes elaborados con las diferentes mezclas mostró ausencia de taninos y bajo contenido de fenoles que fueron aumentando ligeramente a medida que creció el porcentaje de harina de sorgo en la mezclas.

b) Análisis bromatológico del pan elaborado con las mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo.

De los resultados del análisis bromatológico de los pa-

TABLA XIII

ANALISIS BROMATOLOGICO DEL PAN ELABORADO CON MEZCLAS DE HARINA DE TRIGO Y -
 HARINA INTEGRAL DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Humedad (%)	27.33	31.21	28.57	27.13	29.17	27.94
Protefna (%)	11.19	12.77	12.30	12.66	11.45	11.58
Lisina en muestra (%)	0.44	0.39	0.37	0.37	0.36	0.35
Triptofano en muestra (%)	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13
Grasa (%)	4.81	4.61	4.68	5.03	4.79	4.95
Cenizas (%)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.10	2.2
Azúcares totales(%)	1.46	1.57	1.53	1.65	1.92	1.75
Taninos <u>Eq. catequina</u> <u>g muestra</u>	0	0	0	0	0	0
Fenoles <u>mq. ac. Tánico</u> <u>g. muestra</u>	0.25	0.30	0.35	0.36	0.36	0.37

Promedio de 3 repeticiones

nes elaborados con mezclas harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo mostrados en la tabla XIV, se observa que hubo un ligero aumento en el contenido de proteína de los panes elaborados con las diferentes mezclas, mostrándose en los panes elaborados con mezclas una ligera disminución de aminoácidos esenciales lisina y triptofano.

Los valores obtenidos en el análisis de grasa y cenizas permanecieron aproximadamente constantes en el testigo y las mezclas.

Los resultados obtenidos en el análisis de azúcares totales en pan fueron mayores en las mezclas con relación al testigo.

El análisis de taninos mostró ausencia de estos compuestos en todas las muestras de pan analizadas, notándose un pequeño aumento de compuestos polifenólicos a medida que se fue adicionando mayor cantidad de harina pre-gelatinizada a las muestras.

El empleo de harina de sorgo integral y harina pre-gelatinizada de sorgo en mezclas con harina de trigo para la elaboración de pan mejoraron el contenido de proteína, resultando en un mayor aumento cuando se usó harina pre-gelatinizada, Fig.10.

El contenido de aminoácidos lisina y triptofano se redujo ligeramente con la adición de harinas tratadas y sin tratar a la harina de trigo.

El contenido de azúcares totales aumentó con el empleo de ambas harinas, observándose un mayor contenido de estos azú-

TABLA XIV

ANALISIS BROMATOLOGICO DEL PAN ELABORADO CON MEZCLAS DE HARINA DE TRIGO Y -
 HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO(%)					
	0	10	15	20	25	30
Humedad (%)	27.33	24.35	28.88	26.42	30.65	30.23
Protefna (%)	11.19	11.18	11.45	11.79	12.04	12.59
Lisina en muestra (%)	0.44	0.34	0.34	0.35	0.39	0.39
Triptofano en muestra (%)	0.14	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14
Grasa (%)	4.81	4.09	4.66	4.81	4.58	4.97
Cenizas (%)	2.0	2.10	2.10	2.0	2.10	2.10
Azucares totales (%)	1.46	1.74	2.37	2.31	2.39	1.86
Taninos <u>Eq.catequina</u> g. muestra	0	0	0	0	0	0
Fenoles <u>mg. ac. Tánico</u> g. muestra	0.25	0.30	0.36	0.39	0.40	0.43

Promedio de 3 repeticiones

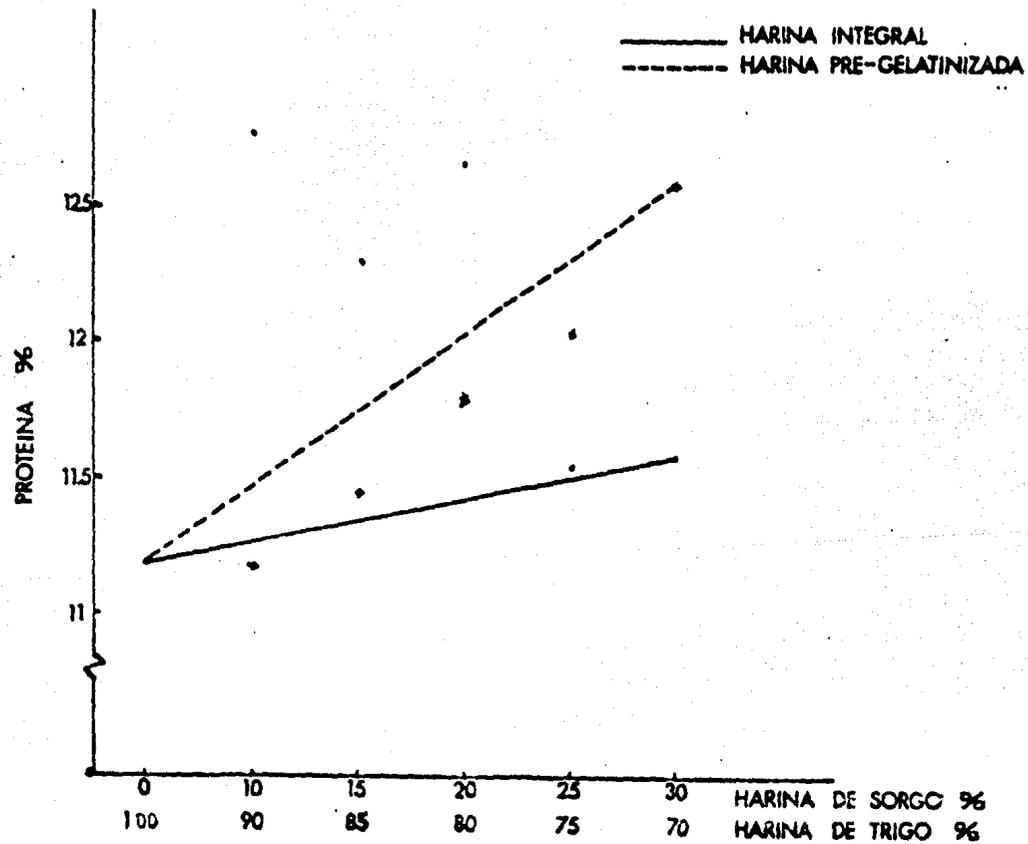


FIG. 10.- Efecto de la adición de la harina de sorgo en el contenido proteínico de los panes.

cares en los panes elaborados con las mezclas harina de trigo y harina de sorgo pre-gelatinizada.

En todos los panes analizados con el empleo de ambas harinas se determinó la ausencia de taninos y un ligero aumento progresivo en el contenido de fenoles.

2.- a) Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina integral de sorgo.

De acuerdo a los valores obtenidos, mostrados en la tabla XV, se encontró que el peso de los panes elaborados con las mezclas fue mayor con relación al testigo, excepto en el pan de la mezcla del 10% de sorgo, cuyo peso fue ligeramente menor.

El volumen fue aumentando hasta un nivel de 15% en relación al testigo, mostrándose menores valores en el resto de los panes elaborados.

El color de la miga fue cambiando con niveles crecientes de sustitución de harina de trigo pasando de amarillo-crema a crema.

La textura fue muy buena hasta un 15% de sustitución, buena para 20 y 25% y pobre en el nivel de 30% de sustitución de harina de trigo en relación al testigo.

b) Evaluación de la calidad del pan elaborado con mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo.

En los resultados obtenidos mostrados en la tabla XVI, se observó que el peso fue aumentando con los niveles de sus-

TABLA XV

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL PAN ELABORADO CON MEZCLAS HARINA DE TRIGO Y HARINA INTEGRAL DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA INTEGRAL DE SORGO. (%)					
	0	10	15	20	25	30
Peso (g)	164	163	166	170	169	166
Volumen (cm ³)	750	770	800	715	715	650
Color miga	10cr.	9	8	7	6	5
Textura	10E	9 MB	8.5 MB	8 B.	7.5 B.	6 P.

E: Excelente

cr: Crema

MB: Muy Buena

B: Buena

R: Regular

P: Pobre

titución de harina de trigo con relación al testigo.

Respecto al volumen hubo disminución a medida que se aumentó el porcentaje de harina pre-gelatinizada en las mezclas.

El color de la miga fue en disminución con niveles crecientes de sustitución de harina de trigo.

La textura fue buena hasta un nivel de sustitución de 25% y regular para la mezcla de 30% harina de trigo - harina pre-gelatinizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la evaluación de los panes elaborados con la adición separada de harina integral y harina pre-gelatinizada a la harina de trigo mostrado en la figura 11, se determinó que la adición de estas harinas aumentó el peso del pan, siendo mayor este aumento para los panes de las mezclas harina de trigo harina pre-gelatinizada, debido a que la absorción de agua fue mayor en estas mezclas.

En relación a volumen, los panes elaborados con 10 y 15% de harina integral, presentaron los mejores valores. En el caso de los panes de las mezclas harina pre-gelatinizada- harina de trigo el nivel de sustitución de 10% fue el mejor con relación al testigo.

Los valores de color de la miga y textura disminuyeron con niveles crecientes de sustitución de la harina de trigo en ambos casos, para las mezclas harina de trigo-harina inte-

TABLA XVI

EVALUACION DE LA CALIDAD DEL PAN ELABORADO CON MEZCLAS HARINA DE TRIGO Y HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO.

CARACTERISTICAS	HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO (%)					
	0	10	15	20	25	30
Peso (g)	164	170	168	172	174	180
Volumen (cm3)	750	725	660	625	680	665
Color miga	10cr.	9	8	7	6	5
Textura	10 E.	9 MB.	8 B.	8.5 B.	7.5 B	7.0 R.

E: Excelente

cr: Crema.

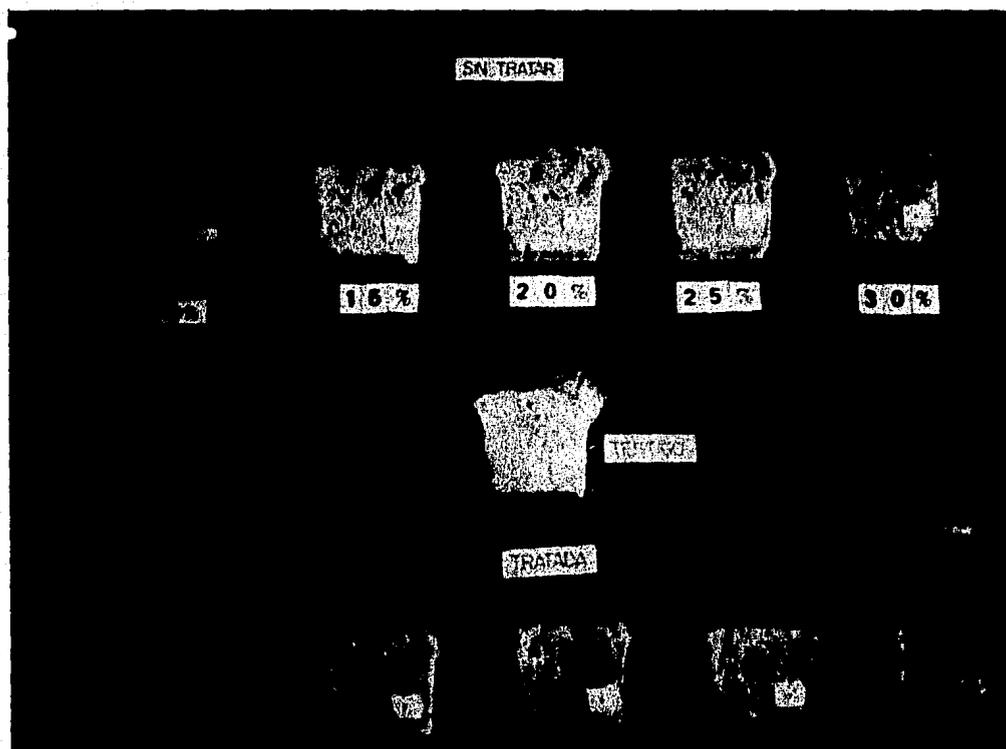
MB :Muy Buena

B: Buena

R: Regular

P: Pobre

FIG. 11.- Panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorogo y las mezclas harina de trigo - harina - pre-gelatinizada de sorogo.



gral y harina de trigo -harina pre-gelatinizada.

3.- Evaluación de las galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo y harina de sorgo, fig. 12.

De acuerdo a los valores obtenidos mostrados en la tabla XVII, se encontró que las galletas elaboradas con mezclas harina de trigo- harina integral resultaron con muy buena aptitud galletera, la mezcla con mayor calificación fue la de 30% sobrepasando la calificación del testigo.

En el caso de las galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo -harina pre-gelatinizada de sorgo, cuyos valores se muestran en la tabla XVIII, se observó que todas tenían buena aptitud galletera, con las calificaciones más altas para las mezclas de 15, 20 y 30% de sustitución de harina de trigo.

4.- Análisis Sensorial

A.- Análisis sensorial en pan

1) Análisis sensorial en panes elaborados con las mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo.

De acuerdo a los resultados obtenidos mostrados en la tabla XIX, por el método estadístico de la prueba de Friedman, con la finalidad de establecer diferencias entre mezclas; se encontró que en las características de color y sabor no hubo diferencia significativa, en el aroma hubo diferencia a un nivel de significancia del 0.05% y en el caso de la textura y apariencia general hubo diferencia significativa a un nivel

TABLA XVII

EVALUACION DE LA APTITUD GALLETERA DE LAS GALLETAS ELABORADAS CON MEZCLAS DE HARINA DE TRIGO Y HARINA INTEGRAL DE SORGO.

% Harina integral de sorgo	Factores galletero	Aptitud galletera
0	3.81	muy buena
10	3.44	buena
15	3.76	muy buena
20	3.61	muy buena
25	3.79	muy buena
30	3.83	muy buena

TABLA XVIII

EVALUACION DE LA APTITUD GALLETERA DE LAS GALLETAS ELABORADAS CON LAS MEZCLAS DE HARINA DE TRIGO Y HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO.

% Harina pre-gelatinizada de sorgo	Factor galletero	Aptitud galletera
0	3.81	muy buena
10	3.33	Buena
15	3.69	muy buena
20	3.59	muy buena
25	3.47	muy buena
30	3.58	muy buena

TABLA XIX

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FRIEDMAN EN PANES ELABORADOS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA INTEGRAL DE SORGO

% Harina Integral de sorgo	Color T=15.39 Rj	Aroma T=18.40** Rj	Sabor T=10.25 Rj	Textura T=18.22* Rj	Apariencia general T=17.47* Rj
0	75	62	61	66	69
10	58.5	62	76.3	65.5	63.5
15	38	44	47	34	45.5
20	45.5	39.5	35.5	35	36
25	52	34.5	50.5	52.5	38
30	36.5	49.5	44.5	39.5	35.5.

NIVEL DE SIGNIFICANCIA

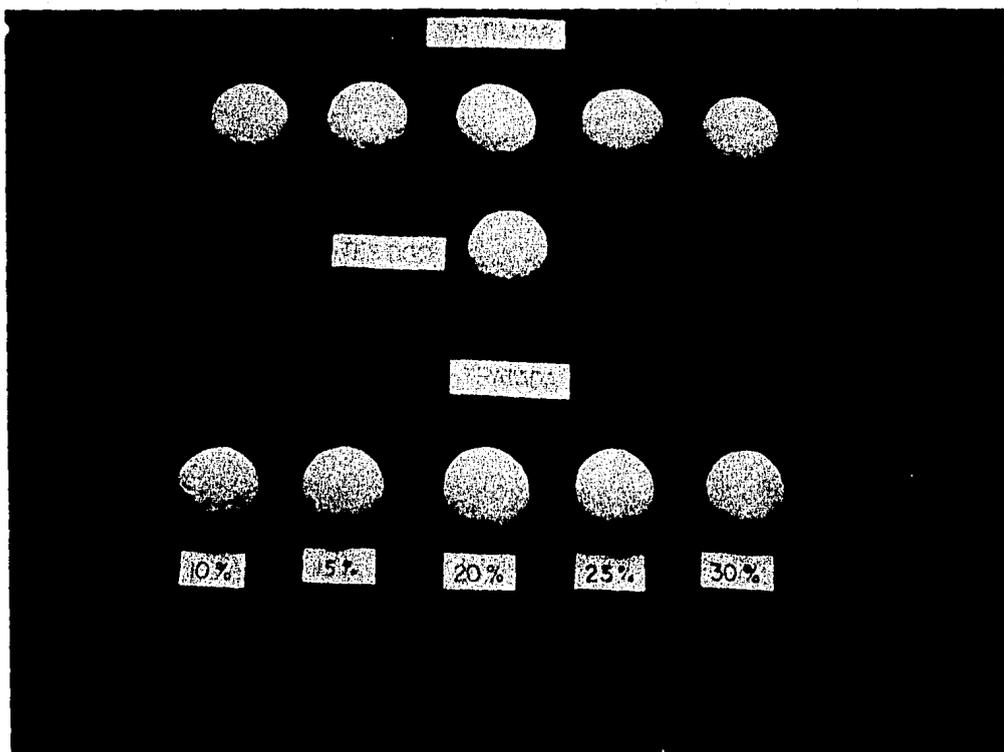
$\chi^2_{0.10,10} = 16$ *

$\chi^2_{0.05,10} = 18.3$ **

$\chi^2_{0.01,10} = 23.2$ ***

$R_j = \sum$ Rangos

FIG. 12.- Galletas elaboradas con las mezclas
harina de trigo - harina integral de
sorgo y harina de trigo - harina
- pre-gelatinizada de sorgo.



de significancia de 0.1%.

En los resultados de la prueba de orden de rangos mostrados en la tabla XX, se encontró que en la comparación del testigo con las mezclas estudiadas, en la característica de color hubo diferencia significativa entre el testigo y las mezclas con 15 y 30% de harina de sorgo integral a un nivel de significancia del 5%; en apariencia general hubo diferencia significativa a un nivel de significancia del 10% entre el testigo y la mezcla con 30% de harina integral de sorgo.

2) Análisis sensorial en panes elaborados con las mezclas harina de trigo- harina pre-gelatinizada de sorgo.

Los datos obtenidos con el método estadístico, prueba de Friedman, mostrados en la tabla XXI, se encontró que éstos son similares a los obtenidos en los panes elaborados con harina de trigo y harina integral de sorgo.

En los resultados de la prueba de orden de rangos, mostrados en la tabla XXII, se encontró al comparar el testigo con las mezclas estudiadas, que en la característica de color hubo diferencia significativa entre el testigo y las mezclas con 15 y 25% de harina pre-gelatinizada, a los niveles de significancia del 5% y 1% respectivamente.

En general, la adición de la harina integral y pre-gelatinizada de sorgo a la harina de trigo, afectó ligeramente la calidad del pan en cuanto a color, sabor, aroma, textura y apariencia general, sobresaliendo las calificaciones obteni-

TABLA XX

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDEN DE RANGOS EN PANES ELABORADOS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA INTEGRAL DE SORGO.

% Harina Integral de sorgo	color	aroma	sabor	textura	apariencia general
	Q	Q	Q	Q	Q
Testigo Vs 10	16.5	0	6.5	0.5	5.5
" Vs 15	37**	18	14	32	23.5
" Vs 20	29.5	22.5	25.5	31	33
" Vs 25	23	27.5	10.5	13.5	31
" Vs 30	38.5**	12.5	16.5	26.5	33.5*

Valores de ZS, donde S=10.58 y P.= 11

ZS-10% nivel de significancia = $(3.13 \times 10.58) = 33.1^*$

ZS- 5% " " " = $(3.33 \times 10.58) = 35.2^{**}$

ZS- 1% " " " = $(3.76 \times 10.58) = 39.8^{***}$

Q= diferencia de rangos.

TABLA XXI

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FRIEDMAN EN PANES ELABORADOS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO

% Harina pre-gelatinizada de sorgo	Color T=15.39 R _j	Aroma T=18.40** R _j	Sabor T=10.25 R _j	Textura T=18.22* R _j	Apariencia general T=17.47 R _j
0	75	62	61	66	69
10	53.50	64.5	51.5	55	60
15	39	36	29	44.5	40
20	42.50	46	46.5	40.5	46
25	33.5	49.5	49.5	46	50
30	52	46	42.5	52.5	46

NIVEL DE SIGNIFICANCIA.

$$X^2_{0.10,10} = 16 \quad *$$

$$X^2_{0.05,10} = 18.3 \quad **$$

$$X^2_{0.01,10} = 23.1 \quad **$$

$$R_j = \sum \text{ Rangos}$$

TABLA XXII

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDEN DE RANGOS EN PANES ELABORADOS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO.

% Harina Pre-gelatinizada de Sorgo	Color Q	Aroma Q	Sabor Q	Textura Q	Apariencia general Q
Testigo VS 10	21.5	2.5	9.5	11	9
" VS 15	36***	26	32	21.5	29
" VS 20	32.5	16	14.5	25.5	23.0
" VS 25	41.5***	12.5	11.5	20	19
" VS 30	23	16	18.5	13.5	23

Valores de ZS, donde S= 10.58 y P=11

ZS- 10%, nivel de significancia = $(3.13 \times 10.58) = 33.1 *$

ZS- 5% , " " = $(3.33 \times 10.58) = 35.2 **$

ZS- 1% " " = $(3.76 \times 10.58) = 39.8) ***$

Q= Diferencia de rangos

das en las mezclas con 10% de harina integral y 10% harina pre-gelatinizada.

Resultados similares fueron encontrados por Mattheus et al. ³⁹, sustituyendo harina de trigo por harina pre-gelatinizada de maíz, causando alteraciones en la propiedades reológicas de la masa, más no afectó significativamente las características del pan y por tanto concluyeron que sería viable la posibilidad de emplear harina pre-gelatinizada de maíz en la elaboración de pan.

B.- Análisis sensorial en galletas.

1) Análisis sensorial en galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo - harina integral de sorgo.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la prueba de Friedman mostrados en la tabla XXIII, no se encontró diferencia significativa entre las mezclas en ninguna de las características de color, sabor, aroma, textura y apariencia general.

En la prueba de orden de rangos no hubo diferencia significativa en las características estudiadas, al comparar el testigo con las mezclas, tabla XXIV.

2) Análisis sensorial en galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo.

De acuerdo a los resultados obtenidos con el método estadístico, prueba de Friedman, mostrados en la tabla XXV, no se encontró diferencia significativa entre las mezclas en las características estudiadas.

La prueba de orden de rangos no mostró diferencias significativas entre testigo y mezclas resultados que se muestran en la tabla XXVI.

Resultados similares fueron reportados por Badi y Hosney (1977) en las cuales galletas preparadas con mezclas de harina de trigo y harina pre-gelatinizada de sorgo (con 6 horas de maceración y secada hasta el 12% de humedad) en distintas proporciones, utilizando una fórmula comercial; el análisis sensorial de las galletas sólo mostró diferencias significativas - en la granulosis de las galletas con 100% de harina pre-gelatinizada de sorgo.

TABLA XXIII

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FRIEDMAN EN GALLETAS ELABORADAS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA INTEGRAL DE SORGO

%Harina integral de sorgo	Color T=7.35 Rj	Aroma T=9.85 Rj	Sabor T=6.38 Rj	Textura T=4.66 Rj	Apariencia general T=10.26 Rj
0	54.5	51.5	53	45	49.5
10	46.5	43.5	41.5	44.5	50.5
15	43.5	43.5	46	45	43
20	40	38.5	42	47.5	39.5
25	49.5	50.5	33	51.5	43
30	63.5	60	52	44.5	54

NIVEL DE SIGNIFICANCIA

$$X^2_{0.10,10} = 16 \quad *$$

$$X^2_{0.05,10} = 18.3 \quad **$$

$$X^2_{0.01,10} = 23.1 \quad ***$$

$$R_j = \sum \text{Rangos}$$

TABLA XXIV

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDEN DE RANGOS EN GALLETAS ELABORADOS CON MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA INTEGRAL DE SORGO

% Harina integral de sorgo		Color	Aroma	Sabor	Textura	Apariencia general
		Q	Q	Q	Q	Q
Testigo	VS 10	8	8	11.5	0.5	1.0
"	VS 15	11	8	7	0	6.5
"	VS 20	14.5	9.5	15	2.5	10
"	VS 25	5	1.4	20	6.5	6.5
"	VS 30	9	8.5	1	0.5	4.5

VALORES DE ZS, donde S= 10.58 y P=11

ZS-10% nivel de significancia = (3.13 x 10.58) =33.1 *

Zs- 5% " " = (3.33 x 10.58) =35.2 **

ZS- 1% " " = (3.76 x 10.58) =39.8 ***

Q = Diferencia de rangos.

TABLA XXV

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FRIEDMAN EN GALLETAS ELABORADAS CON LAS MEZCLAS HARINA DE TRIGO-HARINA PRE_GELATINIZADA DE SORGO

% Harina pre-gelatinizada de sorgo	Color T=7.35 Rj	Aroma T=9.85 Rj	Sabor T=6.38 Rj	Textura T=4.66 Rj	Apariencia general T=10.26 Rj
0	54.5	51.5	53	45	49.5
10	43.5	60.5	61	58	72
15	46.5	39.5	50	57.5	40
20	59.50	53.5	57	57	52.5
25	42.5	39	48	43.5	40
30	38.5	47.5	47	32	43

NIVEL DE SIGNIFICANCIA

χ^2 0.10,10= 16 *

χ^2 0.05,10= 18.3 **

χ^2 0.01,10= 23.1 ***

Rj = Σ Rangos

TABLA XXVI

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE ORDEN DE RANGOS EN GALLETAS ELABORADAS CON LAS MEZCLAS
HARINA DE TRIGO_HARINA PRE-GELATINIZADA DE SORGO

% Harina pre- gelatinizada de sorgo	Color	Aroma	Sabor	Textura	Apariencia general
	Q	Q	Q	Q	Q
Testigo VS 10	11	9	8	13	22.5
" VS 15	8	12	3	12.5	9.5
" VS 20	5	2.0	4	12	3.0
" VS 25	12	12.5	5	1.5	9.5
" VS 30	16	4	6	13	6.5

Valores de ZS, donde S=10.58 y P=11

ZS-10% nivel de significancia = $(3.13 \times 10.58) = 33.1$ *

ZS- 5% " " = $(3.33 \times 10.58) = 35.2$ **

ZS- 1% " " = $(3.76 \times 10.58) = 39.8$ ***

Q= Diferencia de rangos.

V.- CONCLUSIONES

El proceso hidrotérmico empleado en la elaboración de la harina pre-gelatinizada no afectó significativamente la composición química en relación a la harina integral de sorgo.

Los porcentajes usados de harina integral y harina pre-gelatinizada (10, 15, 20, 25 y 30%) en mezclas con harina de trigo no modificaron las características de temperatura inicial de gelatinización, temperatura de viscosidad máxima y rango de gelatinización; la viscosidad máxima, viscosidad mínima a temperatura constante y viscosidad final aumentaron progresivamente a medida que se aumentó el porcentaje de harina integral; presentándose un efecto inverso cuando se empleó harina pre-gelatinizada. La disminución de viscosidad máxima con el uso de harina pre-gelatinizada en la mezcla fue debido al efecto del proceso hidrotérmico y no al contenido de alfa amilasa. Así el patrón de viscosidad de Pratt⁴⁶, basado en el contenido de alfa amilasa presente en la harina, no debe ser usado para harinas mixtas con harinas pre-gelatinizadas.

Los farinogramas realizados mostraron que la absorción de agua se mantuvo constante con la adición de harina integral, mostrando una mayor capacidad de absorción de agua, las mezclas elaboradas con harina pre-gelatinizada; lo que indica una mayor absorción de agua, específica de la harina pre-gelatini-

zada en relación a las harinas integral de sorgo y trigo. El aumento gradual de tiempo de llegada, tiempo de desenvolvimiento de la masa y tiempo de salida, con la adición de ambas harinas puede ser atribuido a una dilución del gluten en las mezclas, como también al aumento en la energía de mezclado de la masa necesaria para desenvolver la red de gluten. La estabilidad presentó una disminución progresiva a medida que se incrementó el porcentaje de ambas harinas en las mezclas, indicando un efecto de debilitamiento en la red de gluten.

La extensibilidad de la masa fue disminuída con la adición de ambas harinas, sufriendo una modificación la estructura de la masa, haciéndose más tenaz, revelado por un aumento gradual en los valores de resistencia a la extensión, resistencia máxima y número proporcional.

El análisis de color realizado en las mezclas de trigo con harina integral y pre-gelatinizada presentó menores valores en relación al testigo (harina de trigo), atribuido a que se usó una harina integral de sorgo.

Los valores de índice de absorción de agua fueron mayores con el uso de harina pre-gelatinizada.

Los panes elaborados con mezclas harina de trigo - harina integral de sorgo y harina de trigo - harina pre-gelatinizada de sorgo mostraron un ligero aumento en el contenido de proteína y azúcares totales.

En el estudio reológico de la masa se observó que a medida que aumentó el nivel de sustitución de harina de trigo disminuyeron las características reológicas de la masa.

De acuerdo a los resultados de la evaluación de la calidad del pan elaborado con las mezclas de ambas harinas de sorgo con harina de trigo y del análisis estadístico de los resultados del análisis sensorial se encontró que las mezclas de 10% de sustitución de harina de trigo con ambas harinas se acercaron más a los valores obtenidos con el testigo. Sin embargo, se obtuvieron panes de características aceptables con las mezclas hasta un 30% de sustitución de harina de trigo con ambas harina de sorgo.

Los resultados de la evaluación de la aptitud galletera y del análisis estadístico del sensorial de las galletas elaboradas con las mezclas harina de trigo con ambas harinas de sorgo, indicaron que tuvieron características sensoriales aceptables, no mostrando diferencia significativa entre las mezclas, por lo que para la elaboración de éstas, se pueden emplear mezclas de mayor porcentaje de sustitución de harina de trigo.

VI.- SUGERENCIAS

Desarrollar una mayor difusión de sorgos blancos en regiones productoras de este cultivo, introduciendo nuevas líneas experimentales que presenten buenas características agronómicas, químicas y tecnológicas, basados en una mayor interrelación entre fitomejoradores e investigadores de calidad.

Estudiar el comportamiento de la adición de harinas de diferentes grados de extracción, a la harina de trigo, en las propiedades reológicas y elaboración de pan.

Realizar estudios usando aditivos que mejoren la calidad del pan elaborado.

Elaborar nuevos productos para consumo humano, como son: alimentos infantiles, pastas alimenticias, productos extrudados y otros.

Realizar pruebas microbiológicas del pan elaborado, con la finalidad de establecer la vida de anaquel.

Llevar a cabo estudios experimentales a nivel planta piloto, estudiándose las variables del proceso y establecer costos de producción.

VII.- BIBLIOGRAFIA

- 1.- AACC- Cereal Laboratory Methods. American Association Cereal Chemistry St. Paul .M.N. USA (1962)
- 2.- - Approved Methods of the AACC. 7a. edition (1969)
- 3.- Ahmed A. El- Dash, Ph.D. Análise e Desenvolvimento de um novo sistema de Testagem da Qualidade Tecnológica de Farinha. Tese de livre docência. Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agricola Universidade Estadual de Campinas (1978) S.P. Brasil
- 4.- Anderson, R.A; Conway, H.F., Pfeifer, V.F. and Griffin Jr. E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Sci Today 14: 4-7, 11-12 (1969)
- 5.- Badi. S.M and Hoseney R.C. Use of Pearl Millet and Sorghum Flours in Bread and Cookies. Symposium on Sorghum and Millets for Human food. pág.37-39. Viena 1977.
- 6.- B'adui Dergal, Salvador. Química de los Alimentos, Editorial Alhambra Mexicana , S.A. México 1981.

- 7.- Banco de México. La Realidad Agrícola, Ganadera y Forestal de México en 1977. Informe Anual (1977)
- 8.- Bayfield E.g. and C.D. Stone. Effects of Absortion and Temperature upon flour - Water Farinograms. Cereal Chemistry 37:233 (1960)
- 9.- Ben grogg and Diane Melms. A method of Analysing Extensograms of Dough. Cereal Chemistry 33:310 (1956)
- 10.- Betancourt Vallejo, Alberto. "Sorghum Diseases in Mexico" in Sorghum diseases a world review International Crops research institute for the Semi-Arid Tropics, pág. 22-23. ICRISAT, Petancheru P.O. Andhra Pradesh, India (1978).
- 11.- Bloksma A.H. Rheology and Chemistry of Dough. chapt 11 in:Wheat Chemistry and Technology Pomeranz y. Ed. AACC, St. Paul, Minn. 1971.
- 12.- Burns, R.E. "Methods of estimation of tannin in grain sorghum" in: Agronomy Journal 63: 511-512 (1971).
- 13.- Casier, J.P.J., G. de Paepe, H. Willams, G Goffings and H. Nappen. Bread from starchy tropical crops II.

Bread Production from pure millet and Sorghum flours using cereal endosperm - celwall- pentosan as a universal baking factor. Symposium on Sorghum and Millets for Human food. Viena 1977.

14.- Casier, J.P.J, et. al. Bread Production from Pure flours of Tropical Starchy Crops: III from pure and mixed flours of cassava, Millet, sorghum, corn, Rice and the starches. in: Tropical Foods 1:279-340 (1971).

15.- Cejudo Gómez, Hector Edgardo. Estudio de Metodologías físicas, Determinación de taninos y actividad de la Enzima Catecol Oxidasa en granos de sorgo sorghum bicolor (L) Moench, utilizados para alimentación, Chapingo, México. ENA. C.P. 1978. Tesis

16.- Cejudo Gómez, Hector, Fernando Martínez Bustos y Vartan Guiragossian. Evaluación de calidad de tortillas elaboradas con sorgo y mezclas maíz-Sorgo. Symposium: Proceedings of the grain Quality workshop for latin America. Sponsored by INTSORMIL- INIA- ICRISAT /CIMMYT (1982).

17. Collison, R.- Starch Retrogradation. Chapt VI in: Starch and its Derivates. Ed. by Radley, J.A. Chapman and Hall L.t.d. London (1968)
- 18.- Collison, R.- Swelling and Gellation of Starch. Chapt V in: Starch and its derivates. Ed. by Radley J.A Chapman and Hall L.t.d. London (1968).
- 19.- D'Applonia, B.L. and K.A. Gilles. Elizabeth M. Osman, y Pomeranz. Carbohidrates. chap 7 in: Wheat Chemistry and Technology. Pomeranz, y Ed. AACC, St. Paul, Minn, (1971).
- 20.- Determinación de azúcares totales. Método de Antrona. Instructivo de Laboratorio de calidad de Sorgo. INIA.
- 21.- Deyoe, Charles W; Roberts J. Robinson. Sorghum and Pearl Millet Foods in: Tropical Foods, Academic Press Inc. 1: 217 -287, (1979).
- 22.- Doguchi, M. and I Hlynka, Some rheological Properties of Crude Gluten Mixed in the farinograph. Cereal chemistry 44 (6): 561-575 (1967),

- 23.- Fortmann, K.L. and R.R. Joiner. Wheat pigments and flour color, chapt 10 in. Wheat chemistry and Technology. Pomeranz y Ed. AACC, St. Paul, Minn (1971).
- 24.- Freeman, J.E. and W.J. Verr. A rapid procedure for Measuring starch paste development and its applications to corn and sorghum starches. Cereal Sci Today 17 (2): 46-53 (1972).
- 25.- George E. Inglett, Lars Munck. Cereals for Food and Beverages. Recent Progress in Cereal Chemistry. Academic Press (1980)
- 26.- González Sanchez, Jairo Alfonso. Processo Hidrotérmico rápido para a produção de farinha pre-gelatinizada de Milho. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola. Universidade Estadual de Campinas (1977).
- 27.- Glucklich, Joseph and Leora Shelef. An Investigation into the rheological properties of flour dough. Studies in Shear and compression. Cereal Chemistry 39:242-255 (1962).

- 28.- Hernández, N. and Bates, L.S. Modified Method for Rapid Tryptophan Analysis of Maize. Research Bulletin No. 13, CIMMYT, México (1969).
- 29.- Hirsh, Naomi L. Sensory Panel Test Designs with data. Evaluation Procedures. the Coca Cola Company. Foods Division. P.O. Box. 2079. Houston, Texas. (1977).
- 30.- Hunter Lab. Manual instruction, Model D-25 L-2 Reston, Virginia (1976).
- 31.- Iruegas, Andrés; Hector Cejudo y Vartan Guiragossian. "Screening and Evaluation of Tortilla from Sorghum and Sorghum". Maize Mixture". Laboratorios Centrales de calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Chapingo, México (1980).
- 32.- Kasarda, D.D., c.c. Nimmo and g.o. Kohler. Proteins and the Aminoacid Composition of Wheat Fractions, chapt 6 in: Wheat Chemisty and Technology. Pomeranz y. ed. AACC. St. Paul. Minn (1971).
- 33.- Kent, N.L., H.A. ph. D. Tecnología de los cereales. Ed. Acribia, Zaragoza, España (1971).

- 34.- Knight, J. W.- Starch. chapt I in: the Starch Industry.
Pergamon Press (1969)
- 35.- Leach, W.H.- Gelatinization of Starch. chapt XII in:
Starch Chemistry and Technology, vol. I. Ed.
by Whistler, R.L. and Paschall, E.F. Academic
Press, N.Y. (1965).
- 36.- Martin L. Price, Ann E. Hagerman and Larry G. Butler,
Tannin content of cowpeas, chickpeas, Pigeon
peas and mung beans. J. Agric. Food Chem.28:
459-461 (1980)
- 37.- Martin L. Price and Larry G. Butler. Tannins and Nu-
trition Station Bulletin. Dpt. of Biochemistry
Agricultural Experiment Station. Purdue Univer-
sity, West Lafayette Indiana (1980).
- 38.- Martínez Bustos, Fernando. Farinha pre-gelatinizada de
Milho elaborada por processo hidrotérmico: Carac-
terísticas químicas e tecnológicas. Tese de maes-
trado, faculdade de Engenharia de Alimentos e Agri-
cola, Universidade Estadual de Campinas. (1979).
- 39.- Mattheus H. Ruth. Elinora J. Sharpe and Willa M. Clark.
Some functional properties of Processed corn meal
as related to use in Bread, Beverages and Porrid-

- ges Cereal Sci Today 15 (7): 208-210 (1970).
- 40.- Ministerio do Interior. Contribução ao desenvolvimento da agroindustria. vol. XIV, Milho, Brasil (1974)
- 41.- Muelenaere, H.J.A. de And Buzzard, J.L. Cooker Extruders in Service of World Feeding. Food Technology 23:71-77 (1969)
- 42.- Obizoba C., Ikemefuna. Utilization of Sorghum, Wheat and Navy Beans by Human Adults. Mineral and vitamin metabolism" in :Nutrition Reports International, vol 20 (6): 777-796 (1979).
- 43.- Oliveira Camargo, Celina Raquel. O enriquecimento Proteico do pão com farinha desengordurada de soja: Efeito nas propriedades reológicas da masa e na qualidade do pão. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola. Universidade Estadual de Campinas (1977).
- 44.- Pomeranz Y. Shellenberger J.A. Bread Science and Technology. Ed. AVI Publishing Co. INC. 1971
- 45.- Ponte, Jr. J.G.- Bread chapt 13 in: Wheat Chemistry and Technology Pomeranz. y. ed. AACC. St. Paul. Minn (1971)
- 46.- Pratt, Jr. D.B. Criteria of flour quality chapt 5 in: Wheat Chemistry and Technology. Ed. by. Pomeranz y AACC st. Paul. Minn. (1971)
- 47.- Prince, M.L. and Butler, L.G.- Rapid visual estimation and spectrophotometric determination of tannin content of sorghum grain. J. Agric. Food Chem. 25 (6): 1268-1273 (1973).

- 48.- Reed, Gerald and J.A. Thorn. Enzymes. chapt 9 in: Wheat Chemistry and Technology. Pomeranz y ed. AACC. st. Paul, Minn (1971).
- 49.- Roberts, H.J. - Corn Flour : From Surplus Commodity to Premium Product. Cereal Sci Today 12:505-508 ,532 (1967).
- 50.- Rooney, L.W. and L.E. Clark. the Chemistry and Processing of Sorghum Products. Cereal Quality laboratory, Texas A&M. University College Station, Texas (1980)
- 51.- Rooney, L.W. Khan, M.N. and Earp, C.F. the Technology of Sorghum Products. Cereal Quality Laboratory, Texas A&M. University College Station Texas (1980)
- 52.- Rooney, L.W. et. al. Sorghum Quality Research, Cereal Quality laboratory. Texas. A&M. Texas. Sorghum News letter 22-100-105 (1979).
- 53.- Said infante, gil. Métodos Estadísticos no paramétricos. Centro de Estadística y Cálculo. Colegio de Post-graduados pag. 139-143 . Chapingo, México (1980).
- 54.- Schoch, T.J. and Elder, AL. _Starches in the Food Industry. Advances in Chemistry Series 12:21-34 (1955).
- 55.- Secretaría de Programación y Presupuesto. Las Actividades Económicas en México. Serie Manuales de información Básica de la Nación (1981).
- 56.- Secretaría de Programación y Presupuesto. Boletín Mensual de Información Económica. Vol. VII, No.6 (1983).

- 57.- Silva Peña, Máximo. Elaboración de Harinas Nixtamilizadas de Sorgo (*Sorghum Bicolor* L. Moench) para Tortillas. Características Químicas y Tecnológicas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo. 1983.
- 58.- Smith, J.R.- Viscosity of Starch pastes. Chapt 30 in: Methods in Carbohydrate Chemistry. vol. IV. ed. by Whistler, R.L. Academic Press, N.Y. and London (1964).
- 59.- Sullivan, J.W. and Johnson, J.A.- Measurement of Starch Gelatinization by Enzyme Susceptibility. Cereal chemistry 41:73-79 (1964).
- 60.- Sullivan, B. Proteins in flour. Review of Physical Characteristics of gluten and reactive groups involved in oxidation. J. Agr. Food. Chem. 2:1231-1234 (1954)
- 61.- Tollefson Jr, B.- New Milled corn Products inc. C.S.M. Cereal Sci. Today 12: 438-441 (1967).
- 62.- Tosello, Yara. Avaliação dos métodos de Processamento e controle de Qualidade na industria de Panificação Tese de doutoramento. Faculdade de Engenharia de alimentos e agrícola. Universidade Estadual de Campinas (1979).
- 63.- Vazquez Carrillo, María Gricelda. Usos de la papa en la elaboración de Tortillas y Pan. Tesis profesional Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo (1981).

64.- Villegas, E. y Mertz E.T. Métodos químicos usados en el CIMMYT para determinar la calidad de la proteína de maíz. Folleto de investigación, núm. 20 México, 1971.

65.- Wall, J.S. and Ross, W.M. Producción y usos del sorgo. Centro Regional de Ayuda Técnica. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 1975.