

300627

UNIVERSIDAD LA SALLE ⁸ ₂₄



ESCUELA DE QUIMICA

Incorporada a la
Universidad Nacional Autónoma de México

"DETERMINACION DEL EFECTO DEL TIEMPO
DE FERMENTACION ADICION DE GLUTEN EN
LA ELABORACION DE PAN DE TRITICALE"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO

P R E S E N T A :

LUCIA RAQUEL LOPEZ ALVAREZ

México, D. F.

1991



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD LA SALLE

"DETERMINACION DEL EFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACION,
ADICION DE GLUTEN EN LA ELABORACION DE PAN DE TRITICALE"

P. Encarnación
[Signature]
3 de II 31

V. B.
[Signature]

[Signature]
13/11/91

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

LUCIA RAQUEL LOPEZ ALVAREZ

[Signature]

CONTENIDO

INTRODUCCION

I OBJETIVOS

II GENERALIDADES

Pag.

2.	1.	Historia sobre la formación del TRITICALE ...	1
2.	1.1	Avances sobre el TRITICALE	2
2.	2.	Aspectos agronómicos del TRITICALE	5
2.	2.1	Composición del grano del TRITICALE	6
2.	2.2	Ventajas con otros cereales	12
2.	2.3	Valor nutritivo del TRITICALE comparado con otros cereales	13
2.	2.4	Molienda del TRITICALE	14
2.	3.	Técnicas y etapas de la elaboración de pan con harina de TRITICALE	15
2.	3.1	Técnicas de panificación	19
2.	3.2	Panificación con harina de TRITICALE	19
3.	3.	Etapas de elaboración de pan con harina de TRITICALE	22

III MATERIALES Y METODOS

3.	1.	Materia prima	26
3.	1.1	Ingredientes y reactivos	26
3.	1.2	Aparatos y equipo	26

3.	2	Métodos	27
3.	2.1	Análisis químicos	27
3.	2.2	Análisis reológicos	27
3.	3.	Elaboración de pan	34
3.	4.	Análisis estadístico	36
3.	5.	Diseño experimental	38

IV

RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.	1.	Materia prima	42
4.	2.	Determinación de tiempos de fermentación para la elaboración de pan 100 % de harina de triticale y su efecto sobre la calidad panadera	46
4.	2.1	Ensayo exploratorio	46
4.	2.2	Comparación de los valores predichos para la superficie de respuesta con los valores obtenidos experimentalmente	58
4.	3.	Determinación de tiempos de fermentación para la elaboración de pan con 95% de harina de triticale y 5 % de gluten vital y su efecto sobre la calidad panadera	68
4.	3.1	Ensayo exploratorio	68
4.	3.2	Comparación de los valores predichos para la superficie de respuesta con los valores obtenidos experimentalmente	66

V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
---	-----------

VI

BIBLIOGRAFIA	69
---------------------------	-----------

I N D I C E D E F I G U R A S

No.	Pag.
1.- Estructura del grano de triticale	7
2.- Curva farinográfica típica de las harinas	29
3.- Alveogramas típicos de las harinas	38
4.- Eje de coordenadas tridimensionales que representa la escala de la medida de color	33
5.- Superficie de respuesta con una y dos variables independientes	39
6.- Superficie de respuesta del ensayo exploratorio de volúmenes de panificación de triticale	53
7.- Superficie de respuesta del ensayo final factorial 3^2 de volúmenes de panificación de triticale	57
8.- Superficie de respuesta del ensayo final factorial 3^2 de volúmenes de panificación de triticale (95 %) con gluten (5 %)	65

I N D I C E D E C U A D R O S

No.		Pag.
I	Rendimiento de líneas sobresalientes de triticale de diferentes localidades de la región de los Altos de Jalisco. INIA 1981	4
II	Rendimiento harinero y volúmenes de panificación de variedades y líneas promotoras de triticale INIA 1981	5
III	Clasificación botánica del triticale	6
IV	Composición aproximada de semillas trigo, triticale y centeno	8
V	Composición de aminoácidos de harinas trigo, triticale y centeno	18
VI	Efecto sobre el volumen con diferentes niveles de sustitución de harinas de trigo por triticale ..	19
VII	Efecto del tiempo de fermentación y de la adición de estearoil 2 lactilato de sodio en la calidad panadera con harina de triticale	21

No.		Pag.
VIII	Evaluación de la textura de la miga del pan	35
IX	Análisis bromatológico del triticale Caborca y trigo M - 82	42
X	Evaluación molinera y reológica- panadera del triticale	43
XI	Evaluación panadera del triticale con porcentajes de gluten vital	44
XII	Evaluación reológica de triticale (188%) y triticale gluten (95% - 5%)	45
XIII	Tiempos de fermentación larga y corta para panificación	46
XIV	Tiempos de fermentación seleccionados para el ensayo exploratorio	47
XV	Niveles de ensayo y resultados de panificación con triticale (188 %)	49
XVI	Niveles y valores predichos por el método de pendiente ascendente comparado con la respuesta experimental	58

No.	Pag.
XVII	Intervalo de variación de mejor respuesta obtenido por el método de pendiente ascendente..... 51
XVIII	Niveles seleccionados por la superficie de respuesta final de triticale (100 %) 54
XIX	Condiciones de ensayo 3 ² y resultados de panificación 55
XX	Comparación de volúmenes de panificación experimental y calculado 58
XXI	Tiempos iniciales de fermentación seleccionados para la mezcla triticale - gluten (95% - 5 %) ... 61
XXII	Niveles y valores predichos por el método de pendiente ascendente, comparado con la respuesta inicial..... 62
XXIII	Niveles seleccionados por la superficie de respuesta y resultados de panificación 64
XXIV	Comparación de volúmenes de panificación experimental y calculado 66

INTRODUCCION

Los cereales como principal fuente de proteína vegetal, proveen aproximadamente el 78% de la proteína que se consume mundialmente, el trigo contribuye con el 88% de la dieta total. El rápido crecimiento de la población en muchos países subdesarrollados ha provocado que la producción de trigo sea insuficiente. Esto trae como consecuencia en estos países la necesidad de importaciones con la consecuente salida de divisas (28).

En los países de Africa y América Latina, se han llevado a cabo investigaciones con la finalidad de aumentar el rendimiento y calidad nutritiva de los cereales. En dichas naciones se encuentra el 88% de la población demográfica del planeta, lo que plantea la necesidad de producir alimentos en mayor cantidad y con mejor calidad (5).

Los cereales, al igual que otro cultivo, tienen exigencias en cuanto a su óptimo desarrollo. Existen en todo el mundo zonas áridas y semiáridas que no son apropiadas casi para ningún cultivo y que representan áreas potencialmente económicas que se desperdician, pudiendo significar un incremento en la producción de alimentos.

Mediante mejoramiento genético se pretende desarrollar variedades que sean adaptables a condiciones de cultivo críticas, resistentes a enfermedades y con mayor rendimiento agronómico.

Gracias a las investigaciones en genética, el hombre pudo crear un nuevo cereal: EL TRITICALE, resultado de una cruce de trigo y centeno. Su nombre se formó con la mitad de los géneros que lo forman *Triticum* (trigo) y *Secale* (centeno). Este híbrido fue conocido por primera vez en 1875 por A. Stephen Wilson por un incidente en Escocia. En México, este cereal comenzó a estudiarse desde 1964, en el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (56).

La importancia de este nuevo cereal en México, está basada en su amplia adaptación a zonas de temporal, resistencia a enfermedades, tolerancia a la sequía y a diferentes tipos de suelo. Por lo que, el triticale en algunas regiones de México, puede desplazar al trigo en zonas de temporal. (56).

En calidad de proteína, el triticale ha resultado superior al trigo, al tener mayor cantidad de lisina, aminoácido limitante y por lo tanto un mejor balance de éstos

Se ha propuesto el uso del triticale en productos como el pan, galletas, cerveza y alimentos balanceados. Las primeras investigaciones sobre la utilización de la harina de TRITICALE EN panificación mostraron que debido a sus características reológicas y panaderas, informan que no es posible elaborar pan de calidad aceptable con 100% de harina de triticale en comparación con, harina de trigo. Las masa elaboradas con harina de triticale muestran con la ayuda del farinógrafo, baja estabilidad, bajo tiempo de amasado y con el amilógrafo, se observa una baja viscosidad, debido a la alta actividad enzimática (9, 49).

En 1972 Tsien y Col. (49) estudiaron las propiedades de la harina del triticale y concluyeron que para elaborar pan de calidad aceptable es necesario reforzar el gluten del triticale con harina de trigo. Lorenz cita en 1972 (24) la evaluación de pan con diferentes niveles de sustitución de harina de trigo y observó que la forma de obtener pan de calidad aceptable es utilizando de 30 a 40% de harina de trigo y el resto de triticale.

Otras investigaciones han demostrado que se puede elaborar pan aceptable con harina de triticale sin ninguna adición de harina de trigo, pero aplicando ciertos ajustes como son: tiempo de amasado, absorción de agua y el tiempo de fermentación (17).

Estudios realizados sobre panificación con harina de triticale, han confirmado que existe un efecto negativo sobre el volumen del pan, cuando el tiempo de fermentación es largo. Peña publicó en 1977, (25) un estudio sobre el efecto de tiempos de fermentación en la elaboración de pan con harina de triticale, aplicando dos métodos: el recomendado por la Asociación Americana de Químicos Cerealeros y uno en el que se reducen los tiempos de fermentación, reportando una mejoría en el volumen del pan con el de tiempos cortos (34).

I OBJETIVO

Determinar los tiempos óptimos de fermentación durante la elaboración de pan hecho a base de harina de triticales y su adición de gluten.

I GENERALIDADES

2. 1. Historia sobre la formación y evolución del triticale.

Los cereales tuvieron su origen con la agrupación del género humano en la época prehistórica de 10 a 15 mil años A.C., y se le asignaron como lugar de origen: China, Asia Central, el Cercano Oriente, el Mediterráneo, la Planicie Mesoamericana y América del Sur. Su evolución como cultivo está ligada al desarrollo sociológico del género humano (29).

Los cereales han sido alimentos del hombre desde hace miles de años, han sufrido una serie de modificaciones, tanto en forma de uso como en las prácticas de obtención. La necesidad de crear una mayor cantidad de alimentos con mejores características, generó las prácticas de mejoramiento genético. Con estas prácticas se han logrado un mejor conocimiento y aplicación de los mecanismos de producción de las plantas. Han sido muchos los avances logrados en este campo y uno de los más importantes fue la obtención del TRITICALE.

El triticale es el producto de la cruce del trigo, cereal perteneciente al género *Triticum* con una especie de centeno perteneciente al género *Secale*. Su nombre se formó con la mitad de los géneros progenitores *Triti* (trigo) y *cale* (centeno). Este híbrido se conoció por primera vez en 1875 en Escocia. La primera cruce de trigo y centeno generó una planta estéril. Más tarde en 1884 el "Rural New Yorker" publicó que el experimento de Wilson, llevado acabo en 1875, había sido reproducido por un granjero, obteniendo un producto de gran semejanza a sus progenitores (16,51).

Las primeras investigaciones intensivas sobre el triticale se debieron a un hecho casual, ocurrido en las parcelas de prueba de trigo de invierno de la Estación Agrícola Experimental de Saratov, donde se encontraron miles de híbridos de trigo y centeno. Fue evidente que los triticales intrusos eran resultado de fecundaciones espontáneas ocurridas en el ciclo anterior entre los trigos de los ensayos y los centenos sembrados en los surcos del borde, establecidos ahí para evitar intercambio entre las diferentes líneas de trigo (59).

Pese a la falta de una base teórica firme, los investigadores soviéticos y de otras partes del mundo continuaron el trabajo con triticale durante los años 30's y parte de los 40's e inclusive realizaron pruebas preliminares sobre las características de panificación.

Desafortunadamente este esfuerzo fue interrumpido por el establecimiento oficial de la segunda guerra mundial. No obstante, hasta mediados de la década de los 50's, el triticale sólo interesaba a los genetistas. La consideración de su potencial como cultivo económico era desalentado por la el persistente alto grado de infertilidad del híbrido y por tendencia a producir semillas arrugadas sin suficiente endospermo para apoyar el crecimiento de la plántula.

Debido a estos y otros obstáculos que afrontaban la investigación del desarrollo del triticale, Muntzing lo llama "Periodo Arcaico" (51).

Hace apenas algunos años se descubrió en Francia la colchicina, un alcaloide cristalino que induce la duplicación del número de cromosomas en las plantas. Con este veneno amarillento pálido derivado del azafrán se pudo superar la esterilidad de los triticales.

Para 1964, se fundó el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México y con él, un apoyo firme a las investigaciones sobre el triticale. En 1968, con un proyecto del CIMMYT llevado a cabo en Ciudad Obregón, Sonora, se tuvo un avance importantísimo, al obtener un triticale de alta fertilidad. A éste se le dio el nombre de triticale armadillo, el cual se convirtió en el progenitor de los triticales de todo el mundo y México como lugar de origen (51,56).

2. 1.2 Avances del triticale.

Debido a que el triticale es un cultivo nuevo, los trabajos iniciales se realizaron dentro de los campos experimentales, y no fue hasta 1979 en que empezaron las acciones para que el triticale fuera un cereal aprovechado por los agricultores progresistas (21).

A la fecha, el triticale se cultiva en aproximadamente 750,000 hectáreas en todo el mundo. Los países que los producen son: Hungría, Rusia, Australia, Canadá, Estados Unidos, África del Sur, Argentina, Kenia, México, China y España. En México se siembra en los Altos de Jalisco, la Sierra Tarasca y la parte del noroeste del lago de Pátzcuaro, en algunos de estos se ha desplazado al trigo por que producen hasta un 38% mas de rendimiento en siembra de temporal. En las regiones de los Valles altos de los Estados de Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, este cultivo tiene muchas posibilidades de prosperar, porque responde bien a los suelos arenosos que son frecuentes en estas áreas y también porque las heladas erráticas de julio no lo dañan como suele suceder en los cultivos de maíz y frijol (31,51)

La importancia social del cultivo aún es reducida en comparación con la del trigo. Sin embargo, con las actuales variedades de triticale liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y agropecuarias, INIFAP pueden competir en cuanto a rendimiento y calidad nutritiva con algunos trigos.

Los rendimientos que comercialmente se obtienen en México son de 5,500 kilogramos por hectárea. En el Noroeste y en Bajío, en condiciones de riego, y de 4,000 a 1,200 kilogramos por hectárea en siembra de temporal, de acuerdo con la cantidad de lluvia y a la distribución de ésta a través del ciclo de cultivo. Las variedades que han sobresalido por el alto rendimiento son: Yorema Tc1-74, Caborca Tc1-79 y Cananea Tc1-79.

En México existen 12 millones de hectáreas de tierras de temporal para las cuales no hay un cereal que produzca una cosecha satisfactoria y segura, excepto en las áreas de buena precipitación. El triticale es un cereal prometedor para estas tierras ya que tolera la sequía, suelos ácidos y además resiste a las enfermedades comunes que atacan al trigo (9,51,56).

Las áreas de producción de triticale en México son limitada, si se compara con los cereales clásicos. Sin embargo, en zonas de temporal la producción es amplia, gracias a que las actuales variedades son más precoces y se pueden cultivar con éxito en algunas áreas en donde las lluvias se inician tarde y las heladas se anticipan. Con esta ventaja agronomica, se podrían cultivar 15 mil hectáreas de triticale en los estados de Jalisco y Michoacán y alrededor de 38 mil hectáreas en los estados de Tlaxcala, Hidalgo, Puebla y el Estado de México (9,56).

Con las actuales líneas experimentales de triticale se ha logrado mejorar considerablemente el rendimiento agronómico, siendo este en algunos lugares de un 38% más en comparación con el trigo. El cuadro No. 1 muestra esta información.

CUADRO No. 1

**RENDIMIENTO DE LINEAS SOBRESALIENTES DE TRITICALE EN
DIFERENTES LOCALIDADES DE LA REGION DE LOS ALTOS DE JALISCO
INIA 1961 (31)**

VARIEDAD O CRUZA	ARANDAS 885 mm	SAN MIGUEL EL ALTO 634 mm	LAGOS DE MORENO 573 mm	RENDIMIENTO PROMEDIO Kg/ha.
MA CML X-B38-D2Y OM-188Y182B 185Y-1M (Triticale)	5,966	2,333	1,776	3,358
Yoco R IEA X-21861-4R-2R (Triticale)	5,816	2,828	1,898	3,288
Anáhuac F75 (Trigo)	3,893	1,893	1,437	2,407
Porcentaje superior de rendimiento de triticales respecto al trigo.	53 %	23 %	23 %	39 %

Precipitación en el verano de 1980.				

Mediante el mejoramiento genético se ha logrado corregir el grado de arrugamiento del triticales, en algunas variedades dando como resultado rendimientos harineros mayores. También sobre la calidad panadera se han desarrollar algunas líneas con buena calidad. Esta información se muestra en el cuadro No. II

CUADRO No. II

RENDIMIENTO HARINERO Y VOLUMENES DE PANIFICACION EN
 VARIETADES Y LINEAS PROMETEDORAS DE TRITICALE INIA
 1981.(29)

VARIEDAD O CRUZA	PORCENTAJE EN RENDIMIENTO EN HARINA	VOLUMEN DEL PAN (cc)
Caborca Tc1 70 (triticale testigo)	66.9 %	645
X-16384-500D-501Y-506D-OY (Triticale)	71.1 %	680
X-35186-503M-500Y-5000B-OY (Triticale)	73.7%	675
Macazari M 76 (Trigo)	74.6 %	740

2. 2. Aspectos Agronómicos de Triticale.

El triticale lleva a cabo su crecimiento y desarrollo como cualquier cereal de grano pequeño. Las etapas de crecimiento son mas a menos las mismas en tiempo.

La clasificación botánica del triticale se muestra el cuadro No. II

CUADRO No. III

CLASIFICACION BOTANICA DEL TRITICALE (16).

CATEGORIA	CLASIFICACION
Reino	Vegetal
División	Tracheospytao
Subdivisión	Pteropsidas
Clase	Angiosperma
Subclase	Monotiledomeas
Grupo	Glumifidra
Orden	Graminales
Familia	Gramineas
Tribu	Triticaceas
Género	Triticale
Especie	sp.

En sí el triticales puede sembrarse en todas las regiones donde se cultiva trigo, cebada, avena, etc, ya sean estos cultivos de riego o temporal. El triticales no deja de ser una alternativa para reforzar la producción de trigo, al ser semejante y tener una mejor tolerancia a la sequía que el trigo (51).

2. 2.1 Composición del grano de Triticales.

a) ESTRUCTURA

Los granos de triticales son más largos que los de trigo y en su apariencia se asemeja, más al trigo que al centeno, el color es generalmente amarillento, aunque casi siempre se encuentra enmascarado por la superficie rugosa del grano, aparentando un tono oscuro.

Estudios de microscopía electrónica, realizados por Simod y Lorentz (25), mostraron que el tamaño, estructura y distribución de las capas del pericarpio y aleurona son básicamente iguales en trigo, centeno y triticales. La figura No. 1 muestra la estructura del grano de triticales.

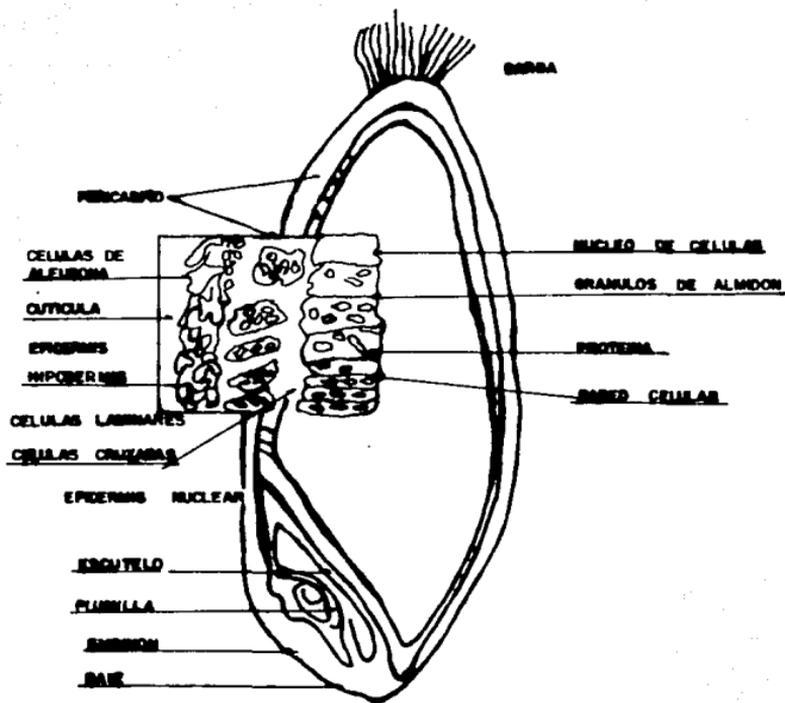


Fig. No.1 ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRITICALE (9).

b) COMPOSICION QUIMICA.

La composición aproximada del triticale es similar a sus especies parientes trigo y centeno. Si embargo en algunas variedades liberadas por el CIMMYT, el porcentaje de proteína a superado al trigo y centeno hasta en un 3 % más.

Zilinsky y Borlaug (57), reportan el porcentaje de proteína de 191 líneas de triticale, obtenidas en la cosecha de 1969 -1978 y liberadas por el CIMMYT en México, cuyo valor fue de 12.8 a 18 % y el nivel promedio de 15 %. El porcentaje de proteína del triticale, fue mayor al contenido en el trigo el cual fué de 12.4.

El cuadro No. IV muestra su composición (9).

CUADRO NO. IV

COMPOSICION APROXIMADA DE GRANOS DE TRITICALE,
TRIGO Y CENTENO (9).

	TRITICALE	TRIGO	CENTENO
	(%) *	(%) *	(%) *
Humedad	11 - 15	11 - 14	11 - 14
Proteína (N x 5.7)	14.80	13.50	13.00
Fibra Cruda	1.5	1.9	1.8
Carbohidratos -Total	78.0	78.0	80.0
-Fibra	3.1	3.9	2.6
Cenizas	2.0	2.0	2.0

* Expresado en base seca.

ALMIDON

Como en todos los cereales, en el triticale, el almidón es el componente más abundante. Estudios realizados han demostrado que no existen diferencias significativas en las características físicas, químicas y estructurales del almidón del triticale y sus progenitoras.

El tamaño de los gránulos del almidón se encuentra entre 30 y 50 micrones. La característica más notable de la harina de triticale relacionada con el almidón es su baja viscosidad, la cual está ligada con una alta actividad enzimática de alfa amilasa.

El contenido y actividad enzimática de la harina de triticale tiene un efecto negativo en la elaboración del pan. El efecto negativo es marcado porque se obtiene un pan de bajo volumen, miga compacta y chiclosa (26).

En un estudio comparativo de distintas harinas se encontró que las líneas de triticale contenían más alta actividad de alfa amilasa que las de trigo (27).

AZUCARES

El contenido total de azúcares solubles, principalmente la sacarosa es mayor en las líneas de triticale que en las líneas de trigo y menores que el centeno.

Klassen y Hill (27), reportan que el contenido promedio de azúcares reductores en semillas maduras de triticale es de 2.65 mg./gr., mientras que el valor del trigo es de 1.23 mg /gr.

Estudios realizados sobre la variación del contenido de azúcares reductores en la etapa final de desarrollo de grano de varias líneas de triticale y trigo, mostraron que no existe ningún efecto significativo en el trigo mientras que en los de triticales, el contenido de azúcares se incrementa considerablemente durante esta etapa de desarrollo. También se ha observado que el incremento en el contenido de azúcares reductores se debe a la alta actividad de alfa amilasa, que actúa sobre el almidón (9,16,27).

PROTEINA

Se ha observado que el contenido de proteína es afectado fuertemente por las condiciones agronómicas y climáticas. El porcentaje de proteína de triticale varía de 10.7 a 16.3 con un promedio de 13.7%. Si se compara este valor promedio con los del trigo comercial que es de 10 %, se puede decir que el triticale presenta un intervalo ligeramente superior. La calidad de la proteína del triticale es función del aminoácido limitante en los cereales que es la lisina. Así, como también de un balance adecuado de los aminoácidos esenciales (9,16,22).

El cuadro No. V nos muestra el contenido de aminoácidos del triticale, trigo y centeno.

CUADRO No. V

COMPOSICION DE AMINOACIDOS DE HARINAS DE TRITICALE, TRIGO Y CENTENO (9).
micromoles de aminoácidos/ mg. nitrógeno

AMINOACIDO	TRITICALE	TRIGO	CENTENO
Acido Aspártico	2.23	1.89	2.41
Trionina	1.34	1.29	1.29
Serina	1.17	2.26	4.44
Acido Glutámico	11.78	13.28	9.77
Prolina	6.44	6.56	6.26
Glicina	2.78	2.54	2.40
Alanina	2.88	1.99	2.15
Valina	2.18	2.21	2.10
Cistina	8.78	8.68	8.52
Metionina	8.79	8.78	8.68
Isoleucina	1.74	1.51	1.87
Tirosina	8.81	8.88	8.56
Fenilalanina	1.58	1.88	1.47
Lisina	1.88	0.85	1.12
Histidina	8.79	8.83	8.65
Arginina	1.47	1.13	1.23

Como se observa en el cuadro No. V, se observa la composición de aminoácidos elaborada por Chen y Bushek. El triticale presenta un buen contenido de arginina y lisina, y, cantidades menores de ácido glutámico. Sin embargo los valores de lisina son menores en el trigo en relación, y los valores de éste último son menores en relación al centeno. El contenido de lisina es relevante para la cantidad nutritiva del triticale así como, el bajo contenido de ácido glutámico es significativo para las propiedades funcionales en panificación (26).

En general el nivel de lisina como porcentaje de proteína, varía de 2.5 a 4.4 con un promedio de 3.7 % ; mientras que en el trigo comercial fluctúa alrededor del 2% en tanto que la lisina en el maíz opaco - 2 es de alrededor de un 4.3%. Por lo tanto el nivel de lisina para el triticale se puede considerar ligeramente superior entre los cereales comerciales trigo, maíz normal, cebada, sorgo, arroz y centeno (21)

LIPIDOS

Estudios realizados por Tsien en 1974, (48) compararon la composición de lípidos de algunos cultivos de triticale producidos en México, con el trigo y centeno cultivados en Kansas y encontraron que el total de lípidos extraíbles es mayor en los triticales de México que en los trigos y centenos de Kansas.

La harina integral de triticale contiene mas lípidos libres que ligados. También algunos estudios han demostrado que las cantidades de lípidos dependen del género del grano y de la localización de su siembra.

El triticale hereda características de sus parientes, del centeno que contiene más fosfolípidos y del trigo que contiene mas lípidos extraíbles.

Los datos sobre la composición de los ácidos grasos del triticale son limitados. En 1972, Lorenz y Maga, (9) publicaron la identificación de ácidos como: palmítico, oléico, linoléico y linoléico.

MINERALES Y VITAMINAS

Lorenz en 1974, (23) reportó un estudio acerca del contenido de los minerales del triticale por medio de rayos X y absorción atómica y mostró que los minerales se encontraban en diferentes partes del grano uniformemente distribuidos al igual que en el trigo y centeno.

En general, el salvado del triticale contiene el mayor porcentaje en calcio, potasio, magnesio, hierro, sodio, cobre y zinc, mientras que la harina presenta el menor porcentaje de dichos minerales.

El contenido de sodio, magnesio, hierro y zinc, elementos nutricionalmente importantes fueron mayores en triticale que en el trigo.

Con respecto al contenido de vitaminas se encontró que el triticale contiene biotina, ácido fólico y el complejo "B", en cantidades ligeramente mayores que en el trigo (9,23,42).

2. 2.2 Ventajas con otros cereales.

El triticale al igual que cualquiera otro cultivo presenta una serie de ventajas que lo hacen atractivo al productor:

Ventajas Agronómicas:

- a) Presentan notoria resistencia a condiciones de sequía, por lo que se tiene como una alternativa para zonas de temporal, ya que en estas condiciones se tienen mayores rendimientos.
- b) Tienen una gran resistencia al ataque a ciertas enfermedades y se puede decir que supera a la resistencia del trigo.
- c) Soportan mejor los suelos arcillosos y salinos, tampoco lo afectan los suelos ácidos y además toleran la carencia de micronutrientes.

Sin embargo, pese a los trabajos de mejoramiento y los resultados promisorios, todavía se tienen algunas desventajas que no se han logrado superar del todo como son:

- a) Formación anormal del endospermo y con ello un bajo peso hectolítrico.
- b) La cáscara carece de lustre, que hace al grano poco atractivo. Las semillas son arrugadas y con ellas genera problemas para la molienda.
- c) Carece de un contenido y calidad de gluten, principalmente para elaboración de productos horneados.

Ventajas Nutritivas:

- a) El porcentaje de proteína de algunas variedades de triticale a superado a las de trigo comercial hasta un 3 % más. También el contenido de lisina aminoácido limitante en los cereales se encuentra en un rango mayor al trigo (9,31,53).

2. 2.3 Valor Nutritivo del Triticale comparado con otros cereales.

Una de las pruebas para determinar el valor nutritivo de cualquier alimento, es midiendo la cantidad y calidad de proteína, mediante pruebas biológicas. La calidad nutritiva de una proteína es una función de la cantidad y clase de aminoácidos que contiene. La baja calidad nutritiva de los granos es en parte el resultado de un balance deficiente de los aminoácidos esenciales (9,31,53).

La calidad proteica en trigo y triticale, es medida en términos de contenido de lisina, que es el aminoácido limitante en los cereales. En el triticale el contenido de lisina como porcentaje de proteína varía de 2.5 a 3.7% con un promedio de 3.2%. Si se compara este promedio con el reportado para trigos que es de 2.8%, se puede decir que éste es menor (58,51).

El porcentaje de proteína en triticale, según un análisis realizado a 278 líneas mostró que el intervalo de proteína es de 10.7 a 16.3 % con un promedio de 13.7 % y para el trigo es de 11.5 a 12 %

Hulse (16), Knipfel (21), Zillinsky (58), entre otros investigadores estudiaron el valor nutricional de la proteína del triticale en animales de laboratorio, aves y de hecho, estudios en seres humanos; además se han comparado estos resultados con el valor nutricional que aportan el trigo y centeno. Hulse realizó un estudio en humanos con dos diferentes niveles de proteína para triticale y para trigo, terminando el tiempo de experimentación determinaron los parámetros y el análisis y concluyeron que el triticale fue mejor fuente de proteína en ambos niveles que el trigo. Knipfel determinó la calidad de la proteína en triticale, trigo y centeno, utilizando en sus bioensayos a ratones de pradera; el PER (eficiencia de retención proteica) del centeno fue igual al PER del triticale, mientras que el PER del trigo fue menor en comparación a los primeros. Se suplementó con caseína 1:1 a cada cereal, el PER de centeno: caseína fue el más sobresaliente y superior al PER de caseína; el PER de triticale:caseína fue igual al PER de caseína; el PER de trigo:caseína resultó el más bajo incluyéndolo en la comparación con el PER de caseína. Se examinó la concentración de aminoácidos en las dietas prueba y en el plasma de la sangre de las ratas, indicando que el aminoácido limitante en triticale y trigo fue lisina, y en menor grado en el centeno; si embargo, la superioridad del triticale en su contenido de lisina y aminoácidos sulfurados.

Por lo tanto concluyeron que el triticale es una buena fuente de proteína con gran futuro para el consumo humano. Hulise realizó también estudios de la calidad nutritiva del triticale y trigo en ratas; terminado el reporte y análisis concluyó que en términos de NPR (retención neta de proteína), la proteína del triticale es superior al trigo en los dos niveles de proteína experimentado.

Krishan, en 1978 (22), confirmaron que la energía metabolizable por aves de corral que consumieron triticale era similar que cuando eran alimentadas por trigos, para animales monogástricos encontraron que el triticale es igual a la cebada y superior al sorgo. También concluyeron que para vacas se puede sustituir la alimentación a base de cebada por triticale, pues tiene un valor energético equivalente (9).

2. 2.4 Molienda del triticale.

Debido a que el grano de triticale presenta un desarrollo inapropiado (arrugamiento) dependiendo de la cruz y condiciones de cultivo, los porcentajes de extracción de harina varían. Esta característica ha sido tomada como patrón de evaluación, dando como resultado que a la fecha los rendimientos se han incrementado hasta un valor promedio del 65% (9,12).

2. 3. Técnicas y etapas de la elaboración de pan con harina de triticale.

2. 3.1. Técnicas de Panificación.

Durante la molienda, el grano de trigo es sometido a un largo proceso de trituraciones y pulverizado que como resultado final da un polvo fino blanco con características propias, al que se denomina harina. Este producto es mezclado con otros ingredientes como agua, levadura, sal y sometido a fermentaciones y horneado, dando como resultado un producto comestible con características especiales en cuanto a sabor, aroma y textura. A este proceso se le llama panificación.

Existen una gran cantidad de fórmulas en panificación, para poder constituir una formulación adecuada hay que considerar los siguientes aspectos:

- Tipo de producto a producir.
- Tipo de harina.
- Método a utilizar.
- Tiempo de fermentación.

Los principales ingredientes para la elaboración de pan son:

- 1) Harina: Es la base esencial de la fórmula, da estructura y mantiene unidos todos los ingredientes.
- 2) Levadura: Es la responsable de la creación y levantamiento de la masa y hace posible un producto más digerible y nutritivo e imparte sabor y aroma.
- 3) Sal: Resalta el sabor de los demás ingredientes, estabiliza y da consistencia al gluten y regula la fermentación, ejerce una acción bactericida no permitiendo fermentaciones indeseables dentro de la masa, regula el consumo del azúcar y por ello se obtiene un mejor volumen de pan.
- 4) Azúcar: Es alimento para la levadura, la ayuda en su metabolismo y permite la acción de las enzimas. Ayuda a una rápida formación de la corteza del pan debido a una caramelización por una parte y a la reacción llamada de Maillard entre azúcares reductores y las proteínas de la harina. Así mismo permite temperaturas de horneado más bajas, más rápida cocción y mayor cantidad de agua retenida en el producto, además de impartir sabor.
- 5) Lácteos (texturizantes): dan un mejor color a la corteza, mejoran las cualidades conservadoras, el sabor y el aroma, mejora el valor nutritivo y da una miga más suave.

- 6) Manteca: Imparte suavidad al producto, da una miga suave y una textura más fina, mejora las cualidades conservadoras y ayuda al rebanado.
- 7) Gluten: Este ayuda a reformar a las harinas débiles y da una mejor consistencia al producto.
- 8) Enzima: Como la alfa amilasa que rompen las cadenas largas del almidón, haciendo posible que la levadura asimile rápidamente los azúcares sencillos liberados, para ser convertidos a bióxido de carbono principalmente.
- 9) Conservadores: Estos retardan el crecimiento de hongos y bacterias no deseadas en el producto, prolongando su vida de anaquel como producto ya terminado (5,18,36,37).

El pan puede ser producido por diferentes métodos, los más utilizados son:

- I.- Masa directa.
- II.- Esponja-masa.
- III.- Fermento líquido.

1.- Masa directa: En este método todos los ingredientes son pesados y mezclados en una sola operación, posteriormente son sometidos a fermentación. Este proceso dura de 2 a 4 horas o hasta que se duplique el volumen de la masa. Las masas en este proceso, deben salir de la mezcladora a una temperatura entre 25 °C a 27 °C, ya que a mayor temperatura se genera un producto de mala calidad. La fermentación por este método involucra generalmente una serie de cambios en la masa.

a) La masa, recién sacada de la mezcladora, es altamente elástica conforme la fermentación avanza se vuelve seca al tacto, pierde su brillo en la superficie y es menos elástica.

b) La masa va adquiriendo una apariencia esponjosa. Cuando está totalmente dura, desarrolla una estructura fina y delgada, si el tiempo de fermentación es excesivo la masa se torna húmeda y pegajosa.

El proceso de masa directa difiere de esponja-masa en la velocidad de amasado y el manejo que se le da al material.

En este proceso de masa directa el material recibe un ponchado o volteado durante el cual gran parte del dióxido de carbono se elimina, reduciendo el volumen de la masa. Sin embargo, ejerce un efecto benéfico, ya que se iguala la temperatura a través de toda la masa y se asegura una fermentación uniforme, reduciendo el efecto retardador por excesiva acumulación del dióxido de carbono. Induce igualmente una atmósfera de oxígeno, la cual tiene un efecto estimulante en la actividad de la levadura que ayuda al desarrollo mecánica del gluten por el estiramiento involucrado en este proceso e incrementa la capacidad de retención de gas en la masa.

La velocidad de expansión de la masa se acelera enormemente después del ponchado, lo que indica que hay un incremento en la velocidad de la fermentación.

El nivel óptimo de la levadura es de 2.5% en base a la harina, en una masa directa con tres ponchados que son: el primero al 60% del tiempo total de fermentación; el segundo al 30% del tiempo de fermentación y el último 10% restante es el tiempo que tarda la masa para ser dividida y boleada.

Esta cantidad de levadura da un volumen adecuado, así como un color adecuado en la corteza, sabor y textura. Con la mitad de la cantidad de levadura el volumen de pan es pequeño, la corteza oscura y correosa y de sabor insípido. Con mas levadura, el volumen es muy grande, la corteza es pálida, la textura pobre y el sabor ácido. Si se adiciona más levadura, pero inmediatamente es moldeada y depositada en moldes, el volumen del pan es bueno, pero el sabor y olor van a ser débiles.

Durante el mezclado se realiza la incorporación de ingredientes y desarrollo de la masa. La adición de ingredientes puede realizarse de diferentes formas :

- Se vierte parte del agua en la mezcladora, se añaden los polvos y la levadura.
- La levadura puede ser suspendida en una parte de agua a una temperatura de 25 °C (80 °F), y de esta manera añadida a los demás ingredientes.
- La manteca se agrega después de que la harina se haya hidratado completamente, pues de lo contrario, ejercerá un efecto a prueba de agua afectando la absorción y el tiempo de desarrollo (5, 18, 36).

II.-Espanja - Masa: Este método, incluye dos fases distintas. En la primera fase o etapa de formación de la esponja, se mezcla solo una parte de los ingredientes y son sometidos a una fermentación preliminar.

En la segunda fase o etapa de la masa, se adicionan los ingredientes restantes a la esponja ya fermentada y se mezclan sometiéndolos a una fermentación de menor duración.

La esponja comprende desde un 60 a un 70% de la harina total de la fórmula, la mayor parte o toda la levadura, el alimento de la levadura y el agua suficiente para producir una masa regularmente firme.

La levadura se dispersa en agua, a una temperatura de 21 °C (70 °F). Las esponjas se deben sacar de la mezcladora a una temperatura de 22° a 25 °C (72° a 78°F)

Una esponja apretada, se sostendrá mejor, se expandirá a un mayor volumen y producirá un mejor desarrollo de gluten.

El tiempo total aproximado de este método es de cinco horas.

III.-Fermento Líquido.

En este método, la fermentación se inicia con 50% mas o menos de la harina total.

Se utiliza un medio líquido preferente que contenga agua, levadura y un carbohidrato fermentable. Este fermento se añade al resto de los ingredientes y se mezclan hasta formar la masa.

Las reglas a seguir en este sistema son las mismas que las aplicadas a los métodos de masa directa y de esponja-masa. La fermentación es afectada por los mismos factores que los otros métodos.

2.3.2 Panificación con la harina de Triticale.

Los primeros estudios sobre la calidad reológica y panadera de triticale, informan que no es posible elaborar un pan de calidad aceptable con 100% de harina de triticale en comparación con la harina de trigo.

En 1972, Tsen y Col.(49) estudiaron las propiedades de la harina de triticale y concluyeron que para elaborar pan de calidad, es necesario suplementarla con harina de trigos panaderos. También encontraron que la harina de triticale generalmente contenía menor cantidad y calidad de gluten.

La harina de trigo adicionada incrementa la cantidad de gluten presente en la mezcla. El resultado de esta adición es una masa que detiene con mayor fuerza el dióxido de carbono liberado durante la fermentación (9).

En varios estudios realizados sobre la panificación con mezclas de harina de triticale y trigo se estudió el efecto del incremento del porcentaje de harina de triticale en mezclas con harina de trigo sobre el volumen de pan. Esta información se muestra en el cuadro No. VI en donde se observa que al ir aumentando el porcentaje de harina de triticale el volumen del pan va disminuyendo y con éste la calidad panadera. Investigaciones más profundas sobre este efecto concluyen que el porcentaje máximo de harina de triticale admitido para que no exista una disminución tan marcada en el volumen del pan es de 38 a 48% (17,18,42,49).

CUADRO VI

EFEECTO SOBRE EL VOLUMEN DEL PAN A DIFERENTES NIVELES.
SUSTITUCION DE HARINA DE TRIGO POR TRITICALE (17).

CARACTERISTICAS

	NIVELES DE SUSTITUCION %				
	0	10	20	30	100
volumen (cm)	700	760	800	720	500
Peso (gr.),	165	165	178	172	175
Volumen especifico	4.5	4.6	4.7	4.5	3.3

El análisis farinográfico de las masas elaboradas con harina de triticale muestran una baja estabilidad, bajo tiempo de amasado y con el amilógrafo se observa una baja viscosidad debida a la alta actividad de la alfa - amilasa que posee.

Peffa, en 1977 (51), estudió la fermentación del pan con harina de triticale, utilizando el método tradicional y un método corto; ajustó el tiempo de amasado y la absorción de agua. Reporta diferencias marcadas en las características de panificación en los dos tiempos, siendo el mejor el corto, ya que con éste se obtiene una mejor calidad panadera (un mejor volumen). Comenta que mediante la modificación del factor más crítico, el tiempo de fermentación se tiene una mejoría ulterior mediante la adición de acondicionadores de masa (17,34).

El triticale, generalmente exhibe algunas propiedades reológicas diferentes al trigo. Los procedimientos estándares establecidos para el proceso de panificación de trigo deben ser modificados para obtener pan satisfactorio de harina de triticale. El tiempo de mezclado debe ser corto pues el triticale tiene baja estabilidad en comparación con el trigo, y un mezclado alto provocaría el colapsamiento de la masa (16,28).

La diferencia más importante en el proceso de panificación de trigo y triticale es sin duda el efecto que produce la alta actividad enzimática. La actividad de la alfa-amilasa contribuye parcialmente a aumentar la disponibilidad de los azúcares fermentables, lo que permite una mayor producción de dióxido de carbono durante la fermentación de la masa. La actividad de esta enzima, produce un efecto negativo en el volumen de pan con harina de triticale, sin embargo en la harina de trigo tiene un efecto positivo ya que este obtiene mejor calidad. El efecto causado por la actividad amilolítica en los dos cereales se puede explicar en base al contenido de proteínas de gluten, en el cual es de mayor cantidad y calidad en el trigo que en el triticale (27,35,52,58).

Lo anterior significa que las harinas de trigo pueden resistir modificaciones estructurales en mayor grado, por acción enzimática que las harinas de triticale. Cabe señalar que el efecto positivo para el trigo de la alfa-amilasa, se manifiesta en una mayor extensibilidad de la masa, lo que a su vez mejora la capacidad de expansión de la misma, permitiendo de esta manera ganancia en volumen de pan. El efecto negativo en triticale por la alta actividad de alfa-amilasa en el volumen del pan, es debido indirectamente a la proteasa, ya que éstas debilitan más la estructura del gluten (16,27,30).

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Investigaciones del efecto del tiempo de fermentación sobre la calidad de pan elaborado con triticales han demostrado que existe un efecto negativo sobre el volumen y calidad del pan. Como lo demuestra el cuadro No. VII, en donde se puede observar el efecto del tiempo de fermentación y el de algunas mejoradores, sobre el volumen de pan (9, 16).

CUADRO No. VII

EFFECTO DEL TIEMPO DE FERMENTACION Y DE LA ADICION DE ESTEAROIL, 2 LACTILATO DE SODIO EN LA CALIDAD PANADERA CON HARINAS DE TRITICALE (9).

HARINA DE TRITICALE	FERMENTACION HRS.	SSL %	VOLUMEN ESPECIFICO
II	0	0.5	6.21
	1	0.5	5.98
	2	0.5	4.20
	4	0.5	2.97
	4	1.0	3.29
III	0	0.0	5.39
	1	0.0	4.00
	2	0.0	3.00
	0	0.0	6.02
	1	0.5	5.61
	2	0.5	3.72
	4	0.5	3.05
	4	1.0	3.42

* Condiciones de panificación:

Harina de triticales II: absorción de agua 61%, bromato 80 ppm. tiempo de amasado 2.0 min.

Harina de triticales III: Absorción de agua 59%, bromato 70 ppm. tiempo de amasado 1.5 min.

SSL: Estearoil 2 lactilato de sodio.

De todo lo anterior, se concluye por lo tanto, que es necesario crear una tecnología nueva para producir pan aceptable con harina de triticale al 100%, ya que el método convencional no puede ser aplicado. De tal manera se sugiere lo siguiente: ajustar el tiempo de amasado y la absorción de agua, compensar el gluten y agregar agentes oxidantes, además de aplicar un tiempo de fermentación corto que se usa normalmente para el pan elaborado con harina de centeno (16,17,36,42).

2. 3.3 Etapas en la elaboración de pan con harina de triticale.

Existen tres etapas en la elaboración del pan:

I.- Mezclado de la masa de triticale.

II.- Fermentación de la masa de triticale.

III.- Cocido y horneado.

I.- Mezclado de la masa de Triticale.

El mezclado de la masa tiene dos objetivos principales. El primero es el de mezclar todos los ingredientes hasta formar una mezcla homogénea. Esto va acompañado de un efecto físico, en el cual el agua humedece a la harina, azúcar, sal y leche. La masa en este punto es moderadamente cohesiva, bastante húmeda y con grumos. Conforme progresa el mezclado, la asociación de los ingredientes viene a ser mejor, más íntima, así como la harina continúa absorbiendo líquido y la masa se viene a ser más firme.

Este es el inicio del segundo objetivo, que es el desarrollo adecuado del gluten, para alcanzar su grado óptimo de elasticidad. La masa se vuelve más extensible y menos pegajosa. Después de este punto se suaviza y se relaja, pero no se debe abusar del trabajo mecánico ya que se vuelve pegajosa y correosa.

La prueba para ver si una masa está amasada, consiste en tomar una pieza de masa y extenderla con las manos sin que se rompa y se forme una película como celofán.

El tiempo de amasado y absorción de agua son determinados por el farinógrafo y por el mixógrafo en las harinas de cereales en general. Ahmed y Mc. Donald, Chen y Bushuk, encontraron que la prolamina y glutenina constituyentes del gluten de la proteína total en las harinas de triticale, se encuentra en un promedio de 48 a 43%, un valor muy bajo si se compara con el valor de gluten del trigo de 88 a 85%.

Esta diferencia es el factor responsable de los tiempos cortos de amasado y baja absorción de agua en las harinas de triticale. Por lo tanto, los datos obtenidos para las de triticale por el farinógrafo y mixógrafo dan lugar a masa fluidas sin elasticidad, produciendo pan de mala calidad. Para evitar esto, es necesario ajustar el tiempo de amasado y absorción de agua hasta lograr una consistencia aceptable en la masa.

II.- Fermentación de la harina de Triticale.

Se lleva a cabo desde el momento que se saca de la mezcladora y es colocada en una cámara de fermentación. En donde las células de la levadura uniformemente dispersa a través de la masa, desdoblan los carbohidratos produciendo dióxido de carbono. En este tiempo aparecen algunas burbujas en la superficie de la masa, si son muchas y muy pequeñas indican que la masa está sobre mezclada y sin pocas, es que le faltó trabajo. Este tiempo de reposo sirve para que el gluten se recupere y para que la masa que se ha mezclado sea suave y seca (5,8,18,12,35,36).

Después de que la masa ha reposado, pasa a ser dividida cortándose en piezas individuales de tamaño y peso determinado. En este momento, la masa es sometida en un abuso físico. Después de la divisora, pasan a la boleadora cuya su función es distribuir el gas en toda la masa y formar una piel, que le ayuden a retener el gas.

A continuación viene un período intermedio, en donde las piezas van a tener un reposo de 8 a 12 minutos, para que la masa se recupere del castigo mecánico, ya que sin este reposo, la masa se desgarraría y produciría un pan de volumen bajo.

Después del tiempo intermedio las piezas pasan a una modeladora en la que intervienen tres operaciones:

- 1) En donde varios juegos de rodillos, convierten la bola de masa en una tortilla, en este punto, la masa vuelve a perder gas, pero se va a distribuir uniformemente;
- 2) A la tortilla enrollada, se le da una forma cilíndrica;
- 3) Este cilindro pasa por un transportador de presión que sella las costuras hacia abajo, para evitar que se abran durante el período de prueba. Después de que se depositan los cilindros en los moldes, se deja la masa en la cámara de fermentación con el objeto que la masa repose y produzca dióxido de carbono y que el gluten se vuelva elástico y extensible.

Las enzimas principales que toman parte de la fermentación panaria son las que actúan sobre los carbohidratos y son: la alfa y beta amilasa que generalmente se les considera en conjunto como diastasas.

Además de éstas, también actúan sobre la masa un conjunto de 14 enzimas a las que se les conoce como zimasa, así como también la maltasa e invertasa:

Las funciones principales en la fermentación de la masa son:

- Desarrollo del volumen.
- Maduración de la masa.
- Desarrollo del sabor.

- Desarrollo del volumen.

En el desarrollo del volumen, van a existir dos fuerzas: la primera, la producción de gas y la segunda la retención del mismo.

La producción del gas se debe a la transformación del almidón de la harina, en azúcares más sencillos por la acción enzimática. El almidón, es convertido en el disacárido maltosa por la acción de la enzima amilasa: la maltosa se desdobra en glucosa por la acción de la maltasa: la sacarosa presente en la harina se desdobra en glucosa y fructosa, se fermentan convirtiéndose en dióxido de carbono y alcohol, bajo la acción del complejo zimasa.

La alfa y beta amilasa atacan el almidón, en diferente forma, la alfa amilasa ataca las uniones alfa 1:4 (glucosídicas) de la amilosa y amilopectina liberando porciones no reductoras, pero es incapaz de atacar las uniones alfa 1:6 de las cadenas laterales de la molécula de amilopectina. El ataque de esta enzima deja un residuo llamado dextrinas de bajo peso molecular. La beta amilasa puede hacer ésta a partir de la terminación no reductora de la molécula, produciendo la separación de unidades de glucosa cada vez en forma de maltosa, hasta que su acción es bloqueada por la proximidad de otras uniones diferentes a la de 1:4.

En ausencia de alfa - amilasa, la beta amilasa rompe aproximadamente una tercera parte de la amilopectina, dejando un residuo muy resistente de dextrinas de bajo peso molecular conocido con el nombre de dextrinas - límite.

La fermentación se inicia con los azúcares de la harina. El trigo, al tener poca cantidad de alfa - amilasa, presenta pocos azúcares fermentables, pero éstos son importantes para inducir a las enzimas de la levadura al ataque del almidón. En la harina de triticale se tiene mayor cantidad de azúcares fermentables en el inicio de la fermentación por la alta actividad de la alfa - amilasa. Esto genera la transformación de demasiado almidón en sustancias tipo dextrinas que durante la panificación hacen la miga del pan débil y pegajosa (13,18,35,37).

La resistencia del gas en la masa es llevada a cabo por el gluten. El gluten es un complejo proteínico, formado por dos fracciones llamadas gliadina y glutenina. Las gluteninas son las responsables de las propiedades elásticas y cohesivas de la masa. Los esfuerzos mecánicos a los que la masa se sujeta durante el mezclado, induce el intercambio de puentes de hidrógeno y la formación de enlaces disulfuro. El resultado es la formación de una red tridimensional de la proteína, que sirve para atrapar al dióxido de carbono generado por la acción de la levadura.

Durante la fermentación se debe producir una cantidad de gas adecuada pero no excesiva, suficiente para generar una textura suave y un buen volumen de pan. El gluten de triticale generalmente es débil y la producción de éste resulta ineficiente, dejando que el gas se escape. El porcentaje de gluten en la proteína presente en la harina refinada de triticale, se encuentra en un promedio de 48 a 43%, un valor muy bajo si se compara con el valor promedio en la harina de trigo que es de 80 a 85 % (28,34)

- Maduración de la masa.

Las masas están maduras cuando han sufrido una fermentación, y el gluten ha alcanzado su estado de máxima retención de gas. La maduración de la masa de triticale es generalmente más rápida y presenta poca tolerancia, en comparación con el trigo (25,26).

- Desarrollo del sabor.

En el proceso de fermentación se liberan compuestos secundarios como alcoholes, aldehídos, cetonas y ácidos, los cuales contribuyen al sabor, olor del pan. El pan elaborado con harina de triticale presenta características de olor y sabor muy similares a las de un pan de trigo (9,42,55).

III.- Cocido del pan.

Cuando las hogasas se han sometido al período de fermentación y se tiene una altura adecuada en el molde, están listos para hornearse. En los primeros minutos del horneado el calor penetra de la superficie al interior, la transmisión del calor gradual provoca un levantamiento constante en la temperatura de la masa lo que acelera la actividad de la levadura, causando una rápida producción de dióxido de carbono y la expansión de los gases de la masa. La acción enzimática está al máximo, hay una dextrinización rápida de los almidones, formación y modificación del gluten. Después el calor mata a las células de la levadura, destruye a las enzimas, se coagula el gluten y se gelatiniza el almidón, desarrollándose el color y corteza del pan (36,37).

III MATERIALES Y METODOS

3. 1. Materia prima.

Se usó el triticale variedad Caborca procedente de Santa Mónica, Estado de México, sembrado bajo condiciones de temporal.

Se usó también harina de trigo variedad México M-82, como testigo.

3. 1.1 Ingredientes y Reactivos.

Se utilizaron los siguientes productos:

- Suspensión de levadura comercial comprimida.
- Manteca vegetal hidrogenada marca INCA.
- Leche en polvo descremada NIDO.
- Agua destilada.
- Gluten vital.

3. 1.2 Aparatos y Equipo.

a) Además de los aparatos de uso común en el laboratorio, se utilizó el siguiente,

- Alveógrafo de Chopin.
- Amasadora de tiempos combinados y capacidad para 100 gr. de harina.
- Colorímetro de reflectancia Hunter - Lab - D-25 2.
- Gabinete de fermentación.
- Equipo de rodillos moldeadores para pan.
- Horno eléctrico con base rotatoria con resistencia en el fondo y en la parte superior a 225 °C.
- Misceláneos como: espátula, termómetro, moldes, charolas de aluminio.
- Molino Buhler.
- Volúmetro para pan.
- Farinógrafo Brabender.
- Mixógrafo Brabender.
- Computadora HP - 3000.

b) Material de Vidrio.

El material de vidrio fue el de uso común de laboratorio.

3. 2. METODOS

Todas las determinaciones químicas se realizaron por duplicado.

3. 2.1 Análisis Químicos:

- a) Humedad: Se determinó de acuerdo con el método N.º. 44-15 de la Asociación Americana de Química de Cereales AACC. (1).
- b) Proteína: Se determinó el contenido de nitrógeno total por el método Kjeldahl, método 46-10, descrito por la AACC. (1).
- c) Fibra Cruda: Se empleó el método 32-15 de la AACC. (1).
- d) Cenizas: Se empleó el método 08-83 de la AACC. (1).
- e) Grasa Cruda: Se determinó por el método de Soxhlet. (1).
- f) Lisina disponible: La determinación se realizó según la metodología publicada por Villegas en 1982 (54).

En este método se utiliza el compuesto 2 - cloro-3,5 dinitropiridina, que reacciona con el grupo e-amino de la lisina después de haber bloqueado con el cobre los grupos alfa-amino de los aminoácidos y de los péptidos de bajo peso molecular.

El e- dinitropiridil- lisina formado, es soluble en agua e insoluble en acetato de etilo, lo que permite que los demás compuestos formados durante la reacción sean extraídos con este disolvente eliminándose también el exceso del reactivo 2-cloro-3,5 dinitropiridina. La absorbancia de la solución acuosa de e dinitropiridil- lisina se lee a 398 nanómetros.

3. 2.2 Análisis Reológicos.

a) Farinograma:

El farinógrafo es el instrumento más usado en los laboratorios de cereales para determinar la calidad de la harina o gluten. Este es un instrumento de tipo dinámico que prueba las masas.

Esencialmente registra una curva en la cual se mide la plasticidad y movilidad de la masa que se está sometiendo a un mezclado relativamente suave y prolongado a temperatura constante. La resistencia que ofrece la masa, que se prepara a una misma consistencia, al mezclado, se transmite a un dinamómetro que está conectado al registrador. Después se colocan 10 gr. de muestra en base húmeda, se pone a funcionar la mezcladora y se empieza a añadir el agua, hasta tener una masa de consistencia constante.

El farinograma, se traza en papel especial. Las líneas verticales curvas, están espaciadas de modo que la distancia entre una y otra son de 45 segundos. Las líneas horizontales paralelas, cubren un rango de 0 a 100 unidades brabender y cada una cubre o representa 20 unidades, que se usa para indicar la consistencia de la masa, siendo la movilidad el recíproco de la consistencia. Los valores que se obtienen de la curva farinográfica son:

I) Absorción de agua:

Es definida como la cantidad de agua necesaria para controlar la curva del farinograma en la línea de 500 unidades farinográficas (U. F.).

II) Tiempo de amasado (tiempo de llegada).

Es el tiempo en minutos necesarios para que la curva alcance la línea de 500 U. F. después que la mezcladora ha sido conectada y el agua introducida. Es medida para determinar el grado en el cual el agua es absorbida por la harina.

III) Tiempo de resistencia máxima al amasado. (tiempo-pico).

Es el tiempo en minutos desde el inicio de la adición de agua, hasta el desenvolvimiento de la consistencia máxima de la masa o sea, hasta que la curva alcanza la parte alta sobre la línea de 500 U. F.

IV) Estabilidad o resistencia al esfuerzo mecánico.

Es definida como la diferencia en tiempo entre el punto donde el pico de la curva llega a la línea de 500 U. F. (tiempo de llegada) hasta donde el pico de la curva abandona esta línea (tiempo de salida). Este valor en general da una indicación de la tolerancia.

V) Tiempo máximo de amasado (tiempo de salida).

Este es el tiempo desde el minuto próximo a la primera adición de agua, hasta que el pico de la curva deja la línea de estabilidad, cuanto mayor sea el tiempo de salida, más fuerte es la harina.

VI) Tiempo de caída.

Es el tiempo desde el inicio del amasado, hasta la interacción de la línea horizontal trazada 30 unidades abajo de las 500 U. F., con el centro de la curva farinográfica.

Los valores que se obtienen de la curva farinográfica se representa en la figura No. 2

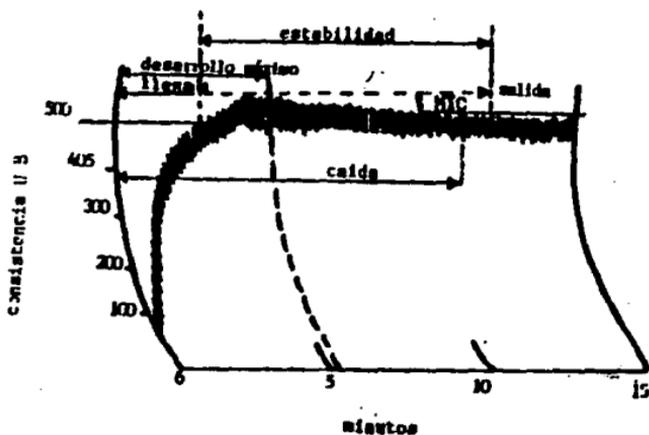


FIG. No. 2 CURVA FARINOGRÁFICA TÍPICA DE LAS HARINAS.

b) Alveograma.

El alveografo consta de tres partes:

- 1) Una amasadora, en donde la harina se mezcla con la cantidad de solución salina necesaria para tener en todos los casos la misma absorción, dándole el mismo mezclado. Una vez obtenida la masa se extrae de la amasadora, se lleva a un espesor menor y constante y se corta en discos o galletas, los cuales se dejan reposar 28 minutos, dentro de una cámara de fermentación a 25 °C.
- 2) El alveografo propiamente dicho, donde al cabo de 28 minutos, cada disco de masa se aplana a un espesor constante sobre una platina cuya base tiene un orificio central obturada por un pivote móvil que es la parte por donde entra el aire inyectado a cierta presión que va a actuar sobre la masa, para extenderla y formar el globo.
- 3) El Manómetro hidráulico marcador. En este se registra el comportamiento que presenta la masa. El aire que se usa para deformar la masa actúa sobre el agua contenida en un recipiente que lleva un flotador unido a la pluma, que descansa en un tambor giratorio, el cual sostiene el papel sobre el que se inscribe la gráfica característica de cada harina. Como se muestra en la Fig. No. 3.

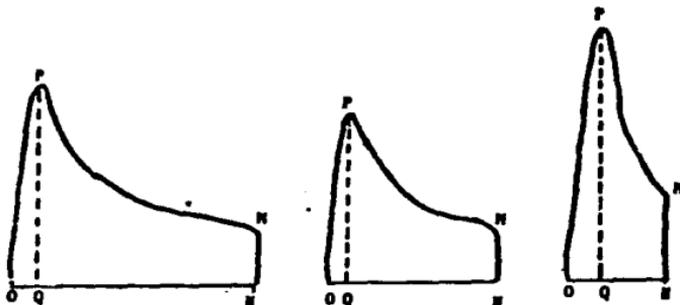


FIG. No. 3 ALVEOGRAMAS TÍPICOS DE LAS HARINAS

La altura de la gráfica es medida en mm. y a dicho valor se le designa con la letra P y presenta la tenacidad de la harina pues es la presión de aire que se necesita para vencer la resistencia de la masa para ser deformada. Entre mayor sea la resistencia, mayor será la presión de aire, mayor será la altura de la gráfica. Una vez que se vence la tenacidad de la masa, éste empieza a extenderse, teniendo cada vez menos espesor, para lo cual se emplea cada vez mayor cantidad de aire que se inyecta y solo el que va sobrando levanta menos la pluma por lo que el trabajo va disminuyendo, hasta el momento en el que la masa se rompe, se escapa el aire, y en este momento la pluma desciende hasta la línea base.

De ahí que la cantidad de aire que se emplea en el ensayo, sea una medida de la extensibilidad de la harina, pues entre mayor sea ésta, mayor cantidad de aire necesitará. El volumen de aire se mide en la cifra denominada G.

Los valores que se miden en el alveograma son los siguientes:

I) Tenacidad.

Se obtiene multiplicando la ordenada de la gráfica, por el coeficiente 1.1 del manómetro. Se representa con la letra P y está evaluando en milímetros de una columna de agua (P).

II) Extensibilidad.

Esta medición corresponde a la base que muestra en el eje horizontal del alveograma medio, evaluando en mm (L).

III) Índice de elasticidad.

Es la relación de la tenacidad P y el índice de expansión que se obtiene de la lectura del nivel de agua en un bulbo de vidrio en el momento de la ruptura de la burbuja de masa. Este valor indica la relación de tenacidad y extensibilidad de la masa.

Se considera que una harina que contenga P/G de cinco, no es tenaz ni extensible, pero cuando crece numéricamente, la tenacidad de la harina se va haciendo cada vez mayor, y en cuanto va decreciendo de cinco, la extensibilidad de la harina aumenta.

IV) Fuerza General.

Índice de trabajo de deformación de un gramo de masa. Se representa con W y sus dimensiones son joules. Se considera que una harina panificable debe tener como mínimo una fuerza general de 200×10^{-4} Joules.

Se calcula en base a la superficie por medio planimetro.:

V) Tipo de gluten.

Con el valor (W) y la relación de tenacidad y extensibilidad se determina en tablas la clasificación correspondiente.

c) Mixograma.

El mixógrafo mide la plasticidad y movilidad de la masa de harina al ser sometida a un amasado continuo, la curva que se obtiene indica el tiempo óptimo y la tolerancia al amasado. El tamaño de la curva también indica la fuerza del gluten en la harina.

En esta prueba, algunos investigadores han utilizado absorciones fijas de agua para harinas de trigo con contenidos de proteína estandar, es decir, 65% de absorción de agua en peso cuando el contenido de proteína en la harina es de 15% (a 14% de humedad), correspondiente a cada incremento o decremento de absorción de 1,8%; este procedimiento proporciona una curva de una misma altura aproximadamente en el pico de la curva.

d) Color.

La determinación de color se efectuó en el Hunter - lab 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, el ser reflejada por el color blanco, así como la descomposición de la luz en los colores rojo, amarillo y verde (35).

Las mediciones de color fueron realizadas en la mitad del pan.

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

$$R = (L^2 + a^2 + b^2)^{1/2}$$

Donde E = color de la superficie
 L = mide las brillantes y varía desde 100 para el blanco y 0 para el negro.
 a = mide el color rojo en la parte (+ a), y el color verde en la parte negativa (- a).
 b = mide el color amarillo en la parte positiva (+ b), y azul en la parte negativa (- b).

Con esta escala es posible presentar los colores de la muestra por la posición de un sistema de coordenadas tridimensionales. Como lo muestra la Fig. No. 4

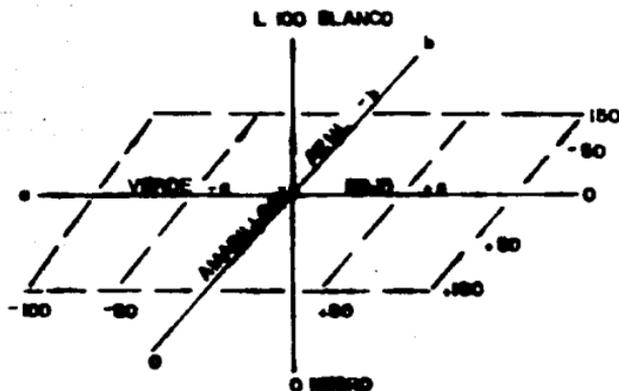


FIG. No. 4 EJE DE COORDENADAS TRIDIMENSIONALES QUE PRESENTAN LA ESCALA DE LA MEDIDA DE COLOR

3. 3 Elaboración de pan.

El método de masa directa se basa en el mezclado conjunto de todos los ingredientes, sometiéndolos posteriormente a una serie de fermentaciones, amasados (fresados), moldeado y horneado, en el cual se fija la estructura de la masa.

Los amasados o fresados, son una serie de movimientos de desdoblamiento que se les da a la masa con el fin de dejar escapar el gas atrapado y redistribuir los azúcares fermentables, para asegurar una acción homogénea de la levadura de toda la masa.

La fermentación se realiza a temperatura y humedad controlada (30 °C y 75 % HR), en un equipo diseñado especialmente para este fin.

En el método de masa directa, la fermentación está intercalada con los amasados y con el moldeo, la que permite dividir el tiempo total de fermentación en cuatro etapas que son:

- 1a. Etapa : tiempo de fermentación al primer fresado.
- 2a. Etapa : tiempo de fermentación al segundo fresado.
- 3a. Etapa : tiempo de fermentación antes de pasar a molde.
- 4a. Etapa : tiempo de fermentación antes del horneado.

El tiempo que transcurre en cada etapa definirá si se está llevando a cabo una fermentación larga (AACC), o una fermentación corta (Peña). Esta última ha sido recomendada por varios autores para cuando se trabaja con harinas de bajo contenido de gluten, como sería el caso de triticale (34).

El moldeado se realiza después del segundo fresado y se lleva a cabo en un juego de rodillos mecánicos giratorios y una prensadora, con la que se forma una lámina de cierto espesor uniforme. Posteriormente, con los mismos rodillos se enrolla la masa dándole forma cilíndrica. Se coloca la masa en el molde previamente engrasado, con el cierre del cilindro hacia abajo y se deja reposar en la cámara de fermentación.

Después se introduce el molde con la masa a un horno con una temperatura de 225 C. Cuando han pasado 25 min. se saca del horno y se deja enfriar para proceder a evaluarlo.

Evaluación de calidad del pan.

La calidad panadera de un material está determinada por varios factores. Estos son: volumen de pan, color de miga, textura de miga y características de costra.

El volumen de pan se determinará con un medidor de volumen basado en el desplazamiento de semilla (colza). El volumen que presenta el pan es directamente proporcional al volumen de semilla desplazado en el equipo. Un pan con volumen mínimo aceptable es aquél que tiene 700 cc o más.

La textura de miga la mide personal capacitado y se compara con un estándar de laboratorio, en el cual los valores de mejor textura son para la miga más cerrada y homogénea, mientras que la calificación más baja es para la más abierta y con mayor número de cavernas.

El siguiente cuadro No. VIII muestra las calificaciones:

CUADRO VIII

EVALUACION DE LA TEXTURA DE MIGA DEL PAN

VALOR	CALIFICACION	OBSERVACION
10	Excelente	Miga cerrada y uniforme.
9	Muy bien	Miga con muy pequeñas cavernas pero homogénea
8	Buena	Miga muy ligeramente abierta.
7	Regular	Miga abierta con mayor número de cavidades.
6	Pobre	Miga abierta.
5	Muy pobre	Miga muy abierta y con cavidades.

El color de miga se mide en un equipo de reflectancia (Hunter - Lab). Los materiales se comparan con un testigo ideal (blanco) y la calificación más alta es para aquél que presenta valores más cercanos a los del testigo.

En este trabajo únicamente se evaluó el volumen del pan elaborado con harina de triticale ya que únicamente interesaba la calidad en este renglón, por ser el parámetro que más ha limitado su aceptación.

3. 4. Análisis Estadístico.

Método de superficie de respuesta (38).

La técnica conocida como superficie de respuesta se desarrolló principalmente en el área de ingeniería química con técnicas de diseños experimentales y de optimización.

Para la metodología de superficie de respuesta las bases son el considerar una variable cuantitativa "Y" denominada la respuesta o bien la variable dependiente de una serie de variables independientes cuantitativas, "X i" y parámetros conocidos θ_k , donde:

$$\begin{aligned} i &= 1 \dots p \\ k &= 1 \dots q \end{aligned}$$

p, q = valores arbitrarios.

Planteando en forma de ecuación lo anteriormente expuesto tenemos:

$$Y = \left(X_1 \dots X_p \theta_1 \dots \theta_q \right) + \text{error.}$$

donde dicha función es:

- Desconocida.
- Desconocida de forma pero no sus parámetros
- Conocido pero muy complicada para manejarla analíticamente.

Con base en éste se considera que la función se puede aproximar satisfactoriamente a modelos sencillos, por lo menos en las regiones experimentales de interés.

Los objetivos de la superficie de respuesta son:

- Encontrar los valores de las X (s) que optimizan (minimizan o maximizan) la respuesta.
- Caracterizar la función (η) en alguna región limitada o de interés.

Como aproximación de la función se usan polinomios de primer, segundo y tercer grado. Los diseños experimentales deben ser tales que permitan estimar los polinomios.

En la metodología de Superficie de Respuesta es frecuente la experimentación secuencial para ir localizando los puntos de operación óptima. Usualmente se inicia con diseños de primer orden y en la cercanía del óptimo se usa un diseño de 2do. orden: rara vez de tercer orden. Esto es por considerar que el óptimo será un máximo o un mínimo absoluto. Si sólo hay 2 variables (X_1, X_2) se puede pensar que la función será una superficie (de aquí deriva el nombre). El punto óptimo de respuesta (Y) se determinara por las coordenadas del pico de una montaña o el más profundo de una fosa. Sin embargo puede ser que no exista un óptimo, esto es que sea un punto silla de montar o cordillera donde no hay un solo punto óptimo. Como se puede apreciar, es muy importante determinar que tipo de función se tiene en cada caso.

Los tipos de superficie de respuesta más comunes son :

- Con una sola variable independiente (Fig. No. 5).
- Con dos variables independientes (Fig. No. 5).

Los óptimos (puntos críticos) normalmente se encuentran en una zona donde la función sigue un modelo de segundo orden por lo que para encontrarlos se aplica dicho modelo.

El modelo es el siguiente:

$$Y_i = \eta_i + \epsilon_i$$

$$\eta_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_j + \sum_{j=1}^k \sum_{m=1}^R \beta_{jm} X_j^m + \sum_{j=1}^k \sum_{j'=1}^k \beta_{jj'} X_j X_{j'}$$

$j < k$

Esta ecuación representa el modelo general a resolver para obtener la superficie de respuesta.

Un conocimiento de la función da un resumen completo de los resultados del experimento y permite predecir las respuestas para los valores de las X que no fueron probadas en el experimento.

Cuando no se conoce el modelo matemático de la función, ésta puede aproximarse satisfactoriamente dentro de la región experimental por el polinomio de variable X.

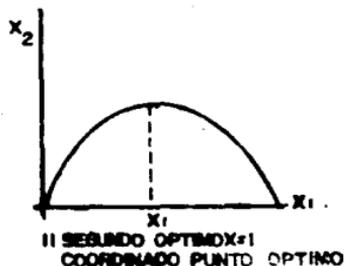
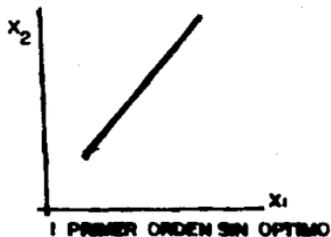
Cualquier predicción a partir del polinomio de respuesta fuera de la región de experimentación debe verificarse con nuevos ensayos antes de confiar en ella.

En la obtención del modelo matemático y de la gráfica de la superficie de respuesta, mediante la resolución del polinomio por el método matricial y análisis de varianza, se reportan dos datos que son de suma importancia.

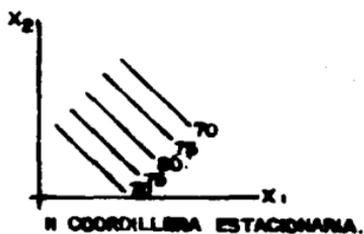
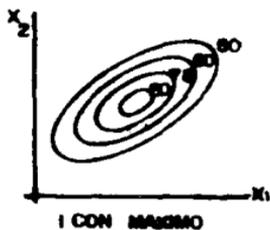
- 1.- Valores propios (λ), los cuales indican la estabilidad del sistema, el tipo de respuesta y el sentido hacia el cual se mueve en forma más rápida la ordenada ó la abscisa de la gráfica. Esta velocidad muestra cual de las variables tienen mayor efecto sobre la respuesta.

Si los valores propios son todos negativos se manifiesta un máximo : si son todos positivos se indica mínimo. Si unos son positivos y otros negativos se trata de un punto silla de montar. El efecto de las variables se muestra según la magnitud de los valores propios determinándose una mayor velocidad en el sentido de la magnitud más grande. La magnitud se muestra cuando los valores propios presentan magnitud sumamente pequeña o cero, infiriendo que no hay un efecto sobre la respuesta o cambio de ésta en función de las variables, por lo que si los óptimos caen fuera del intervalo de exploración la gráfica o modelo son muy representativos.

- 2.- Falta de ajuste del modelo matemático. Mediante el análisis de varianza se determina si los valores de experimentación, las respuestas y el modelo matemático dentro de la zona de trabajo presentan variación significativa, indicando con ésto si se puede confiar en el modelo dentro de la zona de experimentación y al conjugarlo con los valores propios se determina qué tan real o confiable sería una extrapolación.



a) CON UNA VARIABLE



b) CON DOS VARIABLES

Fig. No. 5. SUPERFICIE DE RESPUESTA CON UNA Y DOS VARIABLES INDEPENDIENTES (38).

3. 5. Diseño Experimental.

a) Selección de materia prima.

La materia prima fue seleccionada en función de ser un material con buenas ventajas agronómicas. Es sembrado en algunos estados de la ciudad de México el Triticale Caborca y consumido en productos horneados como: pan, galletas y tortilla.

También se utilizó el trigo México M - 82 como testigo.

b) Proceso de panificación:

El grano de triticale se sometió a un tratamiento de limpieza y acondicionamiento (remojo con agua) durante 24 horas, para seguir con su correspondiente molienda. También se utilizó harina de trigo México M - 82 como testigo.

La fórmula de panificación y el método fue el aplicado para evaluar la calidad panadera de la harina de trigo, en el laboratorio de farinología de INIA (1).

La fórmula y el método de panificación es el siguiente :

Ingredientes	Cantidad
Harina	100 gr.
Levadura compesa (suspensión 12%)	10 ml.
Solución sal' azúcar (1.5 % - 5.0 %)	10 ml.
Grasa Vegetal	3 gr.
Leche en polvo descremada	4 gr.
Agua destilada (óptimo para cada muestra)	ml.

La cantidad de agua y el tiempo de mezclado óptimo será el obtenido del farinografo y del mixiógrafo respectivamente.

El método de panificación fué el de masa directa

Se procedió a evaluar la calidad panadera del triticale con 100% de harina y con porcentajes de gluten de 1 a 5 % en base a la harina de triticale. Los tiempos de fermentación aplicados en el proceso de panificación fueron: tiempos para evaluar harinas de trigo, tiempos largos método AACC. (1), tiempos cortos recomendados por Peña (34).

Para poder observar el efecto de los diferentes tiempos de fermentación sobre el volumen de pan, en este trabajo se decidió dejar como constantes las siguientes variables: cantidad de agua, tiempo de amasado, humedad relativa de la cámara de fermentación, tiempo y temperatura del horneado. La panificación se elaboró por duplicado en todos los ensayos.

c) Pruebas de ensayo exploratorio.

Se realizó una prueba preliminar mediante la cual se seleccionaron los intervalos de fermentación en cada una de las cuatro etapas del proceso de panificación. Se supuso que la zona con mejor respuesta se encontraba entre los tiempos de fermentación larga y los tiempos de fermentación corta. Para crear los niveles de experimentación se tomó el límite superior de los tiempos de fermentación larga y se disminuyó el tiempo en cada etapa en una forma proporcional, hasta acercarse a los tiempos de fermentación corta. De esta manera, en la primera etapa se disminuyó en intervalos de 15 minutos; en la segunda etapa fueron de 5 minutos; en la tercera etapa de 4 minutos y en la última de 4 minutos. Para poder minimizar el número de corridas de panificación y abarcar toda la zona de experimentación, se trabajó con un diseño experimental del tipo central compuesto rotable, con tres repeticiones centrales, disminuyendo de esta forma los ensayos de 64 a 16. La respuesta a evaluar fué el volumen de panificación.

d) Determinación de los niveles más significativos sobre la respuesta.

Los niveles del proceso de panificación propuesto inicialmente fueron evaluados, calificando su efecto sobre el volumen de pan. Con los resultados obtenidos se aplicó el método de pendiente ascendente determinando el punto de inflexión (cambio de comportamiento lineal cuadrático) y el error del modelo matemático (variación entre los valores esperados y los valores de respuesta obtenidos experimentalmente.

e) Selección de niveles más adecuados en el proceso de fermentación.

En función de los resultados obtenidos mediante la aplicación del método de pendiente ascendente, se seleccionarán nuevamente variables independientes y se dejarán constantes las que no ejerzan un efecto grande sobre la respuesta (volumen de pan). Se realizarán los nuevos ensayos con los niveles seleccionados utilizando un diseño

2

factorial 3. Se utilizará nuevamente la superficie de respuesta para evaluar la respuesta (volumen de pan) y además para poder encontrar los tiempos de fermentación más apropiados para lograr un mejor volumen de pan.

IV RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS

4. 1. Materia prima.

1.- Características de la materia prima.

La harina refinada de triticale fue analizada bromatológicamente, con el fin único de caracterizarla en este aspecto. Este se muestra en el cuadro No. IX

CUADRO No. IX

ANALISIS BROMATOLOGICO DEL TRITICALE CABORCA Y TRIGO M - 82

	Triticale Caborca		Trigo M - 82	
	‡	s. b.	‡	s. b.
Humedad	12.00		13.00	
Proteína	9.30		10.00	
Cenizas	0.68		0.60	
Grasa Cruda	0.12		0.13	
Lisina disponible (‡ proteína)	2.80		1.59	

s. b. = base seca.

El triticale presentó una mayor proporción del aminoácido limitante, lisina en comparación con los reportados para el trigo. El porcentaje de proteína de triticale fué semejante a los valores promedios del trigo que se encuentran normalmente a nivel comercial del 10 ‡.

El porcentaje de cenizas para una harina de trigo comercial panadero varia entre 0.55 ‡ - 0.50 ‡. Tomando como referencia este valor, los obtenidos para triticale y trigo fueron altos. Comparando el porcentaje de cenizas del triticale con el trigo, el primero registró un contenido mayor debido a su dureza y estructura del grano.

2.- Evaluación molinera y reológica-panadera de la materia prima

El triticale fue evaluado en cuanto a su calidad molinera y reológica los resultados se muestran en el cuadro No. X. En donde se observa un peso hectolitirico aceptable del 71 Kg/Hl. Tomando como parámetro mínimo aceptable para triticales del 60 Kg/Hl.

El rendimiento harinero a nivel experimental para el triticale Caborca fue del 68 %, este es ligeramente bajo debido al tipo de molino. El rendimiento harinero teórico para esta variedad es del 66.9 % (ver cuadro No. II).

En el análisis de la calidad reológica y panadera, de la harina de triticale, presentó características alveograficas: fuerza general W = 80 X 10⁻⁴ J. y elasticidad de 8.69 que se consideran deficientes para panificar. La calidad panificable del triticale aplicando el método de la AACC. (tiempos de fermentación largos), se obtuvo un pan de bajo volumen, miga cerrada y compacta. Los resultados se muestran en el cuadro No.X

CUADRO No. X

EVALUACION MOLINERA Y REOLOGICA - PANADERA DE TRITICALE

Rendimiento Harinero (%)	68.00
Dureza del grano (%)	67.00
Peso hectolitrico (Kg/Hl)	71.0
Volumen de sedimentación (ml)	28.00
	-4
Fuerza general W (1 x 10 ⁴ J.)	80.00
Relación Tenacidad-Extensibilidad (T/L)	8.69
Tipo de Gluten	Débil- extensible
Volumen de pan (cc)	615.00
Color de la miga	72.70
Textura de la miga	Pobre
Aptitud panadera	Pobre
Tiempo de mezclado óptimo	3.5 min.

De esta información se puede desprender que la utilización de la harina de triticale en panificación, siguiendo el método tradicional (AACC.) aplicado para evaluar la calidad de la harina de trigo, no es recomendable, ya que genera volúmenes bajos de pan y textura pobre. Esto es debido a que el triticale no posee aún características reológicas adecuadas, debido al porcentaje y calidad de gluten y a la actividad de alfa - amilasa que contiene. Sin embargo esta deficiencia para mejorar la calidad panificable de la harina de triticale puede ser subsanada incrementando el porcentaje de gluten o variando los tiempos de fermentación en el proceso de fermentación.

En el cuadro No. XI se muestra el efecto de la adición de diferentes porcentajes del gluten vital, sobre la calidad panadera de triticale utilizando el método de panificación de la AACC.

CUADRO XI

EVALUACION PANADERA DEL TRITICALE COM
PORCENTAJES DE GLUTEN VITAL.

HARINA DE TRITICALE (%)	GLUTEN (%)	VOLUMEN pen (cc)	APTITUD PANADERA	TEXTURA
100	0	615	Pobre	6
99	1	612	Pobre	6
98	2	612	Regular	6
97	3	658	Regular	7
96	4	662	Regular	7
95	5	695	Buena	8

Al incrementar el porcentaje de gluten de 0 a 2 % , se observó que no existe una variación significativa, tanto en volumen de panificación como en textura, ya que existe error en el equipo de 20 a 25 cc. La mejoría se viene observando a partir del 3 % de gluten.

En función de esta información, se decidió analizar el efecto de la variación del tiempo de fermentación sobre la calidad panadera, en triticales y en mezclas de éste, con 5 % de gluten.

La evaluación reológica de triticales 100% y de la mezcla triticales - gluten (95% - 5%) muestra en el cuadro No. XII

CUADRO No. XII

EVALUACION REOLOGICA DE TRITICALE (100 %)
Y TRITICALE GLUTEN (95 % - 5 %)

	TRITICALE (100 %)	TRITICALE - GLUTEN (95 % - 5 %)
Tiempo pico (min)	1.18	1.12
Estabilidad (min)	8.75	1.24
Absorción (%)	54.88	54.58
Cifra Valorimetrica (uv) ^(1*)	38.88	48.88
Tiempo de llegada (min)	1.88	1.88
Rompimiento (min)	1.88	3.88
Fuerza General 1 X 10 J. ^(2**)	88.88	153.24
Tenacidad/ Extensibilidad	8.69	8.57
Tipo de Gluten	Débil- Extensible	Débil- Extensible
Volumen de pan (cc)	651.88	695.88

De la información anterior se puede observar que la adición del 5 % de gluten mejora ligeramente las características reológicas, es decir, incrementa la capacidad de manejo mecánico de la masa (estabilidad, tiempo de partida, fuerza general). Esta variación provoca una mejora en la calidad panadera. Sin embargo, por el tipo de gluten (débil-extensible), las características del pan elaborado con el método tradicional da menor calidad que las que genera una harina de trigo - panadero y la adición de gluten representa un costo adicional en el producto.

(1*) Unidades valorimetricas . Cifra que refleja la fuerza general del gluten, se obtienen del alveograma.

(2**) Relación de tenacidad-Extensibilidad. Cifra que refleja el comportamiento del gluten, se obtienen del alveograma.

4. 2. Determinación de tiempos de fermentación para la elaboración de pan 100% de harina de triticale y su efecto sobre la calidad panadera.

4. 2.1 Ensayo Exploratorio.

Se seleccionaron los niveles de trabajo preliminar en función de los tiempos que requieren el proceso normal AACCC (1) y el de fermentación corta recomendado por Peña (34). Los tiempos que requieren estos dos procesos se muestran en el cuadro No. XIII.

CUADRO No. XIII

TIEMPOS DE FERMENTACION LARGO Y CORTA PARA PANIFICACION

P R O C E S O	* V A R I A B L E S			
	T	T	T	T
	1	2	3	4
Fermentación Larga	88	45	25	55
Fermentación Corta	48	48	25	55

*
T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min)
1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min)
2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes (min)
3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno (min)
4

Para determinar los niveles de experimentación en el ensayo exploratorio se consideró, que a menores tiempos de fermentación se obtendría una mejor calidad panadera, por lo que se decidió experimentar disminuyendo más los tiempos de fermentación larga hasta acercarse a los de fermentación corta. De esta manera se fué disminuyendo el tiempo de fermentación en cada etapa en forma proporcional: en la primera etapa se disminuyó 15 min, en la segunda 5 min, en la tercera 4 min y en la última 4 minutos. Creando así tres niveles de experimentación que se muestran en el cuadro No. XIV.

CUADRO No. XIV

TIEMPOS DE FERMENTACION SELECCIONADOS PARA
EL ENSAYO EXPLORATORIO

N I V E L	* V A R I A B L E S			
	T	T	T	T
	1	2	3	4
1	65	48	22	52
0	58	35	18	48
- 1	35	38	14	44

*

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min)

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min)

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes (min)

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno (min)

4

Debido a que la cantidad de ensayos a manejar utilizando todas las combinaciones posibles de las variables era sumamente grande, se decidió trabajar utilizando un diseño experimental del tipo central compuesto rotatable disminuyendo el número de ensayos de 64 a 16. Los resultados del ensayo de panificación obtenidos de esta prueba se muestra en el cuadro No. XV.

Del los resultados se puede observar que los volúmenes de panificación fueron muy similares entre sí en las diferentes condiciones de trabajo, y sólo una muestra igualó al testigo (muestra No.17). Estos datos se evaluaron mediante regresión lineal con el fin de observar si se ajustaba a este tipo de comportamiento. Los resultados mostraron que los volúmenes de panificación no seguía un comportamiento lineal (alfa = 0.41) sino cuadrático y que podían tener una variabilidad en al respuesta de hasta 38 cc. Con el fin de encontrar el punto de inflexión aplicó el método de pendiente ascendente, el cual nos da las condiciones a las cuales existe un máximo y un mínimo en la respuesta, (volumen de pan) obtenida por la ecuación (teórica) y la experimental, confirmando así el cambio de comportamiento lineal a cuadrático.

La ecuación obtenida por la regresión lineal es la siguiente:

$$Y = 564.52 + 2.9062 T_1 + 0.5323 T_2 + 2.28 T_3 + 0.03 T_4$$

CUADRO No. XV

NIVELES DE ENSAYO Y RESULTADOS DE PANIFICACION
CON TRITICALE 188 *

ENSAYOS	* V A R I A B L E S								VOLUMEN	
	T 1		T 2		T 3		T 4		Ye (cc)	
	COD	REA	COD	REA	COD	REA	COD	REA		
1	(1)	65	(1)	40	(1)	22	(1)	52	535.00	
2	(1)	65	(1)	40	(1)	22	(-1)	44	552.50	
3	(1)	65	(1)	40	(-1)	14	(1)	52	577.00	
4	(1)	65	(1)	40	(-1)	14	(-1)	44	575.00	
5	(1)	65	(-1)	30	(1)	22	(1)	52	590.00	
6	(1)	65	(-1)	30	(1)	22	(-1)	44	567.50	
7	(1)	65	(-1)	30	(-1)	14	(1)	52	575.00	
8	(1)	65	(-1)	30	(-1)	14	(-1)	44	550.00	
9	(-1)	35	(1)	40	(1)	22	(1)	52	551.00	
10	(-1)	35	(1)	40	(1)	22	(-1)	44	550.00	
11	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(1)	52	572.50	
12	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(-1)	44	590.00	
13	(-1)	35	(-1)	30	(1)	22	(1)	52	590.00	
14	(-1)	35	(-1)	30	(1)	22	(-1)	44	545.00	
15	(-1)	35	(-1)	30	(-1)	14	(1)	52	572.00	
16	(-1)	35	(-1)	30	(-1)	14	(-1)	44	505.00	
17	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	617.50	
18	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	532.50	
19	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	577.50	
TESTIGO		80		45		25		55	615.00	

* REA: Variables reales (min)

COD: Variables codificada (min)

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min)

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al molde (min)

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno (min)

4

Ye = Volumen de panificación experimental obtenido bajo condiciones de cada ensayo en cc.

Testigo: Tiempo de fermentación del proceso normal (AACC)
Triticale 188 %.

Los valores estimados por el método de pendiente ascendente se muestran en el cuadro No. XVI. Así mismo se seleccionaron algunos de los niveles del método y se realizaron ensayos de panificación, con el fin de observar el punto de inflexión.

CUADRO XVI

NIVELES Y VALORES PREDICHOS POR EL METODO DE PENDIENTE ASCENDENTE COMPARADO CON LA RESPUESTA EXPERIMENTAL

ENSAYOS	VARIABLES REALES				VOLUMEN	
	T	T	T	T	Yc.	Ye.
	1 (min)	2 (min)	3 (min)	4 (min)	(cc.)	(cc.)
1	58	35	18	48	564	688
2	55	35	17	52	573	-
3	68	66	16	55	582	-
4	65	36	15	68	591	625
5	78	36	14	63	688	-
6	75	37	13	65	689	787
7	80	37	12	78	618	682
8	85	37	11	74	627	-
9	98	37	10	77	636	667
10	95	38	9	81	645	677
11	108	38	8	85	654	-
12	105	38	7	86	663	-
13	110	39	6	92	672	-
14	115	39	5	95	681	618
15	128	39	4	108	698	588
TESTIGO	88	45	25	55	-	615

T : Tiempo de fermentación al primer fresado.

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado.

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes.

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno.

4

Yc : Volumen de panificación calculado.

Ye : Volumen de panificación experimental.

TESTIGO : Triticale 188 *

Analizando los resultados obtenidos aplicando el método de superficie de respuesta se observó que en los primeros ensayos, la respuesta (volumen de pan) experimental y predichos por la ecuación no concuerdan. Sin embargo, en el ensayo No. 6 el volumen experimental es diferente al predicho, teniendo en este punto el valor más alto, superando al testigo. Al seguir incrementando los tiempos de fermentación (ensayos Nos. 14 y 15) se observa una disminución en el volumen de panificación y diferencia con el valor predicho. De esto se puede desprender que la información se ajusta a un modelo cuadrático.

De esto se concluye que el intervalo de inflexión (cambio de comportamiento) corresponde a las condiciones aplicadas a la muestra No. 6.

Considerando que es posible obtener un volumen mayor de panificación que el obtenido en la muestra No.6 y observando el comportamiento de las otras muestras se fijarán las nuevas condiciones de experimentación. Estas se muestran en el cuadro No. XVII.

CUADRO No. XVII

INTERVALO DE VARIACION DE MEJOR RESPUESTA OBTENIDO POR EL METODO DE PENDIENTE ASCENDENTE

TIEMPO DE FERMENTACION VARIABLES REALES	INTERVALOS (min)
T 1	75 - 100
T 2	37 - 38
T 3	13 - 9
T 4	65 - 90

T : Tiempo de fermentación al primer freasado

1

T : Tiempo de fermentación al segundo freasado

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno

4

Con el fin de establecer la zona más apropiada de experimentación se utilizaron los resultados del método de pendiente ascendente (cuadro No. XVI) y se determinó dejar fijas a T_2 y T_3 , ya que presentaron muy poca variabilidad

T_2 T_3

en los intervalos de mayor respuesta.

A T_2 se le asignó un valor de 35 minutos, que es el valor

T_2

promedio del ensayo inicial, (cuadro No. XV) ya que su variación de un punto a otro no pareció afectar en forma definitiva la respuesta.

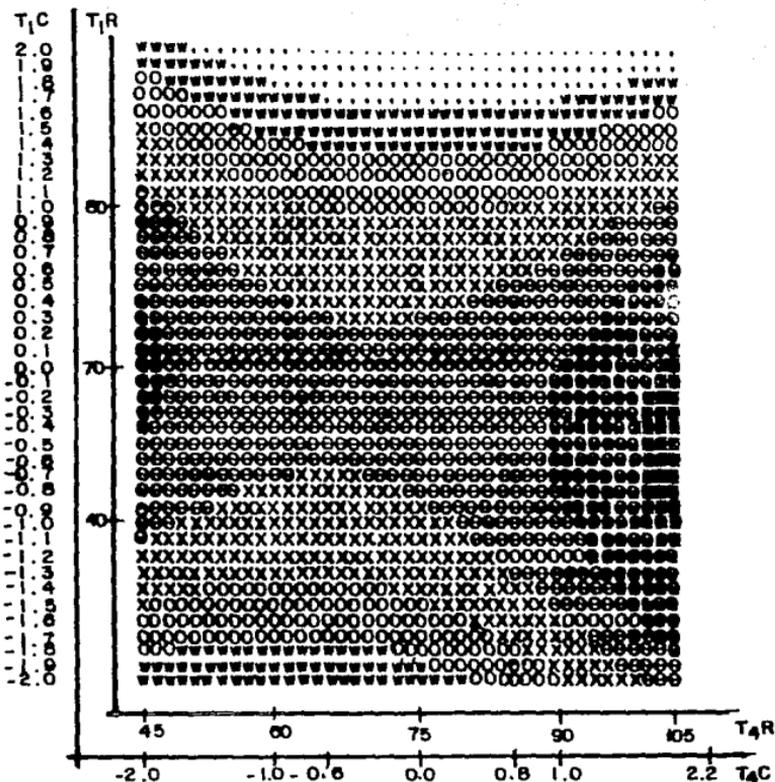
A T_3 se le asignó el valor de 13 minutos, que es el valor

T_3

promedio de los ensayos, por el método de pendiente ascendente.

Para poder asegurar que los valores seleccionados como constantes eran correctos se realizó una superficie de respuesta preliminar la cual se muestra en la Fig. No. 6. Esta gráfica se construyó manteniendo los valores de T_2 , T_3 en 35 y 13 minutos respectivamente.

T_2 T_3



SIMBOLO

VOLUMEN (cc)

T_1C Variable codificada primer tiempo de fermentación.

T_4C Variable codificada cuarto tiempo de fermentación min.

T_1R Variable real primer tiempo de fermentación.

T_4R Variable real cuarto tiempo de fermentación min.

●●	686.06 — 745.06
⊗	746.03 — 781.01
ww	429.17 — 493.14
oo	567.11 — 621.06
xx	567.11 — 621.06
oo	493.14 — 567.11
..	333.21 — 365.20
..	365.20 — 429.17

Fig. No. 6 SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL ENSAYO EXPLORATORIO DE VOLUMENES DE PANIFICACION DE TRITICALE.

Observando la superficie de respuesta Fig. No. 6 se pudo confirmar que los valores óptimos se encuentran incrementando T y en valores intermedios para T .

Considerando que los puntos de inflexión se sitúan entre 70 a 100 min. para T₁ y entre 65 a 90 min. para T₄ se decidió que la nueva zona de experimentación se fijara entre estos valores.

Las niveles seleccionados para la superficie de respuesta final se muestra en el cuadro No. XVIII.

CUADRO No. XVIII

NIVELES SELECCIONADOS PARA LA SUPERFICIE DE RESPUESTA FINAL DE TRITICALE (100 %)

TIEMPOS DE FERMENTACION	VARIABLES CODIFICADAS		
	-1	0	1
T ₁	40	70	100
T ₄	60	75	90

T₁ : Tiempo de fermentación al primer fresado (min)

T₄ : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes (min)

Estos niveles se trabajaron utilizando un diseño factorial 2³ con tres repeticiones centrales. Se realizaron ensayos de panificación para cada nivel. Los resultados se muestran en el cuadro No. XIX.

CUADRO No. XIX

2

CONDICIONES DE ENSAYO DEL FACTORIAL 3
Y RESULTADOS DE PANIFICACION

ENSAYOS	T ₁		T ₄		VOLUMEN Yc (cc.)
	COD	REA	COD	REA	
1	(-1)	40	(-1)	60	597.5
2	(-1)	40	(0)	75	615.0
3	(-1)	40	(1)	90	657.5
4	(0)	70	(-1)	60	640.0
5	(0)	70	(0)	75	630.0
6	(0)	70	(1)	90	687.5
7	(1)	100	(-1)	60	570.0
8	(1)	100	(0)	75	547.0
9	(1)	100	(1)	90	562.5
10	(0)	70	(0)	75	630.0
11	(0)	70	(0)	70	632.5
12	(0)	70	(0)	70	635.0

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).
1

T : Tiempo de Fermentación antes de pasar al horno (min).
4

REA: Variable real (min).

COD: Variable codificada.

Ye: Volumen de panificación experimental en cc.

Los resultados muestran que los mejores volúmenes de panificación resultan de utilizar los tiempos intermedios para T₁ y largos para T₄, mientras que al incremento T₁ los volúmenes tienden a disminuir.

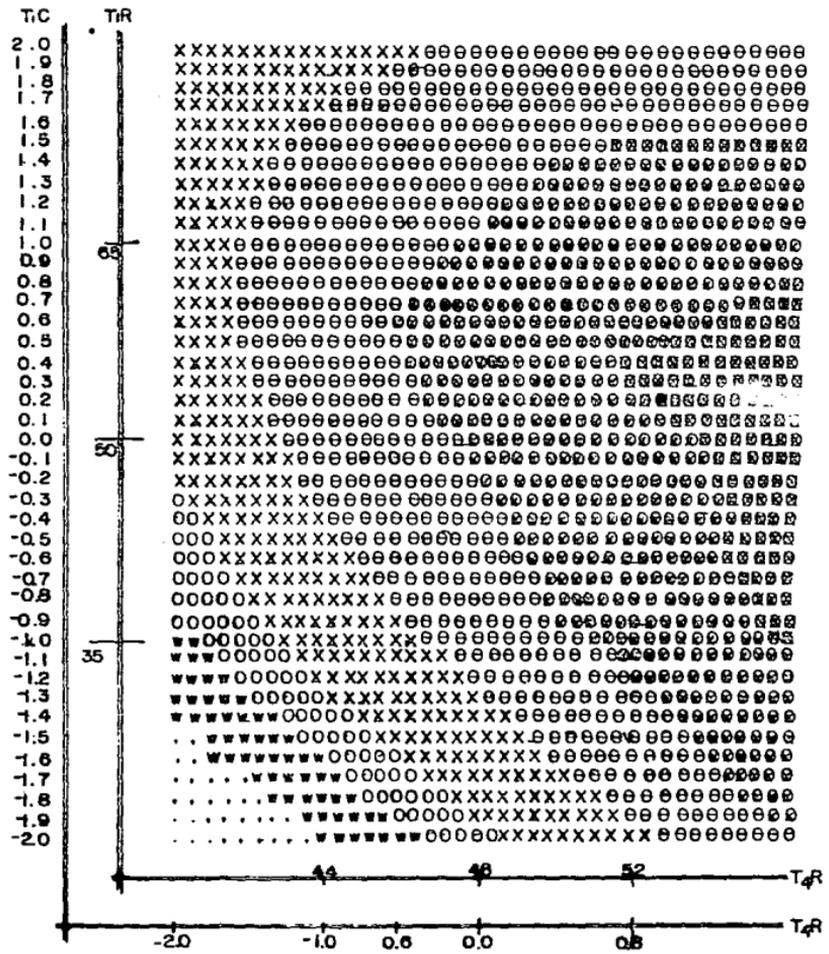
Estos resultados se evaluaron estadísticamente utilizando la metodología de superficie de respuesta.

En este mismo caso la superficie de respuesta (figura No.7) mostró un punto silla. Se observó un comportamiento tanto lineal como cuadrático (alfa=0.0001 para ambos) y efecto significativo para las dos variables, tanto en términos lineales y cuadráticos.

La ecuación general fue:

$$Y = 634.54 - 31.66T_1 + 16.66T_4 - 58.75T_1^2 - 16.87T_1T_4 + 23.75T_4^2$$

La figura No. 7 muestra que los valores más altos de volumen se encuentran en un intervalo de - 1.2 a 8.1 para T₁ y para T₄ mayores a 1 (variables codificadas)



	SÍMBOLO	VOLUMEN	
Tc Variable codificada 1er. tiempo de fermentacion	XX	576.94	590.93
T4R Variable real 1er tiempo de fermentacion mn.	OO	590.93	597.92
T4C Variable codificada 4o. tiempo de fermentacion	WW	521.02	586.00
Tc Variable codificada 4o. tiempo de fermentacion	OO	536.00	594.98
T4R Variable real 4o. tiempo de fermentacion mn.	XX	548.98	502.96
	OO	502.96	576.94
	..	508.05	507.04
	..	507.04	521.02

Fig. No. 7 SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL ENSAYO FINAL
 2
 FACTORIAL 3 DE VOLUMENES DE PANIFICACION
 DE TRITICALE

4. 2.2 Comparación de los valores predichos para la superficie con los valores obtenidos experimentalmente

Utilizando la ecuación que describe la superficie, se evaluó la utilidad de la misma, probando algunas condiciones seleccionadas al azar y comparándolas con los valores esperados. Estos resultados se muestran en el cuadro No. XX.

CUADRO No. XX

COMPARACION DE VOLUMENES DE PANIFICACION EXPERIMENTAL Y CALCULADO

ENSAYOS	T ₁		T ₄		VOL		%
	COD	REA	COD	REA	Yc	Ye	
1	0.66	58	1.33	95	623.6	678	7.44
2	0.88	78	1.88	98	634.5	615	3.88
3	0.88	78	1.33	95	698.7	698	4.18
4	- 0.38	61	1.66	180	738.5	698	5.54
5	- 0.48	58	1.86	91	686.5	698	8.46
6	- 0.48	58	1.88	98	684.9	675	1.38
7	- 0.58	55	1.33	95	711.9	665	6.58
8	- 1.88	48	1.88	98	664.7	657	1.58
9	- 1.88	48	1.33	95	694.4	677	2.45
TESTIGO						615	

REA : Variable real (min)

COD : Variable codificada

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min)

1

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno (min).

4

Y : Volumen de panificación calculado (cc)

c

Y : Volumen de panificación experimental (cc)

e

De la información se puede observar que la ecuación sobrestima los valores. El error promedio fue de 3.62%, por lo que puede considerarse aceptable. Cabe aclarar que el muestreo se realizó fuera de condiciones centrales pero cercanas a la zona de máxima respuesta, con el fin de probar la mejoría de volumen. No se tomó la zona de mayor volumen ya que prácticamente estos valores no son posibles de obtener utilizando únicamente triticale.

Se puede concluir que es posible disminuir la primera etapa de fermentación e incrementar la última para desarrollar mayores volúmenes de panificación. De esta manera se puede proponer la utilización de las siguientes condiciones:

T = 66 minutos
1

T = 35 minutos
2

T = 13 minutos
3

T = 90 minutos
4

4. 3 Determinación de tiempos de fermentación para la elaboración de pan con 95 % de harina de triticale y 5% de gluten vital y su estudio sobre la calidad panadera.

4. 3.1 Ensayo Exploratorio.

Siguiendo la metodología anterior se procedió a probar los mismos niveles aplicados para triticale al 100%, ya que la adición de gluten tan solo va a reforzar la fuerza de la masa, para dar un volumen y una calidad panadera más aceptable.

Las condiciones de prueba y los volúmenes de panificación obtenidos en dichas condiciones se muestran en el cuadro No. XXI. La información mostrada en dicho cuadro está determinada por un diseño central compuesto rotatable, utilizando únicamente los términos lineales.

De la información mostrada en el cuadro No. XXI se puede observar que los volúmenes de panificación son muy semejantes. En los ensayos No. 5 y 7 se obtuvo un mejor volumen de panificación, pero sin embargo con el testigo no existe diferencia significativa.

Estos datos se evaluaron mediante una regresión lineal con el fin de encontrar una ecuación para aplicar el método de pendiente ascendente y determinar la zona de inflexión o punto máximo. Para esto se tomaron los valores de los coeficientes de la ecuación lineal obtenida por la regresión.

La ecuación fue la siguiente:

$$Y = 642.97 + 23.68 T_1 - 3.37 T_2 + 7.23 T_3 + 15.86 T_4$$

CUADRO No. XXI

TIEMPOS INICIALES DE FERMENTACION SELECCIONADOS
PARA LA MEZCLA DE TRITICALE CON 5 % DE GLUTEN

ENSAYOS	* V A R I A B L E S								Ye (cc)
	T ₁		T ₂		T ₃		T ₄		
	COD	REA	COD	REA	COD	REA	COD	REA	
1	(1)	65	(1)	40	(1)	22	(1)	52	680.00
2	(1)	65	(1)	40	(1)	22	(-1)	44	655.00
3	(1)	65	(1)	40	(-1)	14	(1)	52	655.00
4	(1)	65	(1)	40	(-1)	14	(-1)	44	635.00
5	(1)	65	(-1)	30	(1)	22	(1)	52	705.00
6	(1)	65	(-1)	30	(1)	22	(-1)	44	670.00
7	(1)	65	(-1)	30	(-1)	14	(1)	52	710.00
8	(1)	65	(-1)	30	(-1)	14	(-1)	44	656.50
9	(-1)	35	(1)	40	(1)	22	(1)	52	657.50
10	(-1)	35	(1)	40	(1)	22	(-1)	44	680.00
11	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(1)	52	642.50
12	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(-1)	44	625.00
13	(-1)	35	(-1)	30	(1)	22	(1)	52	670.00
14	(-1)	35	(-1)	30	(1)	22	(-1)	44	597.50
15	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(1)	52	572.50
16	(-1)	35	(1)	40	(-1)	14	(-1)	44	617.50
17	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	647.50
18	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	620.50
19	(0)	50	(0)	35	(0)	18	(0)	48	630.00
TESTIGO	-	00	-	40	-	25	-	55	695.00

* T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min).

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes (min).

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno. (min).

4

COD: Variable codificada.

REA: Variable real (min).

Ye: Volumen de panificación experimental en cada ensayo.

TESTIGO : Proceso (AACC).Triticale 5% gluten.

Las condiciones de operación estimadas por el método de pendiente ascendente se muestra en el cuadro No. XXII. Así mismo se seleccionaron algunos de los niveles y se realizaron ensayos de panificación con el fin de comparar los volúmenes de panificación experimental con los obtenidos por la ecuación:

CUADRO No. XXII

NIVELES Y VALORES PREDICHOS POR EL METODO DE PENDIENTE ASCENDENTE COMPARADO CON LA RESPUESTA EXPERIMENTAL

ENSAYOS	VARIABLES			REALES		VOLUMEN	
	T	T	T	T	Yc	Ye	
	1	2	3	4			
1	58	25	18	48	588.8	642.9	
2	55	35	18	49	654.9	718.8	
3	68	34	19	58	666.9	658.8	
4	65	34	19	51	678.9	785.8	
5	78	34	28	52	698.9	688.8	
6	75	34	28	53	782.4	687.8	
7	88	33	21	54	716.4	678.8	
8	85	33	21	55	728.4	-	
9	98	33	21	56	748.4	615.8	
18	95	33	22	57	752.3	688.8	
TESTIGO	68	35	13	98	-	687.8	

* T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min).

2

T : Tiempo de fermentación antes de pasar a moldes (min).

3

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al horno (min).

4

Ye: Volumen de panificación experimental (cc).

Yc: Volumen de panificación calculado (cc).

Testigo: Tiempos de fermentación establecidos para triticale al 188*

Del cuadro anterior se puede observar que todos los ensayos (excepto el ensayo No. 4 y 2) se tuvieron volúmenes de panificación experimental más pequeños que el volumen calculado por la ecuación. Además, el efecto positivo del gluten sobre el volumen del pan no es observado, ya que no hay diferencia significativa con el testigo (triticale al 100%). Por lo anterior, se procedió a buscar una mejor zona de experimentación. Partiendo de que el gluten va a reforzar la fuerza de la masa para dar un mejor volumen y una calidad panadera aceptable, se decidió dejar fijas a las variables

T₂ y T₃, por lo ya experimentado con la harina de triticale al 100%. Los valores que se estimaron para T₂ y T₃ fueron de 35 min. y 13 min. respectivamente.

Para establecer la zona más apropiada de experimentación se utilizaron los resultados del método de pendiente ascendente y los mejores tiempos ya establecidos para triticale al 100%. Se decidió aumentar T₁ de 60 a 80 min., siendo este

rango en donde se obtuvo mejor respuesta por el método de pendiente ascendente para triticale-gluten y a la vez con triticale 100%. Para T₄ se le asignó un rango de trabajo de

80 a 110 min., tomando en cuenta que la mejor respuesta para triticale fue de 90 min. Los rangos seleccionados se

trabajaron utilizando un diseño factorial² con tres

repeticiones centrales. (cuadro No. XXIII).

El efecto de la adición de gluten se observa en los ensayos No. 2 y en el testigo No. 1, que difieren únicamente en el porcentaje de gluten, en el ensayo No. 2 se obtuvo un volumen de 765 cc., mientras que en el testigo No. 1 un volumen de 687 cc., por lo que existe una diferencia en volumen de 78 cc., debida únicamente a la adición de gluten. También se muestra el efecto en los diferentes niveles de experimentación comparado con el volumen del pan que se obtuvo bajo las condiciones de fermentación de estándar. En este caso, se observa que en todos los ensayos, con excepción del tercero, se obtienen mayores volúmenes de panificación, comparado con el testigo No. 2 superando también al testigo No. 1.

Los resultados del diseño factorial fueron evaluados estadísticamente aplicando el método de superficie de respuesta

El análisis de regresión mostró un coeficiente de determinación de 0.7351 observándose principalmente un comportamiento lineal (alfa = 0.0071). El análisis de varianza mostró efecto significativo de las dos variables (alfa = 0.01). La superficie de respuesta obtenida fue en forma de cordillera ascendente, Figura No. 8.

La ecuación general obtenida fue:

$$Y = 760.31 + 20.83 T_1 - 19.50 T_4 - 14.68 T_1^2 + 22.50 T_1 T_4 - 28.45 T_4^2$$

CUADRO No. XXIII

NIVELES SELECCIONADOS PARA LA SUPERFICIE DE RESPUESTA Y RESULTADOS DE PANIFICACION

ENSAYOS	T ₁		T ₄		VOLUMEN Ye (cc)
	COD	REA	COD	REA	
1	(-1)	60	(-1)	70	725.0
2	(-1)	60	(0)	90	765.0
3	(-1)	60	(1)	110	630.0
4	(0)	70	(-1)	70	745.0
5	(0)	70	(0)	90	757.0
6	(0)	70	(1)	110	727.5
7	(1)	80	(-1)	70	755.0
8	(1)	80	(0)	90	737.5
9	(1)	80	(1)	110	762.5
10	(0)	70	(-1)	70	762.5
11	(0)	70	(0)	90	750.0
12	(0)	70	(-1)	110	762.5
TESTIGO No. 1		60		90	687.0
TESTIGO No. 2					695.0

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).
1

T : Tiempo de fermentación antes de pasar al molde (min).
4

COD: Variable codificada.

REA: Variable real (min).

Ye: Volumen de panificación experimental cc.

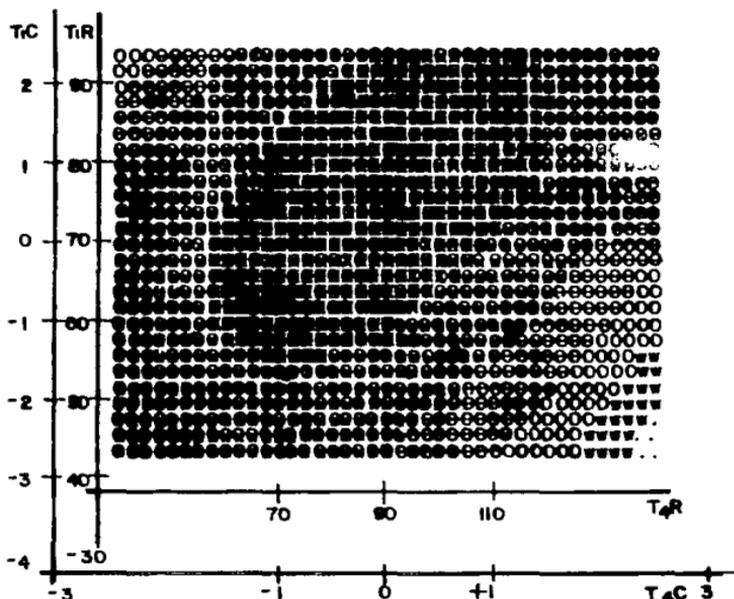
Testigo No. 1: Mejores tiempos para triticale 100%.

Testigo No. 2: Tiempos de fermentación normal, 5% gluten.

La figura No. 8 muestra que la máxima respuesta se encuentra entre los rangos de las variables codificadas de + 8.5 a 8 para T₄C y de 8 para T₄R .

4

1



T ₄ C	Variable codificado	lec. tiempo de fermentacion	SIMBOLO	VOLUMEN (cc):
T ₄ R	Variable real	lec. tiempo de fermentacion mn.	oo	612.22 - 715.97
			ww	715.91 - 787.84
T ₄ C	Variable codificada	4o. tiempo de fermentacion.	..	249.1 - 300.08
T ₄ R	Variable real	4o. tiempo de fermentacion mn.	ww	300.08 - 404.73
			oo	404.73 - 508.48
			oo	508.48 - 612.22

Fig. No.8 SUPERFICIE DE RESPUESTA DEL ENSAYO FINAL
 2
 FACTORIAL 3 DE VOLUMENES DE PANIFICACION
 TRITICALE (95%) CON GLUTEN (5%)

4. 3.2 Comparación de los valores predichos para la superficie con los valores obtenidos experimentalmente.

Utilizando la ecuación que describe la superficie se evaluó la utilidad de la misma, probando algunas condiciones seleccionadas al azar y comparándolos con los valores esperados. Estos resultados se muestran en el cuadro No. XXIV.

CUADRO No. XXIV

COMPARACION DE VOLUMENES DE PANIFICACION
EXPERIMENTALES Y CALCULADOS

ENSAYOS	T ₁		T ₄		VOL Ye	VOL Yc	ERROR %
	COD	REA	COD	REA			
1	3	100	- 1.25	65	585	600	2.5
2	1	80	0.50	100	760	730	4.1
3	0.5	75	0.60	78	763	767	0.5
4	0.5	75	0.00	90	760	780	2.6
5	0.0	70	0.00	90	760	780	2.6
6	- 3.0	40	0.00	90	568	500	2.1

T : Tiempo de fermentación al primer fresado (min).

1

T : Tiempo de fermentación al segundo fresado (min).

4

REA: Variable real (min).

COD: Variable codificada

Ye : Volumen de panificación experimental en cada ensayo (cc)

Yc: Volumen de panificación calculado en cada ensayo (cc).

De la información se puede observar que los volúmenes obtenidos con la ecuación, representan en forma bastante exacta a los experimentales, teniendo un error experimental de 3.8 % aproximadamente. La zona de muestreo fue amplia, ya que se probaron puntos fuera de condiciones centrales o de máxima respuesta. De esta manera, se puede proponer la utilización de las siguientes condiciones:

T = 78 minutos
1

T = 35 minutos
2

T = 13 minutos
3

T = 98 minutos
4

En el cuadro siguiente se muestran los tiempos de fermentación óptimo recomendados para triticale y triticale - gluten.

TIEMPOS OPTIMOS
DE FERMENTACION
TRITICALE
(188 %)

T = 68
1

T = 35
2

T = 13
3

T = 98
4

TIEMPOS OPTIMOS
DE FERMENTACION
TRITICALE - GLUTEN
(95 % - 5 %)

T = 78
1

T = 35
2

T = 13
3

T = 98
4

Los tiempos óptimos de fermentación propuestos para ambos casos fueron semejantes. En el caso de triticale - gluten radica en la primera etapa de fermentación, debido a que puede ser ligeramente más larga.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- Aún no se cuenta con triticales con la calidad molinera y reológica - panadera aceptable para la elaboración de pan, por lo que es necesario variar los métodos de panificación tradicional.
- 2.- El volumen de panificación es una función de los tiempos de fermentación (T_1, T_2, T_3, T_4).
- 3.- Es posible mejorar el volumen de panificación adicionando gluten en una proporción de 5 % en base a la harina de triticale.
- 4.- El método de superficie de respuesta puede utilizarse para evaluar el efecto de diferentes variables sobre la respuesta, elimina variables con poco efecto y delimita la zona de trabajo.
- 5.- En el método de panificación por masa directa, los tiempos intermedios ($T_2 = 45$ min. $T_3 = 25$ min. pueden ser disminuidos, hasta 35 min. y 13 min. respectivamente, sin que afecte la calidad del producto final.
- 6.- Las variables que afectan en mayor proporción al volumen de panificación, siguiendo el método de masa directa, son $T_1 = 88$ min. y $T_4 = 55$ min.
- 7.- Al utilizar gluten en la muestra para panificar, el tiempo inicial de fermentación T_1 se ve ligeramente incrementado de 60 a 98 min. El tiempo final no cambia $T_4 = 98$ min.
- 8.- Los tiempos de fermentación propuestos en este trabajo para triticale 100 %, generan productos con 78 cc más, y para triticale con 5% de gluten se tienen una diferencia a favor de volumen de 145 cc. ambos comparados con el testigo sen las condiciones estándar.
- 9.- Debido a que la textura no se evaluó y los ensayos preliminares mostraron efecto adverso sobre este parámetro será necesario investigar más sobre este punto. Así mismo se recomienda mejorar la calidad mediante el uso de aditivos, y experimentar el efecto de la eliminación de las etapas intermedias de fermentación.

VI BIBLIOGRAFIA

- 1.-American Association of Cereal Chemist methods St. Paul M. N. USA 1962.
- 2.-Andrés, C "Expanded of enzymes for bread baking". Food Procesing 44(11), 60 (1973).
- 3.-Badui, S. "Química de los alimentos". Editorial Alhambra. México. D. F. 1981.
- 4.-Baier, A.C. Luis, J. "Potencial do triticales do Brasil." Pesq Agropecbras, Brasilia. 17 (18), 213 (1981).
- 5.-Baking Science and Techonology. "Bread Production". American Institute of baking. Manhattan, Kansas, U.S.A. 1981.
- 6.-Blohmsa, A.H. "Flour Composition Dough Reology Baking Quality". Science Today 17 (2), 380 (1972).
- 7.-Braverman, J.B. "Introducción a la bioquímica de los alimentos". Editorial el Manual Moderno, México, D.F. 1980.
- 8.-"Bread Score". American Institute of Baking Manhattan, Kansas, U.S.A. 1981.
- 9.-Bushuk, W. Later E.M. "Advances in Cereal Science and Technology". Vol III American Association of Chem. Inc. Paul Minn. 1980.
- 10.-Campbell, A.M. "Food Theory and applications - Straight Dough Process" Capter 12. 649. Edited by John Wiley and Song, Inc. New York, U.S.A.
- 11.-Chang, C.R. and Tsen, C.C. "Characterization and heat stability of Tripsin from rye, triticales and wheat sample". Cereal Chem 58 (3) 211 (1981).
- 12.-Devenport, R. "Baking With Sourdough" Fisher Publising, Inc. Printed in U.S.A. 1981.
- 13.-Debble, W.E. "Continuos Mixing". Baker's 4-5 digest. 55 (4), 12 (1981)
- 14.-Farrel, E.P. and Tsen, C.C. "Milling Triticales Into Flour". Triticales Fisrt Man-Made. Inc. 224, 1974.
- 15.-Hart, F.L. and Fisher, H.J. "Análisis de los alimentos" Editorial Acribia, Zaragoza, España, 1974.

- 16.-Hulse, J.H. and Laing, E.M. "Nutritive value of triticale protein". International Development Research Centre.5- 183. 1974.
- 17.-Jardine, G.J. e Pepe, G. "Comportamento do misturas de trigo e triticale em panificacao". Pesq. Agropec. Bras. Brasilia, 28 (1), 57 (1985).
- 18.-Juneja, K.P. and Kawatra, L.R. "Nutritive value of triticale and the effects of its supplementation to wheat and bengal gram (Cicier Acitirum) Flour". Journal Food Science 45 (1988).
- 19.-Kent-Amos, D.W. and Amos A.J. "Modern Cereal Chemistry" Food Trade Press. Ltd. 1967.
- 20.-Kent, M.L. "Tecnología de los Cereales". Editorial Acribia, Zaragoza, España. 1971.
- 21.- Knipfel, J.E. "Comparative protein quality of triticale, wheat and rye". Cereal Chem 46 (2), 319 (1969).
- 22.-Krishan, C.S. "Comparative nutritive value and amino content of triticale, wheat and rye". Journal Agric. Food Chem. 26 (4), 788 (1978).
- 23.-Lorenz, K. and Revier, F.W. "The mineral composition of triticales and triticale milling fractions by X = Ray fluorescence and atomic absorption". Cereal Chem, 51 (3), 534 (1974).
- 24.-Lorenz, K. "Food uses of Triticale". Food Technology. 68 (1972).
- 25.-Lorenz, K. and Welsh, J. "Comparative mixing and baking properties of fatty acids, carbonils and hydrocarbons". Cereal Chem. 49 (2) 189 (1972).
- 26.-Lorenz, K. and Maga, J. "Triticale and wheat flour studies, composition of fatty acids, carbonils and hydrocarbons". Journal Agric. Food Chem. 28 (2) 769, (1972).
- 27.-Lorenz, K. and Welsh, R. J. "Alfa - amilase and proteasa activity of maturing triticale and its parental species". Cereal Chem. 43 (2) 675 (1981).
- 28.-Lorenz, K. "Triticale a promise new cereal grain for the baking industry". Baker-s Digest. 48 (3), 24 (1974).

- 29.-Matz, A.S. "Tecnología e Ingeniería de la panificación". The avi. Publishing Company, Inc. U.S.A. 1968.
- 30.-Mendez, I. "Metodología de superficie de Respuesta". Monografía Serie azul 3 (33) 1977.
- 31.-Moreno, G.R. "El triticale, un nuevo género botánico". NOTINIA. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. México, D.F. 1985.
- 32.-Moolani, M.S. "Chemical composition and protein of some high - yielding varieties of triticale". Journal Food Science Tche. 14 (3),76 (1977).
- 33.-Nmorka, G. and Okezie, B. O. "Nutritional quality of wingeh bean composite breads". Cereal Chem. 68 (3), 198 (1983).
- 34.-Peña, B.R. 1977. "Evaluación de la calidad Industrial del triticale y algunos usos en la producción de alimentos de consumo humano". Tesis Profesional. C. Química U.N.A.M.
- 35.-Pyler, E.J. "Baking Science and technology". Volumen 11 Siebel Publishing Company. Chicago Illinois. U.S.A. 1979.
- 36.-Pyler, E. J. "Baking Science and Technology". Volumen I Siebel Publishing Company. Chicago Illinois. U.S.A. 1979.
- 37.-Pottert, N.M. "La ciencia de los Alimentos". Edutex. S.A. México, D.F. 1978.
- 38.-Reed, G. "Enzyme supplementation in baking". Baker's Digest, 4 (5). 64 (1967).
- 39.-Rubenthaler, G. and Finney, M: "Effects on loaf volumen and breads Characteristics of alfa amilases from cereal fungal and bacterial sources". Reprinted from Technology 19 (4). 239 (1965).
- 40.-Salfield, J.R. "Prácticas de Ciencia de los Alimentos". Editorial Acribia Zaragoza, España 1977.
- 41.-Schiller, W.C. "Bakery flour specifications"Cereal Foods World. 29 (18). 647 (1984).
- 42.-Sekhon, K.S. "Use of triticale for Breads, cookies and chapati making". Journal Food Science and Technonology. 17 (3). 233 (1988).

- 43.-Shimada, A.S. and Cline, T.S. "Nutritional evaluation of triticale". Journal. Anim. Asci 35, 188 (1972).
- 44.-Singh, B. and Sedeh. "Characteristics of phytase and ist relationship to acid phosphatase and certain minerals in triticale". Cereal Chem 56 (4), 267 (1979).
- 45.-Sing, B. "Amylograph and Farinograph studies on triticale". Baker's Digest, 58 (5), 428 (1976).
- 46.-Spincer, G. and Sceodur, R. "The importance of sourdough yeast for soudough fermentation". Baker's Digest. 53 (2),47 (1979).
- 47.-"Tredesad in Bread production". Cereal Word's. New York U.S.A. (1978).
- 48.-Tsen, C.C. and Hoover, W.J. "Baking quality of triticale flours". Cereal Chem. 58 (4), 16 (1974)
- 49.-Tsen, C.C. "Triticale first man-made". Cereal A.A.C.C. St. Paul Minn. (1972).
- 50.-Tsen, C.C. and Tang, R.T. "K-state process for making high - protein breads soy bread". Bake's Digest 45,26 (1971).
- 51.-Unrau, M.A. and Jenkins, C. B. "Investigations on synthetic cereal especies milling, baking and some compositional characteristics of some triticale and pariental especies". Cereal Chem. 41 (2), 71 (1964).
- 52.-Villegas, E. and Mc. Donold, E.C. "Variability in the lysine conten of wheat rye and triticale proteins". Cereal Chem. 47 (3) 746 (1978).
- 53.-Villegas, E. and Bayer, R. "Mejorameinto de calidad nutricional de triticale". Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y trigo Centro México, boletín 24, (1973).
- 54.-Villegas, E. Y Martz, E.T. "Métodos Químicos usados en CIMMYT para determinar la calidad de proteina de maíz". folleto Núm. 28 México 1978.
- 55.-Walter, A. and Strinfeellow, C. "Triticale for food uses". Journal Agric. Food Chem. 26 (5), 58 (1978).
- 56.-Wolff, A. "Trigo X Centeno Triticale". CIMMYT Hoy. folleto No. 5 El Batán México, D.F. 1976.

- 57.-Zeringue H.J. "Triticale Lipids : Composition and bread - making characteristics of triticale flour". Cereal Chem. 46 (4), 351 (1981).
- 58.-Zillinsky, H.J. "The development of triticale". El Batán México D.F. 1974.
- 59.-Zillinsky, F.J. "Mejoramiento e Investigaciones sobre triticale en CIMMYT". El Batán, México D.F. 1973.