

HARINAS COMPUESTAS DE SORGO-TRIGO PARA PANIFICACIÓN

Juan Carlos Surco Almendras, Juan Antonio Alvarado Kirigin

Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Carrera de Ciencias Químicas, Universidad Mayor de San Andrés, (UMSA) Casilla 303, La Paz- Bolivia.

Keywords: Composite flours, sorghum, wheat, bread, *Triticum aestivum*, *Sorghum Vulgare L. Moench*

ABSTRACT

A wheat-sorghum composite flour products study

RESUMEN

El presente estudio desarrolló un producto de panificación con mezcla de harinas de trigo (*Triticum aestivum*)¹ y sorgo (*Sorghum Vulgare L. Moench*)² para el consumo humano; apropiado para superar el déficit de harina de trigo que se da en Bolivia. Tiene buena calidad nutricional comparable a los productos de panificación con harina de trigo. Por sus propiedades fisicoquímicas y reológicas; su desarrollo y comercialización son una alternativa para el consumidor. Las propiedades de la masa y del producto terminado son aceptables. Se evaluó el color, clasificación y cálculo porcentual, del grano de sorgo producido en el país. Se realizó el análisis proximal del grano y determinó las propiedades fisicoquímicas de la harina de sorgo y el contenido de minerales de las mezclas obtenidas. Se evaluaron minerales y color de los panes elaborados. Los productos elaborados con sorgo tienen una mayor cantidad de minerales. En las harinas compuestas trigo-sorgo el trigo fue sustituido en proporciones de: 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%. Al incrementar la cantidad de sorgo mejoró el valor nutricional en la mayoría de las variables estudiadas. La harina con 10-15% de sorgo presentó buenos valores nutricionales. El contenido de los nutrientes se comparó con los reportados en tablas extranjeras de uso frecuente. Los panes mostraron contenidos (grasa, energía y otros valores) más elevados que los de trigo, excepto en proteína bruta. El estudio de las propiedades reológicas (volumen, farinogramas y extensogramas) de las mezclas determinó las proporciones más adecuadas para panificación.

Corresponding author: jaalvkir@gmail.com

INTRODUCCION

El sorgo es el quinto cereal más utilizado en la alimentación a nivel mundial. Su introducción es relativamente reciente en Bolivia (1976). Presenta grandes posibilidades de utilización como forraje, y como alimento para humanos, lo que ha motivado a elegirlo como objeto de esta investigación. El sorgo (*Sorghum Vulgare L.Moench*) pertenece a la tribu *Andropogonae* de la familia herbácea. El color del grano de sorgo varía desde el blanco a tonalidades oscuras de rojo y pardo. Los colores más comunes son el blanco y el pardo. Los granos, por lo general esféricos, varían en dimensión y forma. El sorgo es especialmente resistente a condiciones áridas y al calor². Las harinas compuestas con trigo y/o cualquier otro cereal para fabricar pan y productos que contienen todos los ingredientes y aditivos dan mezclas estables y sirven para cumplir una determinada función técnica de panificación³. En la medida en que la gama de productos panificados se ha ampliado y el mercado ha demandado nuevas variantes, junto a los productos panificados estándar crece la demanda de mezclas y harinas preparadas, que permiten fabricar este tipo de productos también en condiciones simples. Hay que reconocer a las mezclas y harinas preparadas una importante contribución a nuevos conocimientos científicos en la nutrición para un gran número de fabricantes de productos panificados que puedan ofrecer a los consumidores.

RESULTADOS, DISCUSION

Resultados fisicoquímicos

A continuación presentamos los datos de análisis centesimal de las diferentes variedades de granos de sorgo, harina de trigo – sorgo y mezclas de harinas haciendo variar los porcentajes de sorgo 5-30% para la obtención de panes

comprendidos en la muestra: Humedad, cenizas, grasa cruda, proteínas totales, fibra cruda, hidratos de carbono, valor energético total, minerales, contenido de acidez referido al pH como equivalente de ácido láctico. Los sorgos R y C contienen menos humedad que las otras variedades. El sorgo B 10,52% es el de mayor humedad. La mezcla de variedades de sorgo M 10,87% obtuvo el valor máximo. El contenido de cenizas varía entre 1,63-1,88%. La variedad con mayor contenido de materia inorgánica es el sorgo C, 1,88%. El contenido de grasa varió entre las muestras de sorgo R y B en un rango de 3,38%-3,55%. La mezcla de variedades de sorgo M de 3,79% tiene un contenido alto de grasa con respecto a las demás variedades. La variedad con menor contenido proteico fue el sorgo B 7,40%, la de mayor cantidad de proteína fue el sorgo R 10,13%, la mezcla de variedades M dio 10,42%. El contenido de proteínas es de gran importancia para conocer cual es el empleo más apropiado que se le debe dar a cada una de las variedades. Los glúcidos son el mayor constituyente de los granos de cereales, todas las variedades de sorgo tienen un contenido de glúcidos de entre 74,23%-74,94%. Por otra parte, a mayor cantidad de glúcidos mayor cantidad de almidón -principal reservorio de glúcidos⁵. En las muestras se nota una relación inversa: a mayor contenido de glúcidos menor contenido de proteína (Tabla 1). Las cuatro variedades de sorgo presentan valores energéticos más altos que el grano de trigo. Se observó el menor y mayor valor energético en las variedades R y A respectivamente. El menor contenido de valor energético encontrado en algunas variedades de sorgo ha sido interpretado como un efecto derivado de la acción inhibitoria que tienen los taninos sobre las enzimas de la digestión de los glúcidos del grano de las enzimas. Se puede observar que la acidez de las variedades de sorgo se encuentra dentro de un rango de 0,25-0,30% expresado como ácido láctico, presentando valores de pH débilmente ácido 6,56-6,83. La mezcla de la variedades M presento 0,28%. Los valores obtenidos en los análisis químicos (Tabla 1) se asemejan a los valores señalados por varios investigadores⁶. Las muestras de harina de trigo de 14,04% y la de sorgo de 12,36% presentaron un grado de humedad diferente; hay un aumento sostenido en el grado de hidrólisis. Se observa que la harina de trigo tiene 0,98% de ceniza, y la de sorgo 2,11%. El sorgo presenta mayor cantidad de minerales. El contenido de grasa de la harina de trigo fue de 1,46, del sorgo fue de 4,02%, el sorgo presenta mayor proporción. Se observa la variación porcentual de proteína de la harina de trigo 13,74% y de sorgo 10,42%. El sorgo presenta menor cantidad de proteínas. Se observa un menor contenido de fibra en la harina de trigo - 0,70% que la de sorgo - 2,33%. La fibra cruda indica el contenido de α - y β -glucanos, celulosa, hemicelulosa, pectinas y lignocelulosas². Se refleja un contenido algo mayor de glúcidos en la harina de sorgo 71,01% respecto a la harina de trigo 69,78%, lo cual podría atribuirse a la disminución del contenido porcentual de humedad y proteína del sorgo. Es mayor el contenido de valor energético en la harina de sorgo - 366,87 Kcal, la harina de trigo tiene 352,90 Kcal. El comportamiento de la acidez tiende a ser relativamente estable y uniforme tanto en el tiempo como en las proporciones. De acuerdo al análisis estadístico no se detectaron diferencias significativas, entre la harina de trigo de 0,28% y la de sorgo de 0,30%. Los valores más elevados en las mezclas de harinas al 5% (11,44%) muestran el mayor contenido de humedad y los valores de mezcla de harinas al 30% (10,01%) con menor contenido. Cabe notar que el contenido medio de humedad (12,36%) del sorgo es menor al del trigo de uso domestico e industrial (14,50%)¹, la diferencia, hace apropiado para ser incorporado en la industria de panificación. Respecto a la composición nutricional de las mezclas de harinas, se observa que a medida que el nivel de sustitución con harina de sorgo es mayor, se nota un incremento de casi todos los componentes nutritivos de las harinas, obteniéndose valores elevados de cenizas, grasa (esto resulta satisfactorio, ya que un mayor incremento en el contenido de grasa de la harina puede interferir en la calidad y estabilidad de la misma durante el almacenamiento, provocando la rancidez oxidativa del producto¹), fibra, acidez, carbohidratos (El pan elaborado con la harina de trigo presenta un contenido menor de carbohidratos de 69,01% por su contenido levemente mayor de proteína), valor energético y menor valor de proteínas. La mayoría de los alimentos tienen un color propio característico, cuando el color o apariencia se desvían demasiado de lo esperado, el consumidor lo rechaza. Es importante hacer notar que esta característica predispone a las personas a esperar cierto sabor apropiado, en especial los panes alimento que es ingerido desde la infancia y es de consumo diario prácticamente para una gran mayoría de la población boliviana. Se aprecia que la variedad de sorgo C tuvo mayores contenidos de Na, K, Ca, Mg, Fe, P y Mn, mientras que el sorgo B tuvo contenidos mayores de Cu, Zn y Mn. Los sorgos R, A presentan valores bajos de Na, K, Mg, Fe, Zn, P y Mn, mientras que la variedad M presenta valores elevados de Fe, Cu, P y Mn. Con respecto a la de trigo que presenta valores bajos excepto en Ca, Zn y Mn. La composición mineral de los granos de sorgo es muy variable, más que los factores genéticos, son las condiciones ambientales que predominan en la región de cultivo las que determinan su contenido de minerales. En el grano de sorgo, la materia mineral está distribuida desigualmente y se halla más concentrada en el germen y en el revestimiento de la semilla⁷. Los contenidos de minerales de las harinas de sorgo y trigo, fueron casi similares entre ambos en Cu. La harina de sorgo presentó mayores contenidos de Na, K, Ca, Mg, Fe, Zn, P y Mn que la harina de trigo.



Planta de sorgo. Grano de sorgo según su color: Amarillo, Blanco, Café y Rojo.

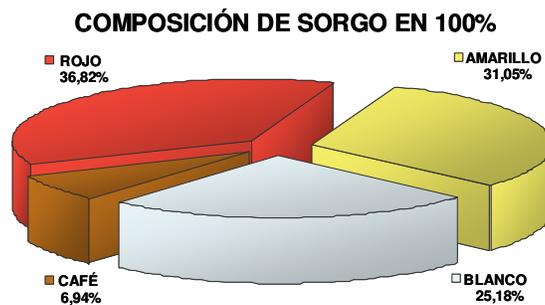


Figura 1. Composición porcentual del sorgo según su color.

Tabla 1. Contenido en muestra seca de los análisis fisicoquímicos de las diferentes muestras de grano de sorgo y trigo¹

Trigo: Khalil et al., 1984; Bloskma y Bushuk, 1988; Weegels et al., 1996; Kieffer et al., 1998⁴.

MUESTRA	HUMEDAD %	CENIZA %	GRASA %	FIBRA CRUDA %	A T / A L %	N T (P T) %	H C %	V E Kcal/100g
A	10,49	1,64	3,42	2,57	0,27	9,51	74,94	374,21
B	10,52	1,63	3,55	1,87	0,26	7,40	76,90	375,21
C	10,38	1,88	3,40	2,61	0,30	10,12	74,23	373,24
R	10,37	1,75	3,38	2,13	0,25	10,13	74,37	373,89
M	10,87	1,89	3,79	2,80	0,28	10,25	73,19	372,98
TRIGO	12,09	1,62	2,00	2,07	0,25	11,64	71,10	348,08

Tabla 2. Contenido en muestra seca de los análisis fisicoquímicos de la harina de sorgo y trigo.

MUESTRA	HUMEDAD %	CENIZA %	GRASA %	FIBRA CRUDA %	A T / A L %	N T (P T) %	H C %	V E Kcal/100g
Hs	12,36	2,11	4,02	2,33	0,30	10,42	71,10	366,87
Ht	14,04	0,98	1,46	0,70	0,28	13,74	69,78	352,9

En la obtención de pan con las mezclas de harinas de 5-30%, el contenido de minerales aumenta a medida que se incrementa los porcentajes de harina de sorgo, con respecto al pan de trigo. La harina de sorgo presenta un mayor contenido de Na, K, Mg, Fe, Zn, P y Mn; los contenidos de Ca y Cu son menores. Siendo Bolivia un país con alto índice de anemia, la mezcla con sorgo favorece el contenido de Fe y otros minerales.

¹ La codificación para todas las tablas se presenta al final de la parte experimental del presente artículo.

Tabla 3. Contenido en muestra seca de los análisis fisicoquímicos de las diferentes muestras de panes.

MUESTRA	HUMEDAD %	CENIZA %	GRASA %	FIBRA CRUDA %	A T / A L %	N T (P T) %	H C %	V E Kcal/100g
Pt	11,73	2,74	2,42	0,91	0,29	14,11	69,01	359,17
Ps-t 5%	11,44	2,80	2,53	1,02	0,32	13,74	69,50	360,63
Ps-t 10%	11,16	2,85	2,63	1,11	0,34	13,36	70,00	362,12
Ps-t 15%	10,87	2,91	2,73	1,26	0,36	12,99	70,51	363,59
Ps-t 20%	10,58	2,96	2,83	1,33	0,38	12,61	71,01	365,07
Ps-t 25%	10,29	3,02	2,93	1,43	0,40	12,25	71,52	366,55
Ps-t 30%	10,01	3,07	3,03	1,57	0,42	11,88	72,02	368,02

Tabla 4. Contenido de iones en base seca de las diferentes muestras de sorgo y de trigo, mg/100 g

Trigo: Khalil et al., 1984; Bloskma y Bushuk, 1988; Weegels et al., 1996; Kieffer et al., 1998⁷.

MUESTRA	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P	Mn
A	716,76	391,55	11,53	150,37	5,15	0,59	2,46	342,75	1,44
B	683,43	398,99	11,56	160,59	6,12	1,04	2,84	350,04	1,85
C	829,57	446,06	31,92	167,65	8,70	0,78	2,80	386,74	1,85
R	719,33	436,43	14,45	164,69	5,62	0,66	2,77	395,14	1,85
M	716,86	379,20	23,57	159,31	10,83	1,29	5,14	596,13	4,00
TRIGO	400,00	410,00	48,00	152,00	4,60	0,60	3,30	347,00	3,80

Tabla 5. Contenido de iones en base seca de la harina de sorgo y trigo, en mg/100 g

MUESTRA	Na	k	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P	Mn
Hs	857,15	544,80	40,82	166,54	13,18	0,64	2,79	399,25	2,15
Ht	445,74	219,36	62,19	63,07	4,26	0,74	1,83	173,95	1,57

En la obtención de pan con las mezclas de harinas de 5-30%, el contenido de minerales aumenta a medida que se incrementa los porcentajes de harina de sorgo, con respecto al pan de trigo. La harina de sorgo presenta un mayor contenido de Na, K, Mg, Fe, Zn, P y Mn; los contenidos de Ca y Cu son menores. Siendo Bolivia un país con alto índice de anemia, la mezcla con sorgo favorece el contenido de Fe y otros minerales.

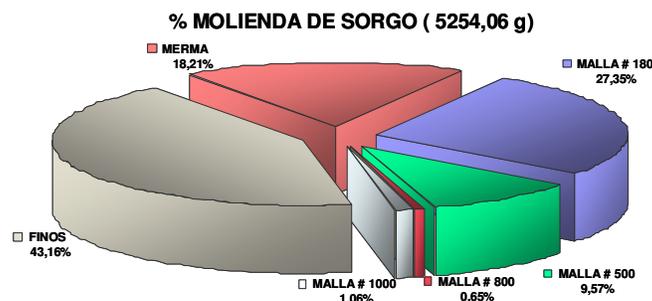


Figura 2. Porcentaje de molienda de sorgo con cantidad de 5254,06 g.

Se presentan los valores de las harinas de sorgo en la molienda⁸, indican la uniformidad de la acción de los cilindros y la distribución de partículas finas, medianas y gruesas respectivamente, permiten establecer la calidad de la materia prima obtenida. La harina de sorgo y la harina de trigo presentan una granulometría similar. Esta similitud es importante, ya que garantiza que las mezclas de harinas de la sustitución a distintos niveles (5-30%) presenten una distribución homogénea de las partículas, lo cual, tomando en cuenta que la harina de sorgo y la harina de trigo se diferencian notablemente en color que determina la uniformidad del producto final a obtener.

Tabla 6. Contenido de iones en base seca de las diferentes muestras de panes, mg/100 g

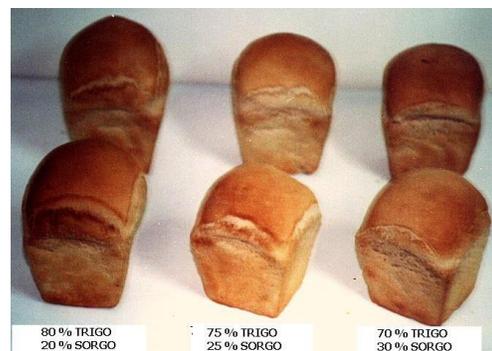
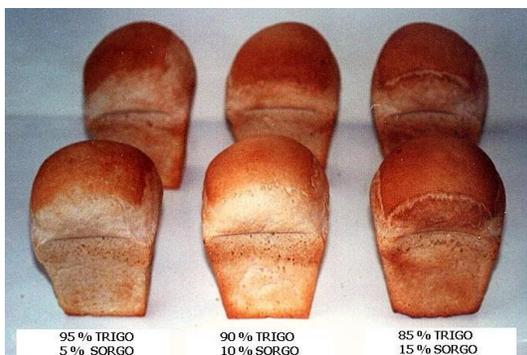
MUESTRA	Na	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	P	Mn
Pt	707,44	307,10	86,18	65,88	7,21	0,94	1,75	174,06	1,39
Ps-t 5%	754,16	324,77	92,22	77,20	8,99	1,02	1,83	188,48	1,75
Ps-t 10%	727,32	344,53	98,79	88,95	10,18	1,10	1,92	203,99	1,83
Ps-t 15%	779,76	364,30	105,36	100,70	11,38	1,19	2,01	219,51	1,91
Ps-t 20%	793,78	384,06	111,93	112,45	12,57	1,27	2,10	235,02	1,99
Ps-t 25%	807,81	403,83	118,50	124,20	13,77	1,36	2,18	250,54	2,08
Ps-t 30%	821,83	423,59	125,07	135,95	14,96	1,44	2,27	266,05	2,16

Proceso de panificación de las mezclas de harinas sorgo-trigo

La formulación del pan blanco industrial local difiere de la mezcla de harinas trigo-sorgo a diferentes porcentajes de 5-30%. En este acápite describimos los resultados obtenidos en las diferentes etapas del proceso de panificación del pan obtenido: amasado y cocción.

Tabla 7. Datos de masa, pan obtenido y pérdida de agua en la cocción.

DATOS DE LA PANIFICACION OBTENIDA							
MUESTRA	MASA 1	MASA 2	MASA TOTAL	PAN 1 a 80 MIN. MAC	PAN 2 a 90 MIN. MAC	PESO T del PAN OBTENIDO	PE de AGUA del PAN
%	g	g	g	g	g	g	%
Ps-t 5%	466,40	465,10	931,50	412,57	411,43	824,00	11,54
Ps-t 10%	476,50	476,50	953,00	409,65	409,65	819,30	14,03
Ps-t 15%	474,60	474,60	949,20	406,85	406,85	813,70	14,28
Ps-t 20%	481,00	481,00	962,00	417,65	417,65	835,30	13,17
Ps-t 25%	462,00	462,00	924,00	401,70	401,70	803,40	13,05
Ps-t 30%	476,30	476,30	952,60	413,95	413,95	827,90	13,09



Panes de las mezclas de porcentajes correspondientes obtenidas por duplicado. Al fondo obtenidos con 80 min y adelante a 90 min de maceración

Los panes con el 10% de adición fueron los más aceptables e incluso podría llegarse a aceptar el 15%, de 20-30% no se obtiene buen resultado. El olor y el sabor picante va incrementándose gradualmente a medida que aumenta el porcentaje de sorgo. La miga es compacta, irregular, porosa con alvéolos pequeños y huecos irregulares. El color gradualmente se va oscureciendo de moreno claro a moreno oscuro, esto se atribuye a los metabolitos secundarios aportados por el sorgo. La corteza en todas las mezclas es normal. La masa del pan, en todos los panes es normal, sólo a partir del 30% de harina de sorgo es diferente.

Tabla 8. Volumen y masa; peso y volumen específico del pan de diferentes porcentajes de mezclas a distintos tiempos de maceración.

MUESTRA	PAN 1 a 80 MIN. MAC	PAN 2 a 90 MIN. MAC	VOL del PA 80 Min MAC	VOL del PA 90 Min MAC	PES EP 80 Min	PES EP 90 Min	VOL EP 80 Min	VOL EP 90 Min
%	g	g	mL	mL	(g/mL)	(g/mL)	(mL/g)	(mL/g)
Ps-t 5%	412,57	411,43	1080	1100	0,30	0,37	2,62	2,67
Ps-t 10%	409,65	409,65	1010	1030	0,41	0,40	2,47	2,51
Ps-t 15%	406,85	406,85	1110	1100	0,37	0,37	2,73	2,70
Ps-t 20%	417,65	417,65	740	750	0,56	0,56	1,77	1,80
Ps-t 25%	401,70	401,70	720	600	0,56	0,67	1,79	1,49
Ps-t 30%	413,95	413,95	1000	990	0,41	0,42	2,42	2,39

Se observa que el volumen del pan se incrementa para las mezclas de 5-15% de mezclas de harina, en las proporciones de 20-25% disminuye. Al mantenerse el contenido de gluten del trigo alto, facilita un mejor desarrollo de los panes, generando un volumen superior frente a las otras proporciones. Al aumentar el tiempo de maceración de 80 a 90 minutos, el volumen de la proporción de 30% disminuye. El peso específico del pan se mantiene constante o experimenta una leve reducción para las mezclas de 5-15% y 30%.

Pruebas reológicas

La influencia de las proporciones trigo-sorgo sobre las características reológicas se estudió utilizando el farinógrafo y el extensógrafo Promilograph, obteniendo los siguientes resultados. Se expresan los porcentajes referidos a la fracción para las mezclas de harinas preparadas para evaluarlas mediante el extensógrafo. Si una muestra tiene una humedad de 14.18 %, se recalcula tomando como referencia el estándar:

$$100 \text{ g} \rightarrow 14\% \text{ (Dato estándar)}$$

$$100 \text{ g} \rightarrow 14\%$$

$$X \rightarrow 14.18\%$$

$$X = 101,29 \text{ g}$$

Tabla 9. Datos de porcentaje de humedad, masa corregida y volumen agregado al extensógrafo y farinógrafo.

DATOS INICIALES ANTES DE INTRODUCIR AL EXTENSÓGRAFO				
MUESTRA	HUMEDAD	HARINA	HARINA	VOLUMEN
SE	HARINA	SORGO-TRIGO	SORGO-TRIGO	AGREGADO AGUA
%	%	g	CORREGIDO g	mL
Ps-t 5%	14,18	100	101,29	59,40
Ps-t 10%	14,26	100	101,86	59,40
Ps-t 15%	14,40	100	102,86	59,90
Ps-t 20%	14,36	100	102,14	59,40
Ps-t 25%	14,34	100	102,43	59,40
Ps-t 30%	14,39	100	102,79	59,40

El aumento significativo de absorción de agua de las mezclas de proporciones de 15 a 20% no se debe en este caso al gluten, el cual permanece casi constante en las dos proporciones, sino al aumento del contenido de los polisacáridos no feculentos, los cuales absorben grandes cantidades de agua. Estos aumentan la viscosidad de la masa y en consecuencia disminuyen su tiempo de desarrollo. A medida que el amasado progresa los polisacáridos no feculentos se van alineando al movimiento de los brazos de la amasadora generando una disminución de estabilidad en función del contenido de polisacáridos no feculentos. Del mismo modo el grado de debilidad de la masa aumenta a medida que aumenta el contenido de polisacáridos no feculentos¹⁵. La harina de sorgo por sus características de tiempo de desarrollo adecuado, estabilidad muy cerca de la normal y tolerancia de mezclado, se puede clasificar como una harina buena para fines de mezcla y para la elaboración de pan. Las proporciones de 10 y 15% de mezcla de harinas

son las mejores y más aceptables, mejorando su índice de tolerancia y en algunos casos su estabilidad; resultando mejor en estas características la harina de sorgo. Se define como harina ideal para panificación, la que tiene buena resistencia a la extensión y gran energía, características que indican una buena estabilidad de las masas durante la fermentación y capacidad para fermentar¹⁵.

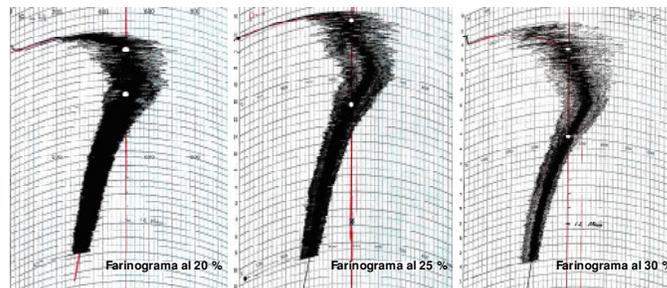


Figura 3. Farinogramas: Medida del tiempo de desarrollo, estabilidad, grado de debilidad, absorción de agua en tiempo de 12 min, Obtenido con las mezclas Ps-t (5 a 30%)

Los índices que normalmente se determinan con el análisis farinográfico son:

Tabla 10. Datos del tiempo de desarrollo, estabilidad, grado de debilidad, absorción

DATOS DE MEDIDA DEL FARINOGRÁFO (Tiempo total 12 min)					
MUESTRA	ABSORCIÓN DE AGUA	TIEMPO DE DESARROLLO	ESTABILIDAD	GRADO DE DEBILIDAD	VOL GAST de AGUA
%	%	Min	Min	UP	mL
Ps-t 5%	60,70	1,50	3,50	165	60,40
Ps-t 10%	60,80	1,25	3,50	135	60,40
Ps-t 15%	62,80	1,00	3,40	185	62,30
Ps-t 20%	62,80	1,35	3,70	178	62,30
Ps-t 25%	61,20	0,80	4,90	150	60,60
Ps-t 30%	61,10	1,80	6,15	130	60,60

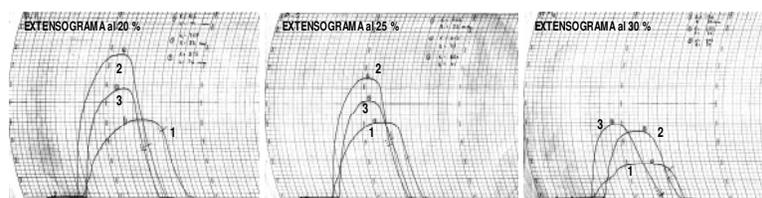


Figura 4. Extensogramas: Medida de resistencia y elasticidad haciendo variar el tiempo en min. Obtenido para las mezclas Ps-t (5 a 30%).

La elasticidad (extensibilidad) fue evaluada en tres tiempos. Es menor conforme se hace mayor el grado de sustitución con harina de sorgo (excepto para 135 min.). Con un nivel de sustitución del 10 y 15%, se presenta la mayor estabilidad frente a la fermentación. Las fermentaciones deben ser cortas para evitar obtener productos finales duros y con textura inadecuada. La relación R/E es grande en las mezclas 20 y 25%, por lo tanto la masa será poco extensible. Las mezclas de 10 y 15% son las más aceptables y mejores en resistencia y elasticidad sin descartar la de 20%. Las masas son mejores si tienen su extensibilidad igual a 1, cuando la resistencia y la extensibilidad tienen el mismo valor¹⁵. Con los incrementos en la resistencia a la extensión y decrementos de la extensibilidad al aumentar el grado de sustitución, se puede establecer que las masas de mezcla se tornan más duras y cortas que la masa de harina de trigo sola, debido principalmente a la reducción de la proporción de gluten¹⁶. La elasticidad de la masa afecta en

forma directamente proporcional al factor de esparcimiento que sufren las masas cuando están en el horno. Una masa con una alta resistencia y buena elasticidad se tornará suave y extremadamente elástica.

Tabla 11. Datos de resistencia, elasticidad y del factor R/E de los diferentes porcentajes de mezclas de harinas haciendo variar el tiempo en min.

RESISTENCIA (unidades Promilográficas)						
Minutos	Ps-t 5%	Ps-t 10%	Ps-t 15%	Ps-t 20%	Ps-t 25%	Ps-t 30%
45	425	458	375	415	405	180
90	565	660	615	765	515	355
135	600	530	655	575	650	390
ELASTICIDAD (milímetros)						
Minutos	Ps-t 5%	Ps-t 10%	Ps-t 15%	Ps-t 20%	Ps-t 25%	Ps-t 30%
45	125	113	109	99	85	85
90	120	104	98	85	78	72
135	92,5	99	90	72	72	74
FACTOR: R(UP)/E(mm)						
Minutos	Ps-t 5%	Ps-t 10%	Ps-t 15%	Ps-t 20%	Ps-t 25%	Ps-t 30%
45	3,4	4,05	3,44	4,19	4,76	2,12
90	4,71	6,35	6,28	9,00	6,6	4,93
135	6,49	5,35	7,28	7,99	9,03	5,27

SECCION EXPERIMENTAL

Determinación de análisis físico¹⁰ y fisicoquímicos¹¹

La clasificación del grano de sorgo se realizó de acuerdo a las normas bolivianas NB 239. Se realizó el análisis proximal de los parámetros: La determinación de humedad de acuerdo a la norma boliviana NB 074. La determinación de cenizas de acuerdo a la norma boliviana NB 075. La determinación de grasa cruda (técnica Soxhlet) siguiendo el procedimiento descrito en la norma boliviana NB 278. La determinación de proteínas totales (técnica Kjeldahl) de acuerdo al procedimiento descrito en la norma boliviana NB 076. La determinación de fibra cruda de acuerdo al procedimiento descrito en la norma boliviana NB 10.7 – 014. La determinación de hidratos de carbono de acuerdo al procedimiento descrito en la norma boliviana NB 668. La determinación de valor energético sigue el procedimiento descrito en la norma boliviana NB 669. La determinación de acidez (ph) sigue el procedimiento descrito en la norma boliviana NB 107. Para cuantificar los minerales¹² de las muestras, se prepararon las soluciones de cenizas de cada color y mezcla de granos de sorgo según Normas Bolivianas para determinar: Na y K según NB 671; Ca y Mg según NB 670; Cu, Zn, Fe y Mn según NB 672. La determinación de P se hizo por el método colorimétrico del ácido fosfomolibdico según NB 667. Molienda de los granos de trigo y sorgo¹³, cumpliendo los requisitos correspondientes a la norma de Bolivia NB 578.

Esquema del proceso de panificación¹⁴

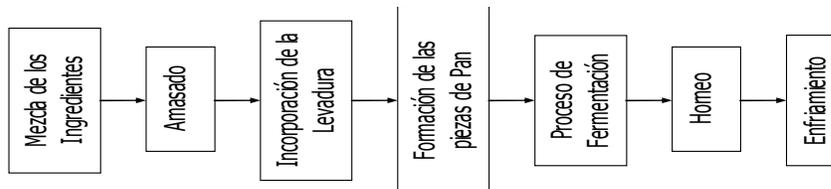


Figura 5. Diagrama del proceso de panificación

Obtención de pan con mezclas de harinas de trigo y sorgo

Para la elaboración del pan se utilizó harina de trigo (gentileza SIMSA) con de harina de sorgo (procesada en forma similar a la harina de trigo en sus molinos). Se elaboraron seis muestras de pan con las siguientes composiciones porcentuales: harina de sorgo: harina de trigo; 5:95, 10:90, 15:85, 20:80, 25:75 y 30:70.

Medida de volumen del pan

Se midió el volumen del pan con un volumenómetro¹⁴, que consta de dos recipientes en forma de cilindro exactamente iguales, con un tubo cilíndrico calibrado en medio; se introduce el pan dentro de uno de los recipientes, luego se da la vuelta y se toma la diferencia por desplazamiento, que viene a ser el volumen del pan.

Pruebas reológicas

Los análisis de farinogramas y extensogramas fueron realizadas en el Laboratorio de Molinera "La Princesa" actualmente SIMSA. El farinógrafo¹⁵ determina la capacidad de absorción del agua en la harina para conseguir una masa de consistencia predeterminada, el tiempo de desarrollo de la masa (la mezcla es homogénea y absorbe el agua), la estabilidad del desarrollo (min) y el grado de debilidad de la masa que mide en UP o en UF en un tiempo total de 12 minutos. Se determinó, en un farinógrafo modelo SEW (PROMILOGRAH, Duisburg, RFA), según el procedimiento de la A.O.A.C. nro. 54-21 (1976). El extensógrafo¹⁶ determina la resistencia, la elasticidad de la masa. El extensógrafo mide en unidades de marca PROMILOGRAPH o en unidades extensográficas. La resistencia de la masa mide la tensión que llega hasta el rompimiento máximo, E fue determinada con un planímetro de trabajo de extensión o área bajo la curva mediante el método 54-10 de la A.O.A.C. (1976).

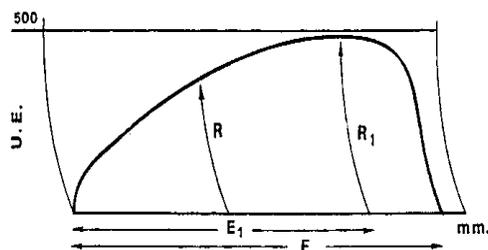


Figura 6. Índices de mayor utilidad medidos en un extensograma.

Donde: R (resistencia) es la altura del extensograma. R_1 es la altura máxima de la curva. E (extensibilidad), indica la longitud de la base desde el comienzo hasta el final del extensograma. E_1 , indica la longitud de la base desde el comienzo de la curva hasta el final del punto correspondiente a la máxima resistencia R_1 . Si la relación R/E es grande la masa será poco extensible.

CONCLUSIONES

La adición de sorgo a los panes elaborados con harina de trigo (5-15%) incrementa los niveles de fibra, cenizas (minerales), grasa, carbohidratos y valor energético y es de alta factibilidad para mejorar el valor nutritivo del producto final. La incorporación de harina de sorgo (5-15%) incrementa significativamente los niveles de Fe, P, Mn, K, Na y Zn, pero reduce los de Ca y Cu. El aporte dado por el sorgo a la mezcla es conveniente para la salud del consumidor, siempre que la dieta tenga lácteos y frutas. La coloración de las harinas compuestas se incrementa a medida que aumenta la proporción de sorgo e influye en el criterio del consumidor acostumbrado al pan blanco.

ABREVIACIONES

A = Sorgo Amarillo, B = Sorgo Blanco, C = Sorgo Café, R = Sorgo Rojo. M = Mezcla de sorgo granos enteros molidos. Hs = Harina de sorgo; Ht = Harina de Trigo, Pt = Pan de trigo. Ps-t_{5%} = Pan de sorgo-trigo con una mezcla: 5% harina de sorgo y 95% de harina de trigo. Ps-t_{10%} = Pan de sorgo-trigo con una mezcla: 10% harina de sorgo y 90% de harina de trigo. Ps-t_{15%} = Pan de sorgo-trigo con una mezcla: 15% harina de sorgo y 85% de harina de trigo. Ps-t_{20%} = Pan de sorgo-trigo con una mezcla: 20% harina de sorgo y 80% de harina de trigo. Ps-t_{25%} = Pan de sorgo-trigo con una mezcla: 25% harina de sorgo y 75% de harina de trigo, Ps-t_{30%} = Pan de sorgo-trigo con una

mezcla: 30% harina de sorgo y 70% de harina de trigo. min. Minuto.Kcal. Kilocalorías.mL. Mililitro. A T / A L. Acidez total/Acido láctico.N T (P T). Nitrógeno Total (proteínas totales).MAC. Maceración.PES T. Peso total.PE. Perdida.VOL. Volumen.PES EP. Peso específico.VOL EP. Volumen específico. VOL GAST. Volumen gastado.

RECONOCIMIENTOS

A PROMASOR, A la Ing. Slavica de Machicado (gerente), al Ing Ricardo Calderón y al Técnico Rodolfo Aguilar de SIMSA.

REFERENCIAS

1. Cortés, M. (2002) *La harina de trigo*. [en línea]. España. [citado el 23 de julio del 2003].<http://www.molineriaypanaderia.com/técnica/harina/hariENG.html>.
2. FAO (1995) *El sorgo y el mijo en la nutrición humana*. Nro. 27.
3. Hegenbart, Jirapa P, Normah H, Zamaliah M, Asmah R, Mohamad K (2003) *Nutritional quality of germinated cowpea flour (universidad de Nebraska) and its application in home prepared powdered weaning foods*. Plant Food Human Nutr. 56: 203-216p.
4. Khalil et al., (1984); Bloskma y Bushuk, (1988); Weegels et al., (1996); Kieffer et al., (1998).
5. FAO: Alimentación y nutrición, nro. 11).
6. Dendy et al., (1992); Hubbard et al., (1950); Jambunathan y Mertz, (1973); Rodríguez, (1982). *El sorgo y el mijo en la nutrición humana* (colección FAO: alimentación y nutrición. No. 27. Roma-Italia.
7. Hubbard, J.; H. Hall y F. Earle, (1950). *Composition of the component parts of sorghum kernels*. Cereal Chem. 27(6): 415- 420p.
8. Rao y Shupaleker (2002) *Las otras harinas y su uso en panificación* [en línea]. España [citado el 23 de julio del 2003] [.http://www.molineriaypanaderia.com/técnica/harina/otrahENG.html](http://www.molineriaypanaderia.com/técnica/harina/otrahENG.html).
9. Serna-Saldívar S R O, (1996). *Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales*. AGT Editor, S.A. México, D.F. 521 p.
10. Norma Boliviana. Cereales – sorgo – clasificación y requisitos. NB 332 – 79, IBNORCA, La Paz-Bolivia.1995
11. Norma Boliviana. Cereales – Métodos fisicoquímicos. Instituto Boliviano de Normalización. La Paz-Bolivia. 1997.
12. Norma Boliviana. Cereales – Métodos para determinar el contenido de minerales. Instituto Boliviano de Normalización. La Paz-Bolivia. 1997.
13. Norma Boliviana. Harina y derivados. NB 578., Dirección general de normas y tecnología, La Paz-Bolivia.
14. Molinera La Princesa. La Paz, Bolivia. Año 2001.
15. Farinógrafo Brabender; manual de instrucciones. Locken, L; Loska, S. y Shuey, W. The farinograph Handbook. 2° Edición. Editado por la American Association of Cereal Chemists. Minnesota, EEUU.
16. IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales). Norma 15856 Método de determinación de la energía de la masa, resistencia a la extensibilidad, extensibilidad y cifra de proporción con el extensógrafo Brabender. IRAM Buenos Aires.