

Valor Nutritivo de Tortillas de Maíz y Sorgo

Sergio Serna-Saldívar y Lloyd W. Rooney¹

Summary: The nutritional value of maize and sorghum processed into tortillas and maize/sorghum tortillas fortified with defatted soybean and/or sesame meals was studied. The first experiment consisted in the evaluation of the effects of lime cooking on nutrient digestibilities of maize, whole sorghum and decorticated sorghum at the terminal ileum and over the total digestive tract of ileum cannulated swine. Maize and decorticated sorghum had a significant ($P < 0.05$) higher dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities than whole sorghum. Decorticated sorghum contained higher values of dry matter and energy digestibilities than maize at both terminal ileum and over the total digestive tract. This was due to the loss of pericarp (fiber) during decortication. Nutrient digestibilities were higher over the total digestive tract than at terminal ileum. Grains cooked with lime had a lower lysine digestibility at terminal ileum than grains cooked in water. Consequently, pigs fed with lime-cooked grains retained less nitrogen than counterparts fed grains cooked in water.

The second experiment was designed to compare the nutritional value of raw grains, nixtamal and tortillas of maize, whole sorghum and decorticated sorghum. Rats on maize diets had a better feed/gain ratios. This was due to the 14% loss of lysine during sorghum decortication. Rats fed diets of nixtamal and tortillas had a significant lower protein digestibility and feed/gain ratio than rats fed raw grains. Nixtamal and tortillas had comparable protein digestibilities and feed/gain ratios.

The third experiment evaluated the effect of extrusion cooking on the nutritional value of maize (75%/decorticated sorghum (25%) tortillas fortified with defatted soybean and/or sesame meals. The 100% decorticated sorghum tortillas had the lowest lysine content, biological value, net protein.

¹ Research Associate and Professor, Cereal Quality Lab., Depto. Soil and Crop Sciences. Texas A&M University, College Station, TX 77843 U.S.A.

RESUMEN

El valor nutritivo de tortillas de maíz y sorgo y tortillas fortificadas con soya y ajonjolí fue estudiado.

El primer experimento consistió en estudiar el efecto del cocimiento alcalino (cal) en la digestibilidad de aminoácidos, proteína, energía y materia seca al final del ileum y en el tracto digestivo de cerdos en crecimiento. El maíz y sorgo decortinado mostraron valores más altos de digestibilidad de aminoácidos, proteína, energía y materia seca que el sorgo entero. Por otra parte, el sorgo decortinado tuvo mayores valores de digestibilidad de energía y materia seca que el maíz tanto al final del ileum como de todo el tracto digestivo. Esto se debió a que el sorgo perdió parte de la fibra (pericarpio) durante el proceso de decortinado. Se observó que la digestibilidad al final del ileum del aminoácido limitante lisina se vio ligeramente disminuida en productos cocidos con cal. Consecuentemente, los cerdos alimentados con granos cocidos con cal retuvieron menos nitrógeno que cerdos alimentados con granos cocidos en agua. La digestibilidad de todos los nutrientes estudiados fue menos al final del ileum que en todo el tracto digestivo dado a que la flora microbiana presente en el intestino grueso degradó parte de los nutrientes.

El segundo experimento se llevó a cabo con ratas en crecimiento y fue diseñado para estudiar y comparar el valor nutritivo del grano crudo, nixtamal y tortillas de maíz, de sorgo y sorgo decortinado. Se concluyó que las ratas alimentadas con productos de maíz tuvieron mejor eficiencia de conversión alimenticia y digirieron más a la proteína que ratas alimentadas con productos de sorgo entero. Las ratas alimentadas con sorgo decortinado digirieron mejor a los nutrientes pero tuvieron las peores eficiencias de conversión alimenticia y digestibilidad de la proteína que ratas alimentadas con grano crudo.

El tercer experimento consistió en la evaluación del efecto del cocimiento por extrusión en la calidad nutritiva de tortillas de maíz/sorgo decortinado fortificadas con soya y ajonjolí. Las tortillas de sorgo decortinado tuvieron los valores más bajos de contenido de lisina, valor biológico, utilización proteica neta y relación de eficiencia proteica. La fortificación de tortillas de maíz (75%)/sorgo decortinado (25%) con 8% de soya mejoró

notablemente el cómputo químico, valores de retención de nitrógeno y de relación de eficiencia proteica. La fortificación con 8% de ajonjolí no mejoró el valor nutritivo de la tortilla de maíz/sorgo decortinado.

INTRODUCCION

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal básico en la alimentación de los pobladores de América Latina. Tradicionalmente, este importante cereal es cocido con cal para la obtención del nixtamal el cual a su vez es la materia prima para la elaboración de tortillas y productos derivados (tamales, atoles, nachos, enchiladas, etc.). Por otra parte, el sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) ha sido tradicionalmente sembrado y utilizado para la alimentación humana en India y Africa y para alimentación animal en Latinoamérica. Sin embargo, reportes recientes indican que sorgos blancos están siendo utilizados para la elaboración de tortillas en Centro América.

INTSORMIL/ICRISAT por medio de sus programas de investigación y difusión del cultivo de sorgo ha logrado introducir este cereal en algunos programas de alimentación humana en América Latina. Esto es debido a que el sorgo tiene alta tolerancia a la sequía y bajo costo. Híbridos de sorgo blanco con buen potencial de producción y calidad nutritiva han sido desarrollados por fitomejoradores en todo el mundo.

Sorgos blancos con endosperma córneo pueden reemplazar parcialmente o totalmente al maíz en producción de tortillas (Choto et al., 1984) y nachos (Serna-Saldívar et al., 1987). Indudablemente que el estudio de la incorporación de sorgo en productos basados en maíz es importante ya que la disponibilidad de otros cereales en países en vías de desarrollo es más baja debido al alto crecimiento demográfico y a la falta de agricultura más tecnificada.

Bressani et al., (1958, 1974, 1979) a través de los años ha realizado extensivos trabajos de investigación donde ha caracterizado la composición química y valor nutritivo de tortillas de maíz y tortillas de maíz fortificadas con suplementos proteicos. Dado a que algunos tipos de sorgos pueden reemplazar parcial o totalmente al maíz en producción de tortillas,

aún queda la incógnita del efecto que tiene su incorporación en el valor nutritivo del maíz.

Por lo tanto, los objetivos de este trabajo fueron: 1) estudiar el efecto del cocimiento alcalino en el valor nutritivo de nixtamal de sorgo y maíz; 2) comparar el valor nutritivo del sorgo y maíz cuando son procesados para producir tortillas; y 3) estudiar el efecto del cocimiento por extrusión en la calidad de tortillas de maíz/sorgo fortificadas con soya/o ajonjolí.

Experimento I

Efecto del Cocimiento Alcalino en la Digestibilidad de Nutrientes de Sorgo y Maíz Utilizando Cerdos con Cánulas en el Ileum.

El objetivo principal de este experimento fue el de determinar el efecto del cocimiento alcalino (cal) en las tasas de digestibilidad (materia seca, energía, proteína y aminoácidos) estimadas al final del intestino delgado y sobre todo el tracto digestivo de cerdos.

Sorgo comercial clasificado como tipo I fue decorticado para remover aproximadamente 10% de su peso (principalmente pericarpio). El sorgo fue procesado por 2 min. en un decorticator de discos abrasivos tipo IDRC (Reichert, 1982). Los otros productos evaluados fueron maíz blanco con endosperma córneo (Asgrow 405W) y el sorgo comercial descrito anteriormente.

El maíz y sorgo entero fueron cocidos con y sin cal por 60 y 35 min., respectivamente, en una olla con camisa de vapor. Ambos granos fueron procesados con una relación agua: grano de 3:1. Los productos procesados con cal fueron cocidos con 1% y 0.8% de cal, respectivamente. En el caso del maíz, el grano se dejó reposar 2 hr. después del cocimiento y posteriormente se lavó para remover el exceso de cal y pericarpio. El sorgo decorticado fue únicamente procesado con cal. Se utilizó una relación agua: grano de 1.5:1 y 0.2% cal. Dicho grano fue cocido únicamente 5 min.

De acuerdo a Dodds (1982) los cerdos tienen el sistema digestivo y fisiología muy similar a los humanos por lo tanto son excelentes modelos para estudios de carácter nutricional.

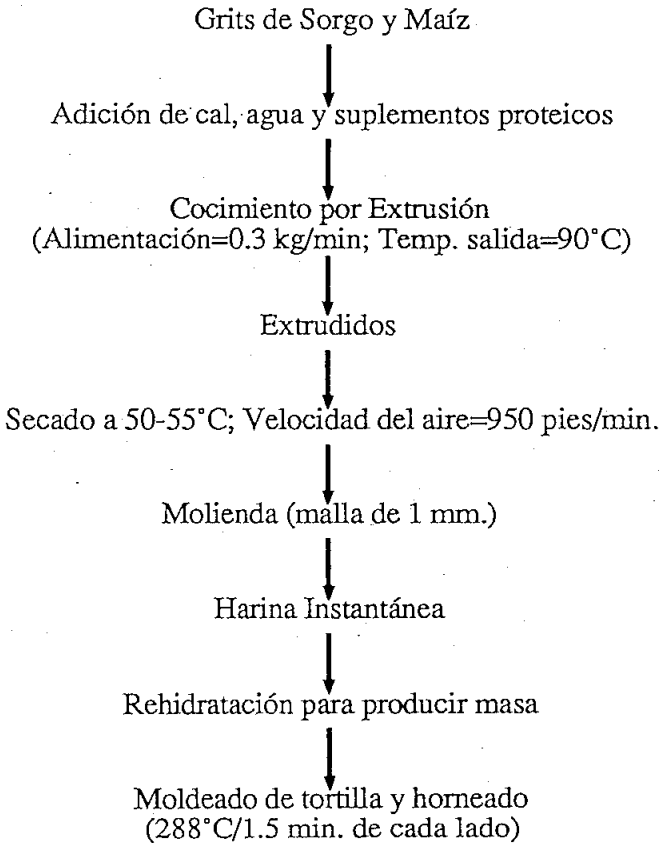


Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención de tortillas de maíz/sorgo fortificadas con soja y/o ajonjolí por medio de extrusión.

Cinco cerdos en crecimiento de aproximadamente 35 kg de peso fueron canulados 15 cm antes de la válvula ileocecal de acuerdo a la técnica quirúrgica propuesta por Horszczauruk et al., (1972). Después de 15 días de convalecencia, los cerdos fueron colocados en jaulas metabólicas diseñadas para coleccionar heces y orina. Las unidades experimentales fueron repartidas al azar

entre los cinco tratamientos. El diseño estadístico escogido fue Cuadro Latino donde cada cerdo recibió por 15 días cada una de las cinco diferentes dietas.

Los distintos granos cocidos fueron secados (55°C) y equilibrados a humedad ambiental. Posteriormente fueron molidos y suplementados con 3.25% de caseína, 1.74% de fosfato defluorinado, 0,35% de premezcla y vitamínica, 0.17% de piedra calcárea, 0.15% de premezcla de minerales y 0.3% de óxido crómico. Este último compuesto sirvió como marcador para la estimación de digestibilidades. Cada período de 15 días empezó con 4 días de adaptación a la dieta. Óxido férrico fue añadido a la ración de las mañanas del quinto y décimo día con el objeto de teñir rojas las heces fecales. La colección total de heces generalmente empezó entre el sexto y séptimo día cuando el cerdo defecó las primeras heces rojas y terminó entre el duodécimo o trigésimo día cuando volvieron a aparecer heces rojas. La orina fue coleccionada desde el quinto hasta el décimo día. La colección de la digesta del ileum empezó a la conclusión de la colección de heces. La digesta del ileum fue muestreada cada 15 min. durante 12 hr/día a través de un total de tres días. Muestras de heces y digesta del ileum fueron liofilizadas y caracterizadas con análisis de humedad, cenizas, proteína, aminoácidos, óxido crómico y energía bruta. Los granos fueron además analizados en su contenido de almidón, susceptibilidad del almidón a ataque con amiloglucosidasa, fibra dietética soluble e insoluble, calcio y extracto etéreo.

Los resultados del análisis de los distintos granos indicaron que el cocimiento con cal no afectó los valores de proteína y de aminoácidos (Tabla 1). Sin embargo, el proceso de decortinado en sorgo hizo que las cantidades de proteína, aminoácidos, cenizas, extracto etéreo y fibra dietética insoluble se vieran reducidas. El contenido del aminoácido esencial lisina se vio disminuido en 14%.

El cocimiento con cal incrementó las cantidades de cenizas y calcio. El contenido de calcio para el maíz y sorgo entero fluctuó entre 0.14 y 0.15% lo cual concuerda con estudios realizados por Bressani, et al, (1958).

Table 1. Composición química del maíz, sorgo y sorgo decortinado cocidos con y sin cal^a

	MAIZ			SORGO ENTERO			SORGO DECORTICADO	
	Grano	Cocido		Grano	Cocido		Grano	Cocido con cal
		sin cal	con cal		sin cal	con cal		
Proteína %	10.5	10.4	10.3	10.6	10.7	10.9	10.0	10.2
Grasa, %	4.9	4.6	4.6	3.0	3.0	2.9	2.5	2.6
Fibra dietética, %								
Insoluble	11.8	10.5	10.5	15.1	14.1	14.0	10.3	10.4
Soluble	0.9	1.3	1.3	1.0	1.2	1.1	1.1	1.2
Almidón, %	74.0	73.6	73.2	77.9	77.1	77.2	81.9	81.0
ESSb	100.7	295.3	272.8	199.8	410.3	399.0	166.1	263.0
Cenizas, %	1.1	1.1	1.5	1.4	1.1	1.5	1.1	1.1
Calcio, %	0.02	0.02	0.15	0.02	0.02	0.14	0.01	0.05
Aminoácidos ^c , %								
<u>Esenciales</u>								
Arginina	0.41	0.41	0.42	0.39	0.39	0.40	0.34	0.34
Histidina	0.21	0.27	0.27	0.22	0.23	0.24	0.21	0.22
Isoleucina	0.33	0.32	0.33	0.40	0.36	0.36	0.35	0.35
Leucina	1.25	1.30	1.28	1.34	1.25	1.28	1.22	1.25
Lisina	0.23	0.23	0.23	0.21	0.21	0.21	0.18	0.18
Metionina	0.19	0.24	0.25	0.18	0.17	0.15	0.18	0.16
Fenilalanina	0.50	0.50	0.48	0.52	0.42	0.43	0.49	0.41
Treonina	0.31	0.31	0.30	0.30	0.29	0.30	0.28	0.27
Valina	0.45	0.46	0.46	0.50	0.48	0.50	0.47	0.46

Table 1. (continuación)

	MAIZ			SORGO ENTERO			SORGO DECORTICADO	
	Grano	Cocido		Grano	Cocido		Grano	Cocido
		sin cal	con cal		sin cal	con cal		
Aminoácidos ^c , %								
<u>No Esenciales</u>								
Alanina	0.70	0.70	0.70	0.83	0.83	0.85	0.81	0.81
Aspártico	0.59	0.55	0.56	0.65	0.56	0.59	0.60	0.56
Glutámico	1.87	1.86	1.86	2.07	1.95	2.01	2.04	1.94
Glicina	0.29	0.29	0.30	0.28	0.28	0.29	0.26	0.25
Prolina	0.81	0.91	0.90	0.84	0.84	0.84	0.73	0.82
Serina	0.41	0.42	0.42	0.40	0.40	0.42	0.38	0.38
Tirosina	0.39	0.43	0.40	0.39	0.40	0.40	0.37	0.38

^aLos valores son expresados en base seca. Cada valor es el promedio de dos o tres observaciones.

^bSusceptibilidad del almidón al ataque con amiloglucosidasa (mg glucosa/g almidón).

^cExpresado en por ciento (peso condensado de aminoácidos).

Tabla 2. Digestibilidad aparente de la materia seca, energía, proteína y aminoácidos al final del ileum y sobre todo el tracto digestivo de cerdos.

Digestibilidad (%)	MAÍZ COCIDO		SORGO ENTERO COCIDO		SORGO DECORTICADO cocido con cal	COMPARACIÓN ^a				
	sin cal	con cal	sin cal	con cal		1	2	3	4	
<u>Digestibilidad al Final de Ileum</u>										
Materia Seca	76.3±1.4	76.3±2.9	76.2±2.1	76.8±1.5	80.9±2.6	NS	NS	**	**	
Energía	77.8±1.2	78.4±2.5	77.0±2.0	78.2±1.5	81.9±2.6	NS	NS	**	**	
Proteína	76.5±3.7	76.8±5.5	66.8±3.5	65.9±4.8	72.2±3.5	**	#	**	NS	
Aminoácidos Esenciales										
Arginina	84.0	81.0	77.4	75.5	78.9					
Histidina	82.7	74.9	74.0	68.0	73.3					
Isoleucina	77.8	75.5	70.0	67.6	77.0					
Leucina	84.8	83.3	71.6	71.6	80.4					
Lisina	76.2	70.2	74.6	71.0	75.5					
Metionina	90.9	88.5	77.7	74.6	83.0					
Fenilalanina	84.2	86.2	74.1	78.4	82.7					
Treonina	72.2	67.3	64.0	62.7	70.3					
Valina	80.2	77.7	72.2	71.6	78.1					

Tabla 2. (continuación).

Digestibilidad (%)	MAÍZ COCIDO		SORGO ENTERO COCIDO		SORGO DECORTICADO	COMPARACIÓN a				
	sin cal	con cal	sin cal	con cal	cocido con cal	1	2	3	4	
<u>Digestibilidad Sobre Todo el Tracto Digestivo</u>										
Materia Seca	91.5±1.2	92.0±1.0	89.8±1.3	90.1±0.9	92.7±0.9	**	NS	**	NS	
Energía	91.6±0.9	92.5±1.0	89.2±1.3	89.7±1.4	93.0±1.0	**	#	**	NS	
Proteína	85.4±2.4	84.6±3.6	77.6±4.5	79.0±5.4	85.8±3.2	**	NS	**	NS	
Aminoácidos Esenciales										
Arginina	89.7	90.8	83.6	87.7	89.0					
Histidina	91.7	92.3	84.5	84.5	89.5					
Isoleucina	84.4	44.3	76.9	79.8	85.8					
Leucina	91.3	91.3	82.9	86.1	98.5					
Lisina	80.3	80.3	74.5	76.0	81.7					
Metionina	87.1	89.3	76.9	80.9	86.7					
Fenilalanina	90.6	91.4	82.4	85.0	91.0					
Treonina	83.3	83.0	74.9	78.9	83.7					
Valina	86.5	87.2	80.2	83.8	87.5					

- a 1=Maíz cocido con y sin sal vs. sorgo entero cocido con y sin cal.
 2=Maíz y sorgo entero cocido con cal vs. maíz y sorgo entero cocido sin cal.
 3=Sorgo decorticado cocido con cal vs. sorgo entero cocido con cal.
 4=Maíz cocido con cal vs. sorgo decorticado cocido con cal.
 #= $P < 0.10$; **= $P < 0.01$; y NS= $P > 0.10$.

El promedio de la digestibilidad de la materia seca y energía para los productos cocidos con cal fue casi idéntica al promedio de los granos cocidos solamente en agua, tanto al final del intestino delgado como del tracto digestivo total del cerdo (Tabla 2). El cocimiento alcalino disminuyó ligeramente los valores de digestibilidad de proteína y lisina al final del ileum. Esta tendencia no se observó cuando se compararon con digestibilidades estimadas en todo el tracto digestivo. Dado a la disminución en las tasas de digestibilidad de la proteína y especialmente de la lisina, los valores de retención de nitrógeno se vieron ligeramente disminuidos (Tabla 3). El cocimiento alcalino disminuye la biodisponibilidad de lisina debido principalmente a la formación de lisinoalanina (DeGroot and Slump (1969), Chu, et al., (1976) y Sanderson, et al (1978),

En comparación con el maíz, el sorgo entero cocido con y sin cal tuvo menores valores de digestibilidad de proteína, materia seca y energía al final del ileum y en todo el tracto digestivo (Tabla 2). La digestibilidad de los aminoácidos del sorgo al final del ileum fue 5-14%, más baja que la de los de maíz. El aminoácido lisina fue digerido solamente 1.6% más en maíz que en sorgo. Consecuentemente, el sorgo mostró valores ligeramente más bajos de retención de nitrógeno que el maíz (Tabla 3). El sorgo decortinado tuvo valores más altos de digestibilidad de materia seca y energía que el sorgo entero y maíz al final del ileum. El sorgo decortinado mostró un valor mayor y similar de digestibilidad de proteína cuando se comparó con sorgo entero y maíz, respectivamente. Las tasas de digestibilidad estimadas sobre todo el tracto digestivo del animal fueron similares para el sorgo entero. Estos datos indican que el proceso de decortinado hace que los valores de digestibilidades del sorgo aumenten y sean comparables con los del maíz. El más bajo contenido de fibra observado en sorgo decortinado es el mayor responsable de las diferencias obtenidas.

En conclusión, la digestibilidad de la proteína al final del ileum y en el tracto digestivo en sorgo cocido con cal fue 91 y 93% de los valores observados para el maíz cocido con cal. El sorgo decortinado tuvo valores de digestibilidades similares al maíz. El cocimiento alcalino disminuyó la digestibilidad de la proteína y lisina al final del ileum. Por lo tanto, cerdos alimentados con granos cocidos con cal retuvieron menos nitrógeno que cerdos alimentados con granos cocidos en agua .

Tabla 3. Balance de nitrógeno y valores de energía digestible y metabolizable de maíz, sorgo y sorgo decortinado.

Digestibilidad (%)	MAÍZ COCIDO		SORGO ENTERO COCIDO		SORGO DECORTINADO cocido con cal	COMPARACIÓN ^a			
	sin cal	con cal	sin cal	con cal		1	2	3	4
Consumido, g/d	36.1±7.8	36.0±7.9	37.9±8.4	38.2±7.9	36.0±7.4	**	NS	**	NS
Heces, g/d	4.8±0.9	5.2±1.2	6.7±1.7	6.8±1.5	4.7±1.0	**	NS	*	NS
Absorbido, g/d	31.3±6.9	30.8±7.	31.2±8.7	31.4±7.2	31.3±6.8	NS	NS	NS	NS
Orina, g/d	14.8±2.2	15.9±3.7	15.0±3.0	16.6±3.9	15.9±3.1	NS	*	NS	NS
Retenido, g/d	16.6±4.9	14.8±4.5	16.2±6.1	14.7±3.6	15.4±4.1	NS	NS	NS	NS
Retenido/Consumido, %	45.8±4.1	41.2±6.6	42.8±7.0	38.6±2.8	42.8±3.1	*	*	NS	NS
Retenido/Aborbido, %	52.9±4.6	48.2±8.2	52.0±5.5	47.0±2.0	49.2±3.8	NS	*	NS	NS
Energía									
Digestible ^b	4132.6±50	4141.9±65	39.60.8±44	39.44.8±40	4031.1±46	**	NS	NS	**
Metabolizable ^b	4027.6±43	4027.6±72	3863.6±32	890.4±425	3931.5±39	**	NS	NS	**

^a 1=Maíz cocido con y sin sal vs. sorgo entero cocido con y sin cal.

2=Maíz y sorgo entero cocido con cal vs. maíz y sorgo entero cocido sin cal.

3=Sorgo decortinado cocido con cal vs. sorgo entero cocido con cal.

4=Maíz cocido con cal vs. sorgo decortinado cocido con cal.

*=P<0.05; **=P<0.01; y NS=P>0.10.

^bExpresado en kcal/kg de materia seca.

Tabla 4. Digestibilidad de la materia seca, energía y proteína de productos derivados de maíz, sorgo y sorgo decorticado.

	MATERIA SECA	ENERGÍA	PROTEÍNA	MATERIA SECA		ENERGÍA		PROTEÍNA	
				P ^Y	G ^Z	P ^Y	G ^Z	P ^Y	G ^Z
<u>Maíz</u>									
Grano	90.3±1.0	91.1±0.9	86.2±2.5	b	b	b	b	a	a
Nixtamal	92.9±0.6	93.8±0.4	79.3±1.7	a	a	a	a	c	b
Tortilla	93.2±0.5	93.8±0.7	81.6±1.2	a					
<u>Sorgo Entero</u>									
Grano	89.8±0.7	90.4±0.4	81.7±1.6	b	b	b	c	a	b
Nixtamal	91.9±0.9	92.4±0.9	77.4±3.0	a	b	a	b	b	c
Tortilla	91.4±0.8	91.8±0.8	76.5±1.3	a	c	a	b	b	c
<u>Sorgo Decorticado</u>									
Grano	94.0±0.9	94.7±0.7	87.0±1.8	a	a	a	a	a	a
Nixtamal	93.5±0.4	94.1±0.3	83.0±1.6	a	a	a	a	b	a
Tortilla	93.7±0.5	94.5±0.3	84.9±1.3	a	a	a	a	b	a
<u>Control</u>	93.1±0.6	94.4±0.6	91.8±0.5						

^YProductos (grano, nixtamal y tortilla) del mismo grano con diferente letra difieren estadísticamente (P<0.05).

^ZEl mismo producto de los tres granos con diferente letra difieren estadísticamente (P<0.05).

Experimento II

Valor nutritivo de Maíz y Sorgo Decorticado y Procesado para Producir Nixtamal y Tortillas

El objetivo del experimento fue el de comparar el valor nutritivo del grano crudo, nixtamal y tortillas de maíz, sorgo y sorgo decorticado. Los granos utilizados y condiciones de cocimiento fueron los mismos descritos en el Experimento I. Para la elaboración de tortillas, el nixtamal fue molido en un molino de piedras de lava. La masa resultante fue formada en tortillas y horneada en un comal por 1.5 min en cada lado a 288°C. Los productos fueron posteriormente secados, equilibrados a humedad ambiente y molidos.

Las nueve dietas experimentales (3 tipos de granos x 3 tipos de productos) fueron suplementadas con 1% caseína, 4% premezcla vitamínica, 1% premezcla mineral y ofrecidas ad libitum a ratas Sprague/Dawley (6 ratas/tratamiento) en crecimiento (peso inicial de 58 g) por 28 días. La dieta control o décimo tratamiento fue formulada a contener 10% de proteína, la cual fue suministrada por caseína. El total de heces fueron coleccionadas durante la segunda y tercera semana del experimento. La digestibilidad de la materia seca, energía y proteína fue calculada después de hacer análisis de la composición de las heces y dietas. La eficiencia de conversión alimenticia fue estimada después de calcular el consumo de alimento y aumento de peso durante los 28 días.

Al igual que en el Experimento I, el cocimiento del maíz o sorgo entero con cal mejoró los valores de digestibilidad de materia seca y energía. El sorgo decorticado mostró los valores más altos de digestibilidad de energía, materia seca y proteína. La pérdida de pericarpio (fibra) durante el cocimiento alcalino o el proceso de decorticado hizo que los nutrientes fueran más fácilmente digeridos. De acuerdo a Ikeda y Kusano (1983), los componentes de la fibra inhiben a enzimas digestivas como tripsina, quimotripsina y amilasas disminuyendo tasas de digestibilidad.

El efecto del cocimiento alcalino o de producción de tortillas disminuyó ligeramente los valores de digestibilidad de proteína

en los tres granos estudiados. La depresión en digestibilidad fue mayor para el maíz seguido por sorgo entero y sorgo decortinado (Tabla 4). Esto indica que a mayor tiempo de cocimiento alcalino hubo una mayor depresión en la digestibilidad de la proteína.

La digestibilidad de la proteína, energía y materia seca del nixtamal y tortillas fue muy similar. Esto indica que el horneado de las tortillas no fue detrimental en valores de digestibilidad (Tabla 4).

La eficiencia de conversión alimenticia fue mejor para ratas alimentadas con maíz, seguida por ratas alimentadas con sorgo entero y sorgo decortinado. Esto ocurrió debido a que el sorgo entero mostró valores bajos de digestibilidad que el maíz. El sorgo decortinado, a pesar de sus altas tasas de digestibilidad, mostró los peores valores de conversión alimenticia dado a que perdió 14% de la lisina durante el proceso de decortinado (Tabla 5).

Ratas alimentadas con nixtamal o tortillas de maíz crecieron menos y tuvieron menores eficiencias de conversión alimenticias que ratas alimentadas con grano crudo (Tabla 5). La ligera depresión en la digestibilidad de proteína y la probable formación de lisinoalanina fueron los factores responsables de dichas diferencias. Ratas alimentadas con nixtamal y/o tortillas de sorgo entero y decortinado mostraron similares eficiencias de conversión alimenticias que ratas alimentadas con granos crudos. Por lo tanto, los productos de sorgo no se vieron tan afectados por el cocimiento alcalino como los productos de maíz.

Experimento III

Evaluación de la Calidad Nutritiva de Tortillas de Maíz/Sorgo Decortinado Fortificadas con Soya y Ajonjolí y Producidas por Extrusión

El objetivo de este experimento fue el de evaluar y comparar la calidad proteica-nutricional de tortillas de maíz y sorgo decortinado fortificadas con soya y/o ajonjolí.

Tabla 5. Eficiencia de conversión alimenticia de ratas en crecimiento alimentadas con productos de maíz, sorgo y sorgo decorticado.

	GANANCIA DE PESO			CONSUMO DE ALIMENTO			CONSUMO DE ALIMENTO		
	(g/día)	PY	G ^Z	(g/día)	PY	G ^Z	(g/día)	PY	G ^Z
<u>Maíz</u>									
Grano	1.87±0.3	a	a	9.66±1.3	a	a	5.17±0.4	b	b
Nixtamal	1.45±0.2	b	a	8.46±0.7	b	b	5.83±0.5	ab	b
Tortilla	1.47±0.3	b	a	8.92±1.5	ab	a	6.11±0.6	b	b
<u>Sorgo Entero</u>									
Grano	1.43±0.2	ab	b	8.37±0.6	b	b	5.85±0.4	a	b
Nixtamal	1.59±0.1	a	a	9.54±0.7	a	a	6.02±0.6	a	b
Tortilla	1.27±0.2	b	a	8.06±1.0	b	b	6.33±0.6	a	b
<u>Sorgo Decorticado</u>									
Grano	1.11±0.2	c	c	8.47±1.1	a	b	7.66±1.0	a	a
Nixtamal	1.15±0.2	a	b	8.60±1.4	a	b	7.51±0.6	a	a
Tortilla	1.25±0.3	a	a	9.03±1.4	a	a	7.34±0.8	a	a
<u>Control</u>	1.64±0.2			7.32±0.7			4.48±0.3		

^YProductos (grano, nixtamal y tortilla) del mismo grano con diferente letra difieren estadísticamente (P<0.05).

^ZEl mismo producto de los tres granos con diferente letra difiere estadísticamente (P<0.05).

El sorgo utilizado fue decorticado para remover aproximadamente el 16% de su peso. El estudio nutricional se hizo en tres grupos de tratamientos. El primer grupo consistió en los granos crudos: 1) maíz y 2) sorgo decorticado. El segundo grupo incluyó a tortillas no fortificadas: 3) tortilla de maíz, 4) tortilla de sorgo decorticado y 5) tortilla con 75% de maíz/25% sorgo decorticado. Esta última tortilla tuvo características similares a la tortilla de maíz. El último grupo fue diseñado para estudiar el efecto de la fortificación de tortillas de maíz/sorgo decorticado con: 6) 8% soya desgrasada, 7) 8% de ajonjolí y 8) 8% soya desgrasada/4% ajonjolí.

Para la producción de las harinas instantáneas por medio del proceso de extrusión se siguieron los pasos descritos en la Fig. 1. Los distintos granos y sus mezclas fueron cocidos con cal en un extrusor X-5 (Wenger Mfg. Co). La boquilla localizada a la salida del extrusor fue removida para impedir sobre gelatinización del almidón y expansión del extrudado. Por lo tanto, el extrusor trabajó como un cocedor continuo. Las diferentes harinas fueron hidratadas, formadas en tortillas y horneadas en un comal a 288°C por 1.5 min. en cada lado. Posteriormente, las tortillas fueron secadas a 55°C, equilibradas a la humedad ambiente y molidas.

En la primera fase de la evaluación nutricional, un total de 36 ratas (2 machos y 2 hembras por tratamiento) en crecimiento del tipo Sprague/Dawley fueron individualmente colocadas en jaulas metabólicas diseñadas para coleccionar heces y orina. Las dietas de las ratas fueron suplementadas con 4% de minerales y 1% de vitaminas. La dieta control fue balanceada a contener 10% de proteína (suministrada por caseína), 2% de celulosa, 8% de aceite de maíz y la misma cantidad de vitaminas y minerales que en las dietas experimentales. Heces y orina fueron coleccionadas por 14 días y analizadas en su contenido de proteína (% N x 6.25) y energía bruta. Los datos fueron utilizados para calcular digestibilidades (proteína, energía y materia seca), valor biológico (nitrógeno retenido/nitrógeno absorbido) y utilización proteica neta (valor biológico x digestibilidad de la proteína).

La segunda fase del experimento consistió en estimar la relación de eficiencia proteica de los tratamientos descritos anteriormente. Para esto se utilizaron seis ratas tipo Sprague/Dawley por tratamiento las cuales fueron alimentadas

individualmente por 28 días. Todas las dietas fueron balanceadas a contener 10% proteína, 8% extracto etéreo y 2% fibra.

La composición química de los productos evaluados (Tabla 6), indicaron que el sorgo decorticado tuvo los valores más bajos de proteína, grasa, cenizas, calcio y lisina. El sorgo decorticado tuvo únicamente la mitad del contenido de lisina del maíz. El contenido proteico de tortillas fortificadas con 8% soya desgrasada fue 3% mayor que tortillas sin fortificar. Tortillas fortificadas con 8% soya tuvieron el doble de lisina que tortillas sin fortificar. La fortificación con ajonjolí entero incrementó el contenido proteico y energético de las tortillas. Sin embargo, el incremento proteico no se reflejó en las cantidades del aminoácido limitante lisina (Tabla 6). La lisina fue el aminoácido limitante para todas las tortillas. Los cálculos químicos (aminoácido limitante/requerimiento FAO/WHO) fue similar entre los granos y sus tortillas. El sorgo decorticado y su respectiva tortilla tuvieron los cálculos químicos más bajos dado a su bajo contenido de la lisina. La adición de 8% ajonjolí no mejoró el patrón de aminoácidos. En general, las tortillas tuvieron menores valores de digestibilidad de proteína que sus respectivos granos, lo que indica que el cocimiento por extrusión tiene similares efectos que la nixtamalización tradicional (Experimentos I y II).

A pesar de sus altas tasas de digestibilidad, el sorgo decorticado mostró los valores más bajos de retención de nitrógeno y relación de eficiencia proteica. El valor biológico del grano de maíz y su tortilla fue similar y aproximadamente 20 unidades mayor que el de sorgo decorticado. Ratas alimentadas con grano de maíz tuvieron mayores valores de utilización proteica neta que ratas alimentadas con tortillas de maíz, ya que la proteína de la tortilla de maíz fue menos digestible que la del grano crudo.

La adición de ajonjolí no mejoró ni el valor biológico, ni la utilización proteica neta, ni la relación proteica de las tortillas con 75% maíz/25% sorgo. La adición de soya no afectó la digestibilidad de proteína, materia seca o energía (Tabla 7) pero si mejoró drásticamente los valores de retención de nitrógeno y de relación de eficiencia proteica. Ratas alimentadas con tortillas fortificadas con soya casi doblaron la relación de eficiencia proteica cuando fueron comparadas con ratas alimentadas con la tortilla sin fortificar.

Tabla 6. Composición química de granos y tortillas ^a

	TRATAMIENTOS ^b							
	GM	GS	TM	TMS	TMSS	TMSS	TMSA	TMSSA
Proteína, %	9.6	9.4	9.7	9.2	9.5	12.5	10.6	13.1
Grasa, %	4.2	1.1	3.9	1.1	2.6	2.7	6.7	4.1
Fibra Cruda, %	2.1	0.4	1.9	0.3	1.5	1.6	2.3	1.7
Cenizas, %	1.5	0.5	1.6	1.0	1.4	1.6	1.8	2.0
ELNc, %	82.6	88.6	82.9	88.4	85.0	81.6	78.6	79.1
Almidón, %	-	-	74.6	85.5	77.3	72.0	68.4	67.1
Calcio, mg/g	0.07	0.04	1.42	1.38	1.39	1.36	1.58	1.61
Energía, cal/g	4490	4387	4529	4463	4521	4551	4781	4696

Tabla 6. (continuación)

	TRATAMIENTOS ^b							
	GM	GS	TM	TMS	TMSS	TMSS	TMSA	TMSSA
<u>Aminoácidos Esenciales</u>								
(% del requerimiento FAO/WHO)								
Lisina	60	33	57	32	50	76	52	73
Metionina + Cystidina	92	108	91	121	116	93	104	97
Treonina	89	77	88	82	89	96	90	92
Leucina	178	202	188	212	195	171	175	162
Isoleucina	94	95	95	112	100	107	99	110
Valina	101	100	100	107	103	106	104	104
Fenilalanina + Tirosina	148	160	155	169	159	162	158	154
Triptófano	109	109	109	109	109	123	113	117

^aTodos los valores están expresados en base seca.

^bGM= grano de maíz; GS= grano de sorgo decorticado; TM= tortilla de maíz; TS= tortilla de sorgo decorticado; TMSS= tortilla de 75% maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% de soya desgrasada; TMSA= tortilla de 75% de maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% de ajonjolí; TMSSA= tortilla de 75% de maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% soya desgrasada y 4% ajonjolí.

^cExtracto libre de nitrógeno.

^dLos valores de cisteína fueron extraídos de tablas.

^eEstimado de acuerdo al ensayo microbiológico propuesto por Ford (1964, 1969).

Tabla 7. Valor proteico-nutricional de tortillas producidas por extrusión.

	TRATAMIENTOS ^a							
	GM	GS	TM	TS	TMS	TMSS	TMSA	TMSSA
Digestibilidad, %								
Materia Seca	90.7	96.0	90.0	95.4	91.4	89.5	90.6	89.6
Energía	91.6	96.5	90.0	95.9	92.0	90.4	91.6	91.0
Proteína	86.0	86.9	83.6	84.6	82.5	83.0	83.2	83.1
Valor biológico, %	59.5	42.3	59.1	37.0	52.9	66.2	57.5	62.7
Utilización neta de proteína, %	51.2	36.8	49.4	31.3	43.6	55.0	47.8	45.2
Relación de Eficiencia Proteica	1.38	0.41	1.13	0.38	1.02	2.25	1.15	1.93

^aGM= grano de maíz; GS= grano de sorgo decorticado; TM= tortilla de maíz; TS= tortilla de sorgo decorticado; TMSS= tortilla de 75% maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% de soya desgrasada; TMSA= tortilla de 75% de maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% de ajonjolí; TMSSA= tortilla de 75% de maíz/25% sorgo decorticado suplementada con 8% soya desgrasada y 4% ajonjolí.

REFERENCIAS

- BRESSANI, R., Paz y Paz R., and Scrimshaw, N.S., 1958. Corn nutrient losses: chemical changes of corn during preparation of tortillas. *J. Agric. Food Chem.* 6:770.
- BRESSANI, R., Murillo, B., and Elías, L.G., 1974. Whole soybeans as a means of increasing protein and calories in maize based diets. *J. Food Sci.* 39:577.
- BRESSANI, R., Braham, J. E., Elías, L.G., and Rubio, M. 1979. Further studies on the enrichment of lime treated corn with whole soybeans. *J. Food Sci.* 44:1707.
- CHOTO, C.E., Morad, M. M. and Rooney, L. W. 1985. The quality of tortillas containing whole sorghum and pearled sorghum alone and in blends with yellow maize. *Cereal Chem.* 62:51-54.
- CHU, N.T., Pellet, P.L., and Nawar, W. W., 1976. Effect of alkali treatment on the formation of lysinoalanine in corn. *J. Agric. Food Chem.* 24:1084.
- DEGROOT, A.P. and SLUMP, P. 1969. Effect of severe alkali treatment of proteins and amino acid composition and nutritive value. *J. Nutr.* 98:45.
- DELORME, C.B., and GORDON, C.I. 1983. The effect of pectin on the utilization of marginal levels of dietary protein by weanling rats. *J. Nutr.* 113:2432.
- DOODS, W.J., 1982. The pig as a biomedical research model. *Fed. Proc.* 41:267.
- FORD, J.E., 1961. A microbiological method for assessing the nutritional value of proteins. *Br. J. Nutr.* 16:436.
- FORD, J.E. 1964. A microbiological method for assessing the nutritional value of proteins. *Br. J. Nutr.* 18:367.
- FLEMING, S.E., and Lee, B. 1983. Growth performance and intestinal transit of rats fed purified and natural dietary fibers. *J. Nutr.* 113:592.