

esférica-ovoide, la cual concuerda con la exigida por el Codex Alimentarius para el sorgo granífero.

La tabla 22 ilustra la composición centesimal de la variedad cubana de sorgo ISIAP- DORADO estudiada y también la blanca cubana UGD-110 analizada por Martín, y col, (1993). De esta tabla, se puede inferir que los valores obtenidos en la composición química para el grano de la variedad objeto de estudio en su estado integral, se encuentran dentro del rango informado por Rooney y col., (1982) para otras variedades (tabla 3). Además, estos resultados clasifican a la variedad cubana ISIAP-DORADO como un sorgo de genotipo mediano en cuanto a su composición química, de acuerdo con la comparación de datos realizados en el ICRISAT que son reflejados en la tabla 1, reportada por Jambanuthan y Subramanian, (1988), lo cual confirma que la variedad cubana estudiada reúne características de composición centesimal, muy semejantes a las variedades cultivadas en otras regiones geográficas. Igualmente, se puede añadir en la observación, que el grano en estudio tiene una cierta similitud en su composición química con la otra variedad cubana de sorgo UDG-110 según las cifras publicadas por Martín y col., (1993), aunque debe resaltarse que la variedad ISIAP-DORADO dispone de contenidos algo mayores de proteínas, grasas y carbohidratos, con menores valores de cenizas. Por último cabe señalar, que las cifras obtenidas para la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO se encuentran dentro de los niveles exigidos para estos componentes, en las normas del Codex Alimentarius para el grano de sorgo (FAO, 1994). Una valoración integral de las características evaluadas hasta el momento de la variedad cubana ISIAP-DORADO, vislumbra no solo buenas propiedades físicas, acorde con lo reglamentado internacionalmente, sino que además posee una buena proporción de proteínas, grasas y carbohidratos, todo ello le confiere excelentes cualidades para la alimentación humana. Claro está, todavía deben de evaluarse otras propiedades nutricionales, así como sus aptitudes para los procesos tecnológicos que mejoren sus cualidades como alimento.

3.2 Contenido de taninos y valor nutricional del grano integral de sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO.

Una vez conocida la composición centesimal de la variedad estudiada de sorgo, se hace necesario para una mejor valoración de su aporte nutricional, determinar el contenido de

TABLA 22. Composición centesimal del sorgo integral de la variedad cubana ISIAP-DORADO y la blanca cubana UDG-110.			
Componentes	Variedad ISIAP-DORADO ⁽¹⁾	Variedad UDG-110	Granos de sorgo ^(1,2) Codex / FAO ^(*)
Humedad (%)	10.96	13.76	máximo 14.50
Proteína (%) N x 6.25	12.25	11.4	mínimo 7.00
Cenizas (%)	1.76	4.12	máximo 1.50 ⁽⁴⁾
Grasas (%)	3.75	2.43	máximo 4.00
Carbohidratos (%)	82.21	77.76	

(1) Valores medios de tres determinaciones expresados en base seca, excepto la humedad.
(2) Según informe de la Universidad Central de las Villas (Martín y col., 1993).
(3) Según norma Codex Alimentarius (FAO, 1994).
(4) Valor para granos decorticados.

otros nutrientes y de posibles antinutrientes que puedan interferir en la buena utilización de este cereal por parte del organismo humano. En este sentido son aspectos claves de la caracterización nutricional de este grano: su aporte en fibra dietética, sus contenidos de taninos, vitaminas y minerales, así como el conocimiento de la calidad de sus proteínas. Como se conoce, los cereales integrales son una fuente importante de fibra dietética en la alimentación, estos compuestos se pueden clasificar según su solubilidad en agua, en fibra insoluble formada fundamentalmente por celulosa, gran parte de la hemicelulosa y lignina y en fibra soluble dada por las pectinas y gomas, entre otras (Carrillo y col., 2002). Los contenidos de la fibra dietética total y de sus componentes solubles e insolubles para esta variedad de sorgo se muestran en la tabla 23. Como se aprecia, el valor de la fibra insoluble obtenida es casi 7 veces superior al de la fibra soluble. Ello se debe a que las cubiertas externas de este grano, principalmente las capas de pericarpio, están constituidas en gran medida por celulosa, hemicelulosa y pequeñas cantidades de lignina. Esta última depende del contenido de taninos que contenga el grano (Bach Knudsen y Munk, 1985). También, cabe mencionar que las cifras obtenidas para los diferentes componentes de la fibra, son parecidas a las publicadas para otras variedades por Rooney y col., (1982), pero en el caso de la fibra insoluble, se encuentra algo superior al rango de 1.9 a 5.3 % observado por Kamath y Belavady (1980) para otro conjunto de variedades de sorgo. No sucede así, para la fibra soluble pues los valores publicados por Kulp y Ponte (2000) oscilan entre 1.0 y 1.2 %.

Otros importantes componentes químicos que deben ser analizados en el sorgo, son los taninos. Estas sustancias aunque poseen propiedades antioxidantes, son generalmente taninos condensados, que se consideran antinutrientes, debido a que entorpecen la biodisponibilidad de las proteínas e inhiben la acción enzimática, afectando el valor nutricional y comunicándole además cierto amargor al grano (Salunke y col. 1990 y Carrillo y col, 2002).

El contenido de taninos expresado en la tabla 23 como ácido tánico (0,3%) se encuentra por debajo de los límites permisibles (0.5 %), establecidos por el Codex Alimentarius (FAO, 1994). Resultados semejantes para la variedad de sorgo blanco UDG-110 fueron obtenidos por Martín y col., en (1993), quienes publicaron contenidos de 0.36 % para el grano integral. Este bajo nivel detectado en los taninos, sugiere que la variedad cubana de

TABLA 23. Contenido de ácido tánico y algunos nutrientes del sorgo integral de la variedad cubana ISIAP-DORADO.

<u>Componente</u>	<u>ISIAP DORADO ⁽¹⁾</u>	<u>Otras variedades de sorgo</u>
Fibra dietética:		
Soluble (%)	1.4 (0.07)	1.1 ⁽²⁾
Insoluble (%)	8.3 (0.05)	7.2 ⁽²⁾
Total (%)	9.7 (0.06)	8.3 ⁽²⁾
Acido tánico (%)	0.30 (0.08)	
Vitaminas:		
Tiamina (mg/100g)	0.287 (0.02)	0.34 ⁽³⁾
Riboflavina	0.168 (0.02)	0.15 ⁽³⁾
Niacina (mg/100g)	2.834 (0.04)	3.30 ⁽³⁾
Minerales		
Hierro (mg/100g)	9.23 (0.60)	4.2 ⁽⁴⁾
Zinc (mg/100g)	4.37 (0.20)	2.5 ⁽⁴⁾
Cobre (mg/100g)	0.55 (0.03)	0.44 ⁽⁴⁾
Calcio (mg/100g)	13.0 (0.03)	15.0 ⁽⁴⁾
Magnesio (mg/100g)	122.0 (8.0)	171.0 ⁽⁴⁾
Sodio (mg/100g)	26.0 (2.0)	
Potasio (mg/100g)	272 (14.0)	

1 Valores medios de tres determinaciones expresados en base seca. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar. Fuentes (2) Rodney y col., (1982), (3) Latham, (2002), (4) Sankara Rao y Deosthale, (1983).

sorgo ISIAP-DORADO pudiera poseer una adecuada digestibilidad de sus proteínas, contribuyendo así a su calidad como alimento humano.

Los cereales además de suministrar energía al organismo, son fuente discreta de algunos minerales de importancia biológica como son el calcio, el magnesio y el hierro (Cervera y col., 1998). Los resultados del análisis realizado referente a los minerales de la muestra de sorgo integral, se pueden apreciar en la tabla 23. El valor promedio logrado para el calcio fue de 13 mg /100g, resultados semejantes (15 mg /100 g) fueron publicados por Sankara Rao y Deosthale, (1983) para otra variedad de sorgo. También, existe similitud respecto al contenido de cobre que tiene la variedad cubana ISIAP-DORADO de 0.55 mg/100 g, con el valor de (0.44 mg/100 g) reportado por estos investigadores. Deben resaltarse los altos niveles de hierro, (9.23 mg/100 g) más del doble que los informados para otras variedades de sorgo (4.2 mg/100 g) por Sankara Rao y Deosthale, (1983). De esto se induce que solo 200 g de este cereal sobrecumplirían los requerimientos de este mineral (15 mg) para la población cubana, establecidos por Porrata y col., (1994). Es conveniente también aclarar, que la biodisponibilidad del hierro y de los minerales en general, están condicionados por la presencia en los alimentos de los fitatos, la fibra dietética y de los taninos, entre otros. El comportamiento de los niveles de los restantes minerales no es homogéneo y sus valores están algo distantes de los publicados para otras variedades de sorgo, esto pudiera deberse a que las concentraciones de minerales en las diferentes variedades de sorgo pueden estar influenciadas por factores genéticos, de composición de suelos y medioambientales, entre otros, en dependencia de la región de cultivo (FAO, 1995a).

El organismo humano para el mantenimiento de sus funciones metabólicas celulares requiere también de las vitaminas. Estas sustancias tienen como función fundamental ser cofactores de muchas reacciones enzimáticas (Cáceres y col, 1999 y Mahan y Escott, 2000). Los cereales integrales son una fuente considerable de vitaminas, sobre todo del complejo B, de ahí que resulte de interés su cuantificación en esta variedad de sorgo. En esta tabla 23 asimismo, se reflejan los valores determinados de algunas vitaminas del complejo B para el grano integral. El sorgo integral de la variedad cubana ISIAP-DORADO posee niveles semejantes de vitaminas del complejo B, a los publicados para otros cereales por Avrand, y col., (1987) en cifras informadas sobre la composición de los alimentos. Si se comparan las concentraciones encontradas para la variedad de sorgo estudiada, con las informadas por Latham, (2002), se observa que los valores de

riboflavina (0.16 mg) son más elevados que los publicados por este investigador para el trigo, el arroz y el maíz, que poseen 0.02, 0.07 y 0.13 mg respectivamente, como se señala en la tabla 5. El contenido de tiamina en este grano (0.28 mg) es superior al reportado para el arroz (0.08 mg) y algo inferior al del trigo y el maíz (0.30 y 0.35 mg). Por otra parte, el nivel de niacina obtenido (2.8 mg) es algo superior a los informados para el arroz y el maíz, pero inferior al del trigo. Esto confirma que el sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO es una fuente importante de estas vitaminas del complejo B, al igual que los sorgos de otras variedades, pues se conoce que este cereal es rico en estas vitaminas, dada la naturaleza fotosensitiva de los carotenos de que disponen sus granos.

3.2.1 Calidad proteica.

En la valoración de un alimento como fuente de proteínas para el organismo humano no solo deben considerarse sus contenidos, hay que tener en cuenta además su calidad. Una medida importante de la calidad de las proteínas es la composición en aminoácidos. En la tabla 24 se resume el contenido promedio de los aminoácidos indispensables y semi- indispensables obtenidos para el sorgo integral así como los valores de cómputo y los aminoácidos limitantes, según diferentes patrones de requerimientos establecidos por la FAO/WHO/UNU, (1991).

Como se aprecia en la tabla 24, los aminoácidos que se encuentran en menores proporciones en la variedad ISIAP-DORADO, son la lisina y la isoleucina y los más abundantes, la leucina y los aminoácidos aromáticos (fenilalanina + tirosina). Es decir que para la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO el aminoácido primer limitante es la lisina, reflejo del alto contenido de prolaminas del endospermo en el grano al igual que los restantes cereales (Llama, 1989). Similar resultado lo obtuvo Martín y col, (1993) para la variedad cubana de sorgo blanco UGD-110 y Jaramillo, y col., (1993) en cultivares de sorgo granífero, donde estos investigadores encontraron también este aminoácido como el limitante. Al respecto, Hui, (1991) planteó que las variedades regulares de sorgo, presentan generalmente los valores más bajos en lisina, entre todos los granos de cereales. Sin embargo, otros autores afirmaron que hay variedades de sorgo que poseen buenas proporciones de proteínas, con mayores contenidos en triptófano que el maíz e informaron que existen variedades etíopes con altos contenidos en lisina (Doggett, 1988).

TABLA 24. Contenidos en aminoácidos esenciales y cómputo químico del sorgo integral de variedad ISIAP-DORADO.				
Aminoácidos	Sorgo Integral g /16g N ⁽¹⁾	Cómputo y aminoácidos limitantes ⁽²⁾		
		Lactantes	Escolares	Adultos
Lisina	2.01 (0.08)	30.5	45.7	125.6
Histidina	2.47 (0.1)			2 ^{do}
Arginina	3.96 (0.06)			
Treonina	3.54 (0.1)			
Metionina+Cistina	3.01 (0.06)			3 ^{ro}
Valina	3.97 (0.1)			
Triptófano	1.56 (0.1)	2 ^{do}	3 ^{ro}	
Fenilalanina+Tirosina	8.50 (0.2)			
Isoleucina	3.13 (0.09)	3 ^{ro}	2 ^{do}	
Leucina	13.04 (0.1)			

(1) Valores medios de tres determinaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Calculados a partir de diferentes patrones de requerimientos propuestos FAO/WHO/UNU (1991).

Para valorar mejor la calidad proteica del sorgo, es necesario comparar sus aportes en aminoácidos con las necesidades del organismo, o lo que es igual, con el patrón de requerimientos y de esta forma determinar los que están en menor proporción, o sea, los aminoácidos limitantes. Como se conoce al aminoácido de menor cubrimiento de las necesidades, se le denomina primer limitante y al por ciento que cumple los requerimientos, puntaje o cómputo químico (Mahan y Escott, 2000). En este sentido, se observa que para todos los patrones de requerimientos, empleados en el cálculo, el aminoácido limitante fue la lisina y los valores de cómputo oscilan según las edades, el mayor (125.6 %) fue para el de adulto y el menor (30.5 %) para el de lactante, que por supuesto es el que más requiere este aminoácido. Si se analizan los aminoácidos segundo y tercer limitantes, se observa que estos dependen del patrón de comparación que se tome como referencia. En el caso de los adultos fueron la histidina y los sulfurados, debe señalarse que la histidina se sintetiza a la velocidad requerida en los adultos, por lo que para este grupo etáreo no se considera aminoácido indispensable (Badui, 1993). Al comparar con los patrones de requerimientos de lactantes y escolares, los segundos y terceros limitantes fueron el triptófano y la isoleucina en orden.

De manera general, se puede señalar que esta variedad cubana de sorgo ISIAP- DORADO, presenta una composición aminoacídica muy cercana a la informada por Ensminger y col., (1994) para los granos de sorgo y aunque sea deficiente en lisina, la calidad de sus proteínas puede ser mejorada si se ingiere este cereal acompañado de las leguminosas, pues estas poseen como limitantes los aminoácidos sulfurados y, por consiguiente, sus proteínas se complementarían.

Un análisis general de la composición química y el valor nutricional del grano integral de la variedad cubana ISIAP-DORADO permite afirmar que este grano tiene buenas cualidades nutricionales como alimento. Esta aseveración se fundamenta en que posee un buen aporte de energías, carbohidratos, grasas y proteínas, estas últimas abundantes, aunque deficientes en lisina. El grano contiene niveles adecuados de taninos, dentro del rango establecido por el Codex Alimentarius y es un adecuado portador de vitaminas del complejo B, hierro y cobre.

3.3 Proceso de perlado del grano integral.

Mediante el proceso de perlado del grano de sorgo integral se eliminan las cubiertas externas, mejorando su digestibilidad y cualidades organolépticas. Al someter el grano de sorgo de la variedad objeto de estudio a diferentes intensidades de perlado en lo referente a cargas y tiempos de residencia, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 25. En ella se reflejan los valores de rendimiento, color del grano perlado, grado de elaboración y la temperatura que se alcanzó en los diferentes tratamientos aplicados. Como se aprecia en esta tabla, a medida que aumenta la intensidad del tratamiento físico (carga y tiempo de duración), se hace significativamente menor el rendimiento de granos enteros obtenidos en el proceso, con un incremento en la cantidad de fracción removida o grado de elaboración, lo cual indica una mayor eliminación del pericarpio y el germen. La remoción de estas partes a niveles superiores al 20 % son beneficiosas, según plantearon investigadores como Freeman y Watson, (1977) y Perten, (1983) en trabajos realizados sobre este tema, pues de esta forma se asegura la separación eficaz de las capas externas y el germen del grano. Esta eliminación de las envolturas con la intensidad del proceso abrasivo aplicado, a su vez, va a ser directamente proporcional al grado de blancura del grano perlado obtenido. En la tabla, se confirma este planteamiento y se observa en los resultados obtenidos, un aumento de la blancura de los granos en la medida que se remueve mayor cantidad de cubiertas y quedan sus sémolas más desnudas.

Ahora bien, si además, estos resultados se suman a los presentados en la tabla 26, donde se brindan los criterios de las diferentes fracciones de granos enteros y partidos, logrados con los diferentes grados de elaboración, se puede apreciar que el tratamiento con el 34 % del grado de elaboración fue donde se obtuvo el porcentaje más bajo de granos enteros y más alto para los partidos (medios cuartos y puntas). El resto de los valores para los otros tratamientos aplicados se encuentra por encima del 92 % de enteros, cifras que demuestran la eficacia del perlado, utilizando un pulidor de arroz en esta variedad de grano con alto contenido de endospermo ceroso.

Todo esto corrobora el planteamiento a priori efectuado en el acápite 3.1 donde se mencionó la posible resistencia a la fragmentación de esta variedad de sorgo en procesos tecnológicos abrasivos, como es el caso del proceso de perlado.

TABLA 25. Efecto del perlado en el rendimiento total, color, grado de elaboración y temperatura del grano alcanzada en los diferentes tratamientos aplicados ^(1,2)				
Tratamientos ⁽³⁾	Rendimiento (%)	Color (%ref)	Grado de elaboración ó fracción removida (%)	Temperatura grano alcanzada (°C)
A	82.10 (0.20) a	17.50 (0.50) f	15.20 (1.90) f	60.70 (0.30) b
B	73.96 (0.01) b	19.93 (0.01) e	22.21 (0.15) e	72.00 (0.96) a
C	71.38 (0.09) c	20.93 (0.90) d	25.12 (0.12) d	74.00 (0.37) a
D	67.29 (0.09) d	22.33 (0.05) c	27.29 (0.10) c	72.33 (4.16) a
E	66.04 (0.04) d	23.33 (0.05) b	29.92 (0.05) b	79.00 (5.00) a
F	61.41 (0.93) e	24.00 (0.01) a	34.00 (0.04) a	72.66 (4.16) a

(1) Valores medios de tres determinaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar. (2) Letras distintas en la misma columna difieren significativamente para $p < 0.05$. (3) Cargas y duración de cada tratamiento: A= 2.72 Kg, 2min. B= 2.72 Kg, 2min + 2 min sin carga. C= 2.72 Kg, 3min. D= 3.62 Kg, 2min + 2min sin carga. E= 3.62 Kg, 3min. F=3.62 Kg, 3min + 1 min sin carga.

TABLA 26. Rendimiento de las fracciones obtenidas con diferentes grado de elaboración en el proceso de perlado del sorgo. ^(1,2)				
Grado de elaboración (%)	Grano entero. (%)	Malla No.7 (1/2 grano) (%)	MallaNo.6 (1/4 grano) (%)	Malla No.5 (cabecilla) (%)
15.2	97.70 (0.92) a	0.33 (0.15) d	1.73 (0.12) e	0.36 (0.23) b
22.2	95.10(0.09) b	0.70 (0.01) c	3.50 (0.04) d	0.66 (0.05) c
25.1	93.10 (0.20) c	1.60 (0.62) a	3.63 (0.91) d	0.93 (0.03) a
27.9	92.96 (0.16) c	1.13 (0.02) b	5.90 (0.04) c	0.93 (0.06) a
29.9	92.06 (0.01) c	1.23 (0.06) b	6.16 (0.03) b	1.03 (0.01) a
34.0	90.80 (0.26) d	1.40 (0.05) a	7.01 (0.36) a	0.96 (0.32) a

(1) Valores medios de tres determinaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar. (2) Letras distintas en la misma columna difieren significativamente para $p < 0.05$.

Del análisis general de la tabla 26, se puede señalar que a medida que se incrementa la intensidad del tratamiento, se observa una mayor proporción de granos partidos, debido al incremento de las afectaciones estructurales que ocurren en el endospermo, por el esfuerzo mecánico y la elevación de la temperatura que sufre el grano en el proceso abrasivo.

Al realizar una discusión conjunta de los resultados mostrados en ambas tablas, se tiene que, el tratamiento con un 15.2 % del grado de elaboración, no elimina una fracción igual o mayor al 20 % como fracción removida en el proceso de perlado, lo que no garantiza una correcta separación del pericarpio y germen del endospermo como señalaron Rooney y col., (1980) y Perten, (1983). Tampoco se percibe un cambio de coloración drástico en el grano perlado al aplicar este tratamiento y al ser comparado con la coloración del grano integral señalada en la tabla 21. Por otra parte, el tratamiento con un 34 % del grado de elaboración, debido a la severidad en el proceso abrasivo, conduce a la afectación de algunas partes del endospermo que se remueven junto a las capas externas y el germen, aspecto este no conveniente en el proceso de perlado. Esto induce a pensar que los tratamientos más indicados para acometer este proceso con esta variedad de sorgo son los derivados a partir de cargas y tiempos empleados en los tratamientos que corresponden a grados de elaboración entre el 22.2 y 29.9 %.

En la medida que se separan las capas externas del grano, debe variar la composición centesimal del producto obtenido. La tabla 27 ilustra los contenidos de proteínas, cenizas y grasas que presentan los granos sin perlar y aquellos sometidos a los diferentes tratamientos de perlado. Al observar estos resultados se evidencia de forma general, cómo a medida que se aumenta la carga y el tiempo de residencia en el pulidor, o sea un incremento paulatino del grado de elaboración, se produce una disminución progresiva en el contenido de grasas, cenizas y proteínas en las diferentes muestras estudiadas, siendo más severas las reducciones en los tratamientos más abrasivos, es decir con mayores grados de elaboración. Este resultado se explica debido a que los contenidos de estos nutrientes se encuentran más concentrados en las capas externas del grano y el germen y ambas partes son separadas en mayor proporción durante los procesos de perlado más intensos.

TABLA 27. Composición centesimal de las muestras de sorgo sometidas a diferentes tratamientos en el proceso de perlado. ^(1,2)								
Componentes	Sorgo sin perlar	Grado de elaboración del grano (%)						
		15.2	22.2	25.1	27.9	29.9	34.0	
Proteína (%)								
N x 6.25	12.2 (0.05) a	11.5 (0.08) b	10.9 (0.09) c	10.9 (0.22) c	10.7 (0.15) d	10.7 (0.05) d	10.5 (0.2) e	
Cenizas (%)	1.7 (0.03) a	1.5 (0.05) b	1.0 (0.18) c	0.9 (0.09) d	0.8 (0.24) e	0.7 (0.30) f	0.7 (0.1) f	
Grasas (%)	3.7 (0.08) a	2.0 (0.03) b	1.9 (0.02) c	1.8 (0.20) d	1.2 (0.09) e	0.8 (0.16) f	0.4 (0.1) g	

(1) Valores medios de tres determinaciones expresados en base seca. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para p< 0.05.

Para los tratamientos con grados de elaboración de 22.2, 25.1, 27.9 y 29.9 %, las reducciones en los niveles de cenizas en los granos perlados, fueron significativas en comparación con el valor obtenido para la muestra de sorgo sin perlar.

En el caso de la grasa, esta disminuye significativamente ($p < 0.05$) con el proceso de elaboración, por ejemplo, para el grano con 22.2 % de grado de elaboración, decae del 3.7 % en el grano sin perlar, a 1.9 % y para la muestra con el 29.9 % de grado de elaboración, la reducción llega a un valor igual al 0.8 %. Esta disminución del contenido graso en los granos perlados, reduce el valor nutricional de los mismos desde un punto de vista energético, sin embargo, puede favorecer la conservación de estos o de sus harinas, al reducirse la posibilidad de enranciamiento lipídico.

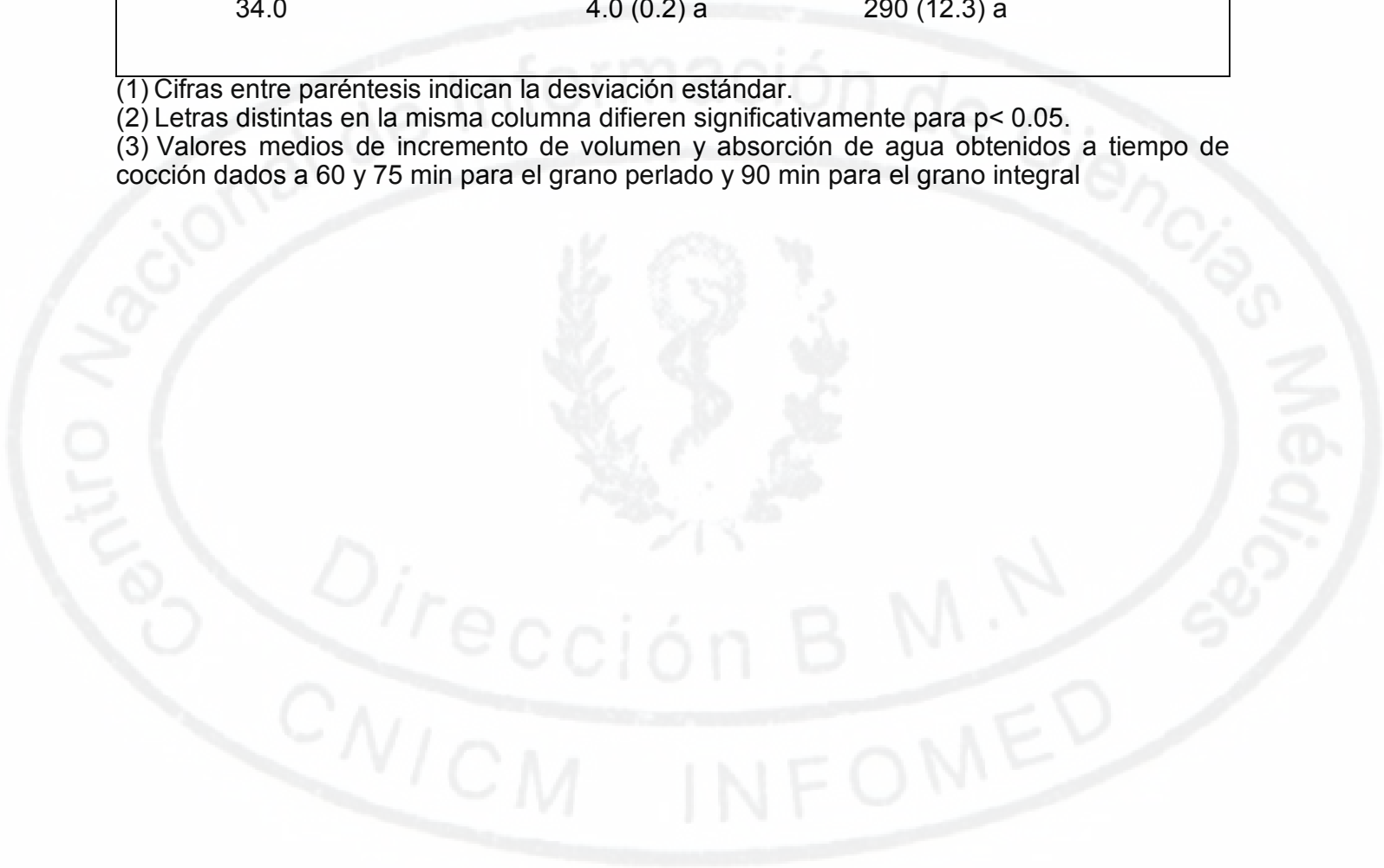
Referente a los niveles de proteínas alcanzados en las muestras de sorgo perladas, se observa también una reducción significativa ($p < 0.05$) del valor inicial que presenta la muestra sin perlar de un 12.2 % a un 10.7 %, para la muestra con 29.9 % de elaboración. Estos resultados pueden ser atribuidos al hecho de que en el grano de sorgo las sustancias proteicas se encuentran mayoritariamente en las cubiertas externas del grano y con el proceso de perlado son separadas las envolturas y el germen rico en proteínas.

La evaluación del efecto de esta tecnología sobre la calidad de cocción que presentan las muestras perladas en los diferentes tratamientos, comparados con el sorgo integral, se ilustra en la tabla 28. Se aprecia cómo los granos con grados de elaboración entre 27.9 y 34 %, reflejan los mayores valores, respecto al incremento de volumen y la absorción de agua, quizás debido a la supresión del efecto barrera de las cubiertas externas en los mismos. Además, estos valores se alcanzan con una disminución entre 15 y 30 minutos del tiempo de cocción, en comparación con el tiempo requerido para cocinar el grano de sorgo sin perlar, lo cual pudiera representar una ventaja económica para el consumidor.

Al hacer una valoración integral de todos los resultados obtenidos en el proceso de perlado aplicado al grano de sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO, se deduce que los tratamientos correspondientes a 27.9 y 29.9 % en el grado de elaboración del grano, son los más adecuados para acometer el proceso de perlado con esta variedad, debido a que con su aplicación se logra en los granos perlados, mejores grados de blancura en los granos descubiertos, unificando el color, haciéndolos más agradables a la vista, aceptables contenidos de grasas y proteínas, altos rendimientos en granos enteros y los mejores incrementos en volumen y absorción de agua por el grano durante la cocción.

TABLA 28. Efecto del perlado en la calidad de cocción del sorgo ISIAP-DORADO. ^(1,2)		
Grado de elaboración (%)	Incremento volumen ⁽³⁾ (veces)	Absorción agua ⁽³⁾ (g)
Sorgo sin perlar	2.1 (0.1) d	240 (11.5) b
15.2	3.8 (0.2) b	253 (10.5) b
22.2	3.3 (0.1) c	253 (12.3) b
25.1	3.7 (0.2) b	257 (13.4) ab
27.9	4.0 (0.2) a	265 (12.5) a
29.9	4.3 (0.2) a	281 (10.4) a
34.0	4.0 (0.2) a	290 (12.3) a

(1) Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.
(2) Letras distintas en la misma columna difieren significativamente para p< 0.05.
(3) Valores medios de incremento de volumen y absorción de agua obtenidos a tiempo de cocción dados a 60 y 75 min para el grano perlado y 90 min para el grano integral



3.4 Proceso de precocido del grano integral.

Teniendo en cuenta las semejanzas tecnológicas del sorgo con el grano de arroz, junto a la carencia de información sobre el precocido del grano de sorgo, se tomó como referencia el proceso tecnológico del arroz para aplicarlo al sorgo. Se realizó un modelo factorial, estableciéndose diferentes niveles para los factores que pueden incidir en este proceso.

Del análisis del diseño estadístico plan factorial 2^3 acometido en el proceso de precocido del grano, se determinó para la variable respuesta % de rendimiento, que el tiempo de cocción en el rango de estudio, no influye de manera significativa. Esta afirmación se debe a que en el efecto sobre el rendimiento de la variable 2 (tiempo de cocción) y sus interacciones con el tiempo de remojo y la temperatura de secado, no dio significativa en el análisis de varianza correspondiente a este diseño (anexo 5). Por consiguiente, los coeficientes correspondientes al tiempo de cocción y sus interacciones en el modelo matemático, tampoco dieron significativos ($p>0.05$) como se aprecia en el anexo 6.

Al analizar el rendimiento del grano en el perlado, condicionado por los otros dos factores o las variables X_1 (tiempo de remojo) y X_3 (temperatura de secado) y su interacción, sí poseían un efecto significativo sobre el rendimiento (anexos 5 y 6). El modelo para la variable respuesta rendimiento responde a la ecuación:

$$\text{Rendimiento} = 77.41 + 1.23 (\text{tiempo remojo}) + 1.41 (\text{temperatura secado}) - 0.51 (\text{tiempo remojo}) \times (\text{temperatura secado})$$

De lo que se infiere, que el rendimiento del grano se afecta positivamente por el tiempo de remojo dado al grano y por la temperatura de secado, pero existe una interacción entre ambas variables que afecta de forma negativa el rendimiento.

Por otra parte, del análisis del diseño estadístico de los resultados sobre la variable respuesta incremento de volumen que experimentan los granos precocidos de sorgo en la cocción, tampoco se obtuvo un efecto significativo ($p>0.05$) del tiempo de cocción y sus interacciones sobre esta variable respuesta (anexo 7) y por supuesto, los coeficientes del tiempo de cocción y sus correspondientes interacciones, se anulan al no ser significativos ($p<0.05$) anexo 8.

Incremento de volumen = $4.36 + 0.15 (\text{tiempo remojo}) + 0.36 (\text{temperatura secado})$

En este caso, el incremento de volumen en la cocción, presenta una influencia de manera significativa y positiva por las variables tiempo de remojo y temperatura de secado, siendo el incremento de volumen en la cocción mayor cuando el grano se seca a 80 °C. Este fenómeno se relaciona con la mayor capacidad de absorción de agua por el grano de sorgo a mayores temperaturas de secado, debido a un reordenamiento molecular de las proteínas que lo constituyen y a una mayor solubilidad de compuestos barreras en la superficie de los mismos.

Dado que el tiempo de cocción, ni sus interacciones, influyeron en el rendimiento de la elaboración del grano, como tampoco en el incremento de volumen, es recomendable desde el punto de vista económico realizar la cocción del grano al menor tiempo, es decir a 30 minutos.

En la tabla 29 se puede observar cómo existen diferencias significativas ($p < 0.05$) con relación a los rendimientos promedios obtenidos en los diferentes tratamientos, siendo este mayor cuando el secado se efectúa a 70 °C, lo que está de acuerdo con el modelo matemático logrado para el rendimiento, pues a pesar de que la temperatura de secado influye positivamente en la interacción de tiempo de remojo, la temperatura de secado afecta negativamente y con un mayor coeficiente. Este comportamiento se explica porque a medida que aumenta la temperatura de secado y con un mayor remojo, el grano se hace más frágil a los tratamientos físicos, independientemente de que el proceso de precocción aumente la dureza del endospermo del grano, en relación con el sorgo integral. Por otra parte, en la misma tabla se aprecia cómo a mayor temperatura de secado, el grano de sorgo experimenta un crecimiento el volumen superior en la etapa de cocción y, al mismo tiempo este incremento de volumen en el grano precocido. Estos resultados también confirman el modelo matemático obtenido para la variable respuesta incremento de volumen.

Por existir una contradicción aparente en el efecto de la temperatura sobre los rendimientos, y para profundizar en las mejores condiciones de la precocción del grano de sorgo, se llevó a cabo un diseño cuadrático tipo compuesto central bidimensional. Los

TABLA 29. Rendimiento de perlado e incremento de volumen en la cocción del grano de sorgo precocido comparado con el grano integral.^(1,2)

	<u>Rendimiento perlado⁽³⁾ (%)</u>	<u>Incremento de volumen (veces)⁽³⁾</u>
Sorgo secado a 70 °C	79.6 (0.57) a	4.0 (0.18) b
Sorgo secado a 80 °C	75.7 (2.33) b	4.7 (0.35) a
Sorgo integral	70.2 (0.07) c	2.1 (0.10) c

(1) Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Letras distintas en la misma columna difieren significativamente para $p < 0.05$

(3) Valores medios del rendimiento y el incremento de volumen experimentado por el grano precocido a dos tiempos de cocción dados a 30 y 45 min.



sorgo, se llevó a cabo un diseño cuadrático tipo compuesto central bidimensional. Los resultados de este diseño describen el siguiente modelo para la variable respuesta rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = 77.46 + 1.02 (\text{tiempo remojo}) - 1.99 (\text{temperatura secado})$$

Conforme a la ecuación, los coeficientes cuadráticos y las interacciones no fueron significativas (anexos 9 y 10). En la forma que se percibe este modelo, es algo semejante al lineal, pero aquí sí se define el efecto negativo de la temperatura con valores positivos de la variable codificada 0, 1 y 1,41 correspondientes a 75, 80 y 85 °C, tal como se describió en la matriz de experimentos (tabla 11). Si se observan los contornos de la superficie de respuesta (figura 11), se puede apreciar que los mejores rendimientos se alcanzan a temperatura de secado entre -1 (70 °C) y 1 (80 °C) en condiciones de remojo superiores a 1 (60 min). También, se debe prestar atención al hecho de que los contornos no tienen curvaturas, lo cual es motivado por la falta de coeficientes significativos en las variables cuadráticas. Para profundizar, se debe observar el análisis de varianza del modelo factorial de este diseño (anexo 9), las fuentes de variación dadas por los componentes cuadráticos del tiempo de remojo y la temperatura de secado no dieron significativas ($p > 0.05$). Para el análisis de varianza aplicado a la regresión, como era de esperar, tampoco fueron significativos los coeficientes cuadráticos, pues las t calculadas fueron pequeñas, no llegando a superar el valor crítico para $p < 0.05$, obteniéndose probabilidades de error superiores a 0.05, en este caso 0.32 para el tiempo de remojo cuadrático y 0.74 para la temperatura de secado cuadrática (anexo 10).

Al evaluar la variable respuesta incremento de volumen en el mismo diseño, se obtuvo la ecuación del modelo:

$$\text{Incremento de volumen} = 4.33 + 0.17 (\text{tiempo remojo}) + 0.23 (\text{temperatura secado})$$

El comportamiento es semejante al obtenido en el modelo lineal para esta variable respuesta, solo son significativos en este caso los coeficientes lineales de variables tiempo de remojo y temperatura de secado (anexos 11 y 12). Al analizar sus contornos de la superficie de respuesta (figura 12), se puede apreciar que el mejor incremento de volumen se logra a una temperatura de secado 2 (80 °C) y tiempos de remojo a 60 min.

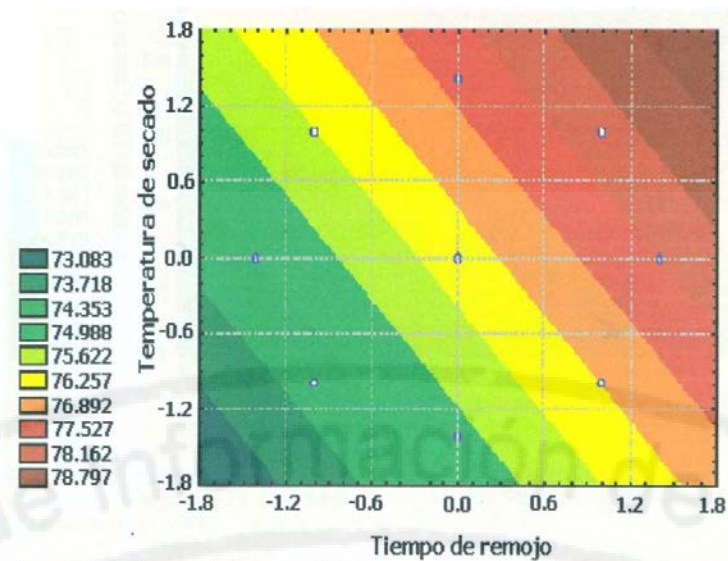


Figura 11. Contornos de la superficie de respuesta sobre el efecto del tiempo de remojo y la temperatura de secado del grano precocido en el rendimiento.

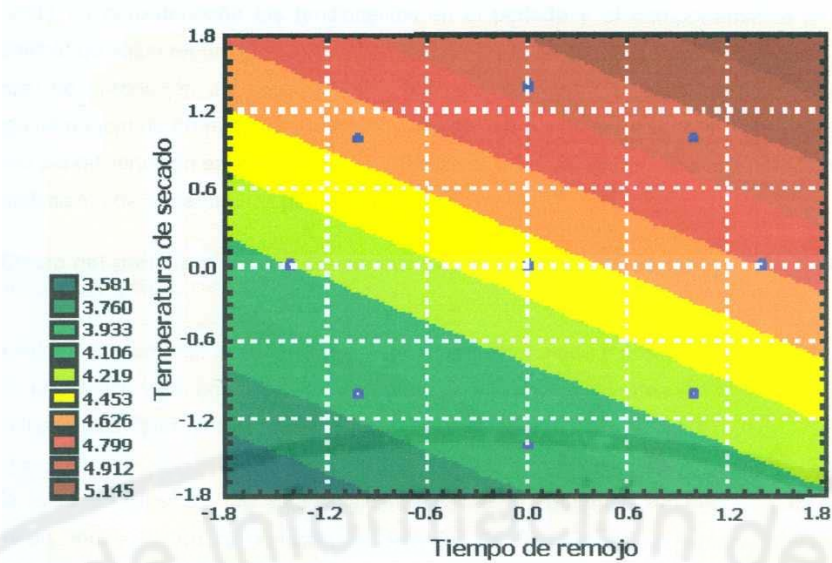


Figura 12. Contornos de la superficie de respuesta sobre el efecto del tiempo de remojo y la temperatura de secado del grano precocido en el incremento de volumen en la cocción.

Tomando en consideración los rendimientos en el perlado y el comportamiento en el incremento de volumen del grano en la cocción, se entiende conveniente proponer para el proceso de precocción del sorgo integral, una temperatura de secado de 80 °C y un tiempo de remojo de 60 min, basado en el hecho de que a esta condición, la capacidad de secado por disminución en los tiempos del proceso se hace superior, a pesar de obtenerse un rendimiento de perlado en el grano algo inferior.

3.5 Efecto del perlado y precocido-perlado sobre el contenido de taninos y algunos nutrientes del grano.

Para valorar el efecto de los procesos seleccionados de perlado y precocido-perlado en el aporte energético y los contenidos de ácido tánico y algunos nutrientes del sorgo integral, se realizaron las determinaciones analíticas que se muestran en la tabla 30.

Taninos.

En la tabla se plasman los valores alcanzados en el contenido de taninos para las diferentes muestras de la variedad en estudio. Se observa en el grano perlado y precocido-perlado, una disminución significativa ($p<0.05$) en el contenido de taninos, en comparación con el grano integral, confirmando una vez más que tanto el perlado del grano, el remojo y la cocción son procesos que disminuyen la concentración de taninos debido a que el mayor por ciento de estos compuestos se encuentra en las capas externas del grano, siendo separados por remoción o pasando al agua durante la cocción en el proceso de precocido.

Composición centesimal.

Al comparar los valores de la composición centesimal del grano perlado con la cifra en su forma integral, se aprecia como existen diferencias significativas ($p<0.05$) en cuanto al valor energético y todos sus componentes químicos. Se denota una disminución significativa ($p<0.05$) en el contenido de proteínas, cenizas y grasas en los granos perlados en comparación con el integral. Esto tal como se mencionó, se debe a que el tratamiento tecnológico elimina las partes más externas del grano como son las capas del pericarpio y el germen, que contienen un porcentaje considerable de dichos componentes. Con respecto al grano precocido-perlado, se apunta que el tratamiento de precocido aumenta ligeramente de forma significativa el contenido de proteínas y cenizas en comparación con la muestra de sorgo que solo fue perlada. Ello corrobora que durante el

TABLA 30. Efecto de los procesos de perlado y precocido perlado sobre el contenido de ácido tánico y algunos nutrientes del sorgo procesado de la variedad ISIAP-DORADO. ^(1, 2)

Componentes	Sorgo integral	Sorgo perlado	Sorgo precocido-perlado
Humedad (%)	10.96 (0.20) a	9.30 (0.01) b	8.33 (0.30) c
Proteínas (%)	12.25 (0.05) a	10.76 (0.04) b	10.61 (0.07) b
Cenizas (%)	1.76 (0.03) a	0.87 (0.04) c	1.17 (0.06) b
Grasas (%)	3.75 (0.08) a	0.92 (0.03) b	0.92 (0.04) b
Carbohidratos (%)	82.21 (0.18) b	87.45 (0.04) a	87.2 (0.28) a
Valor energético (Kcal/100g)	415.55 (0.61) a	401.12 (0.14) b	399.6 (1.18) b
Fibra dietética (%)			
Soluble	1.4 (0.07) a	0.9 (0.02) b	0.8 (0.10) b
Insoluble	8.3 (0.05) a	7.4 (0.03) b	7.0 (0.08) b
Total	9.7 (0.06) a	8.3 (0.03) b	7.8 (0.09) c
Acido tánico (%)	0.30 (0.08) a	0.25 (0.01) b	0.25 (0.04) b
Minerales (mg/100g):			
Hierro	9.23 (0.60) a	6.43 (0.4) b	8.9 (0.90) a
Zinc	4.37 (0.20) a	3.18 (0.21) b	4.37 (0.31) a
Cobre	0.55 (0.03) a	0.44 (0.03) a	0.55 (0.06) a
Calcio	13.0 (0.30) a	10.8 (0.50) b	13.2 (0.30) a
Magnesio	122.0 (8.0) a	118.0 (9.0) b	122.0 (6.0) a
Sodio	86.0 (2.0) a	73.0 (5.0) b	63.0 (5.0) c
Potasio	272.0 (14.0) a	207.0 (5.0) b	192.0 (6.0) c

(1) Valores medios de tres determinaciones, expresados en base seca excepto la humedad. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.
(2) Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para $p < 0.05$.

proceso de precocción se involucra en el grano una migración de estos elementos, desde las capas más externas de este, hacia su interior. Este fenómeno igualmente fue encontrado por otros investigadores durante la precocción de los granos de arroz, como lo informó Bhattacharya, (1986).

En cuanto al valor energético, se denota que los granos de sorgo integral, perlado y precocido-perlado aportan más de 399 Kcal por 100 g del cereal, superior a la contribución energética de 100 g del arroz crudo para consumo directo que es de 354 Kcal como se indica en la tabla de composición de alimentos realizada por el MIA y el INHA, (1985), por lo que se puede decir, que el sorgo constituye una fuente importante de calorías. Referente a los contenidos de proteínas, se observa que tanto el sorgo perlado como el precocido-perlado presentan valores superiores a lo publicado para el arroz consumo crudo en la mencionada tabla de composición, donde se informa un valor de 8.8 % (IIIA- INHA, 1985), de ahí que este cereal y sus granos elaborados pueden ser utilizados al igual que el arroz, en el desarrollo de alimentos para el consumo humano.

Fibra dietética.

La tabla 30 también resume los resultados obtenidos en cuanto a la fibra dietética total, insoluble y soluble que exhibe el grano de sorgo en las tres variantes analizadas. De esta tabla, se puede mencionar que la muestra de sorgo integral presenta el mayor porcentaje de fibra dietética insoluble, al compararlas con las muestras de sorgo sometidas a tratamientos de perlado y precocido. Este es un resultado esperado, pues en este cereal, la fibra insoluble está constituida mayoritariamente por celulosa que se encuentra en mayor medida en las capas de envolturas y, como plantearon Cornu y Delpeuch, (1981) el tratamiento de perlado al grano, le reduce significativamente su contenido de fibra, al eliminarse las capas de envoltura ricas en celulosa.

Las cifras alcanzadas en fibra insoluble y soluble difieren significativamente ($p < 0.05$) entre el del grano integral y las muestras de sorgo perlado y precocido-perlado, pero estos últimos no difieren significativamente entre sí. Sin embargo los valores de la fibra total son significativamente diferentes entre las tres muestras de los granos analizados.

Minerales y vitaminas.

Otro aspecto importante a destacar en el análisis de la tabla 30, radica en la obtención de valores significativamente inferiores de minerales, cuando el grano se somete al tratamiento de perlado. Esto se corresponde con un resultado esperado, por cuanto este

proceso elimina las partes de mayor contenido mineral, como son las capas de revestimiento y el germen, confirmando lo señalado por Hubbard y col., (1950) cuando plantearon la ocurrencia reductiva en el porcentaje mineral del grano de sorgo al aplicar un tratamiento abrasivo. Pero, como también se observa en la tabla, si primeramente se somete el grano a un tratamiento de precocción y luego se le aplica el proceso de perlado, entonces la disminución del contenido en minerales experimentado con ambos procesos no ocurre en la misma magnitud (no se detectan diferencias significativas ($p < 0.05$) con el grano integral para el caso de Ca, Mg, Fe, Cu y Zn), ratificando que durante el proceso de precocción ocurre una migración de estos elementos hacia el interior del grano, corroborando lo planteado por Bhattacharya, (1986) cuando se precocce el grano de arroz.

3.6 Obtención y caracterización físico-química y reológica de almidón de sorgo.

En el proceso para la obtención de almidón mediante el proceso de molienda húmeda, se utilizó el bisulfito de sodio como agente que contribuye a facilitar la separación del almidón en el grano de sorgo, confirmándose la buena alternativa de actuación de este agente químico que garantiza las regulaciones sanitarias al estar en bajas concentraciones y no dejar residuos en el almidón como señalaron Rausch y col., (1993). En la figura 10 se ilustra el diagrama del proceso empleado para la obtención del almidón de sorgo.

En los resultados experimentales de la aplicación del diseño de superficie del tipo compuesto central bidimensional, tuvieron un efecto significativo en la obtención de almidón, los siguientes factores: concentración de bisulfito y tiempo de remojo, en sus formas lineales así como el tiempo de remojo, en su coeficiente cuadrático (anexos 13 y 14). La ecuación del modelo obtenido fue:

$$\% \text{ Almidón} = 54.96 + 1.46 (\text{concentración de bisulfito}) + 1.25 (\text{tiempo de remojo}) - 2.52 (\text{tiempo de remojo})^2$$

Como se observa en la ecuación, influye de manera positiva la concentración de bisulfito y el tiempo de remojo, pero en este último interviene su coeficiente cuadrático de manera, negativa, lo cual limita un excesivo incremento en el tiempo de remojo. Al analizar los contornos de la superficie de respuesta obtenida para este modelo (figura 13), se infiere

Resultados y Discusión

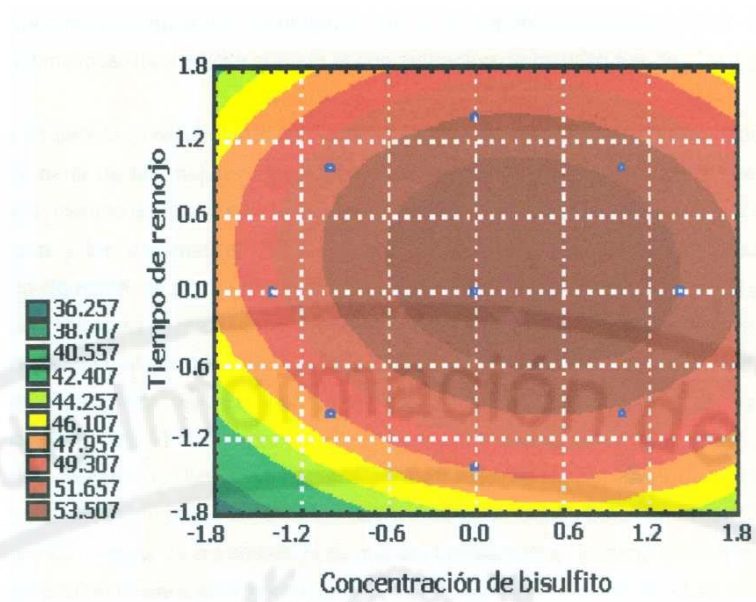


Figura 13. Contornos de la superficie respuesta sobre el efecto de la concentración de bisulfito de sodio y el tiempo de remojo en el rendimiento en almidón.

que los rendimientos mayores, se obtienen cuando la variable tiempo está entre -1 y 1 (de 210 a 270 minutos, (tabla 12) y cuando la concentración de bisulfito fue de -1 a 1 (de 0.2 a 0.3%).

La tabla 31 señala el rendimiento promedio del almidón de sorgo seco pulverizado que se obtiene a partir de las mejores condiciones del diseño, así como sus valores medios, en cuanto a contenido de humedad, proteínas y cenizas. También, la tabla ilustra el contenido de amilosa y los parámetros visco-amilográficos. Del análisis de la misma se puede señalar lo siguiente: se logra un proceso de molienda húmeda, donde a partir del grano de sorgo, se obtienen porcentajes de almidón seco superiores al 50% del peso inicial del grano empleado (valor medio obtenido igual a 54.35 % b.s.), lo que corresponde a un buen rendimiento para este proceso, si se compara con los resultados alcanzados por otros investigadores como Yang y Seib, (1996a) y Seib y Xie, (2000) los cuales a partir de otras variedades de sorgo realizaron extracciones de almidón con porcentajes de rendimientos entre 50 y 60 %, o el logrado en el rango de 53 a 64% por Serna-Saldivar, (1998). Asimismo, los valores de humedad y cenizas del almidón obtenidos se encuentran dentro del rango permitido para este producto y el porcentaje en proteínas de 0.72 % fue muy similar al 0.74 % alcanzado por Yang y Seib, (1996a) para el grano de sorgo de otra variedad. Por otra parte, el contenido de amilosa de 20.0 % presente en el almidón de sorgo elaborado, se encuentra en el valor límite del rango (20 a 30 %) reportado en la literatura, el cual varía en dependencia de la variedad de este cereal y las características estructurales de formación del contenido ceroso o harinoso del endospermo en el grano de sorgo (FAO, 1995a). Los resultados logrados por otros investigadores sobre el contenido de amilosa para sorgos de otras variedades estuvieron en el nivel del 22.0 al 27.8 % (Carcea y col., 1992).

Referente a los resultados visco-amilográficos que presenta el almidón en la tabla 31, se puede señalar que estos son muy semejantes a los informados por otros investigadores para otras variedades de sorgos (Subramanian y col., 1994 y Subramanian y Hosney, 1995). El almidón de sorgo obtenido posee una consistencia de pasta (450 UB) y una temperatura de pico de gelatinización de 67.8 °C, ligeramente superior al que presenta normalmente el almidón de maíz, ya que su rango oscila entre los 62 a 72 % y como ha observado Serna-Saldivar, (1998), ambos almidones tienen características visco-amilográficas casi idénticas. Los resultados reafirman igualmente lo señalado por

TABLA 31. Características generales del almidón de sorgo obtenido en el proceso de molienda húmeda.

<u>CARACTERISTICAS</u>	<u>Valores obtenidos</u>
Parámetros físico-químicos ⁽¹⁾	
Humedad del almidón de sorgo seco pulverizado (%)	8.57 (0.03)
Cenizas del almidón de sorgo seco pulverizado (%)	0.45 (0.04)
Proteínas del almidón de sorgo seco pulverizado (%)	0.72 (0.09)
Cantidad de amilosa (%)	20.0 (0.36)
<u>Parámetros amiloográficos⁽²⁾</u>	
Temperatura de pico viscosidad (°C)	67.8
Pico de máxima viscosidad (UB)	560
Consistencia del almidón a 95 °C (UB)	450
Consistencia después de 1 hr (UB)	310
Caída de consistencia a 95 °C (UB)	250

(1) Valores medios de tres determinaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.
(2) Valores medios de tres determinaciones.

Subramanian y col., (1994), cuando plantearon que el almidón de sorgo es típico de los almidones de cereales.

3.6.1 Análisis térmico diferencial de barrido.

En las figuras 14, 15, 16 y 17 se exponen las curvas obtenidas en los análisis térmicos diferenciales de barrido realizados al almidón de sorgo elaborado y al almidón de trigo como muestra comparativa. De los resultados generales obtenidos en estos análisis para el almidón de sorgo, se confirman las características típicas de los almidones que se producen a partir de los cereales. En la figura 14, se muestra la curva del rango de gelatinización para el almidón de sorgo, observándose que el flujo de calor reversible en el almidón de sorgo presenta dos transiciones de importancia: la primera a 38.07 °C y la segunda a 52.30 °C, con una temperatura máxima de gelatinización de 66.38 °C, en un rango de zona de gelatinización que abarca el intervalo entre 39 a 75 °C, con una entalpia de 42.67 J/g, muy similar a las zonas de gelatinización de los almidones obtenidos de cereales y con valores de pico de gelatinización semejantes a lo reportado por Beta y col., (2001). Estos investigadores informaron al estudiar 10 variedades diferentes de sorgo, que la temperatura del pico de gelatinización para el almidón de este cereal, ocurrió en el rango de 66 a 69 °C.

La figura 15, ilustra la curva de flujo de calor total por calorimetría diferencial de barrido modulado en el intervalo de 25 a 80 °C. Se aprecia la obtención del valor de 59.36 °C para la temperatura máxima de transición del almidón de sorgo, con inicio a temperatura de 33.14 °C y entalpia de 382.8 J/g, mientras para el almidón de trigo que se empleó como comparación, el valor de la temperatura máxima de transición fue de 58.15 °C, con inicio en 40.75 °C, esto denota una similitud en los resultados para ambos almidones.

La figura 16, muestra la curva de la fase de evaporación de agua residual para ambos almidones, destacándose la proximidad del comportamiento en las características del almidón de sorgo, al compararse con el almidón de trigo. Para el almidón de sorgo, la temperatura máxima para la transición de primer orden corresponde a 102.74 °C con una entalpia de 463 J/g. En el caso del almidón de trigo el valor se muestra a 104.97 °C con una entalpia de 1037 J/g. Esto significa que el almidón de trigo en esta fase, posee una mayor cantidad de agua en sus gránulos, posterior a la gelatinización (zona donde se

Resultados y Discusión

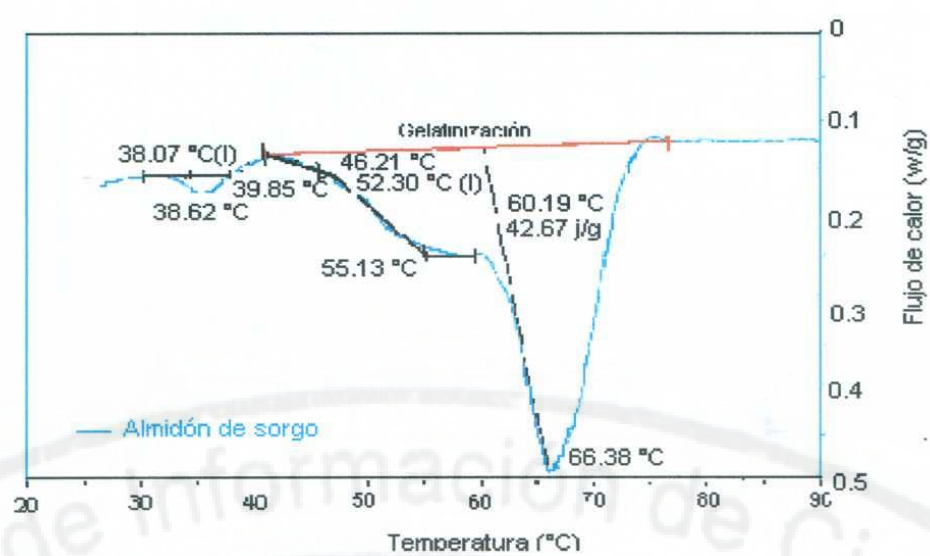


Figura 14. Curva del rango de gelatinización para el almidón de sorgo.

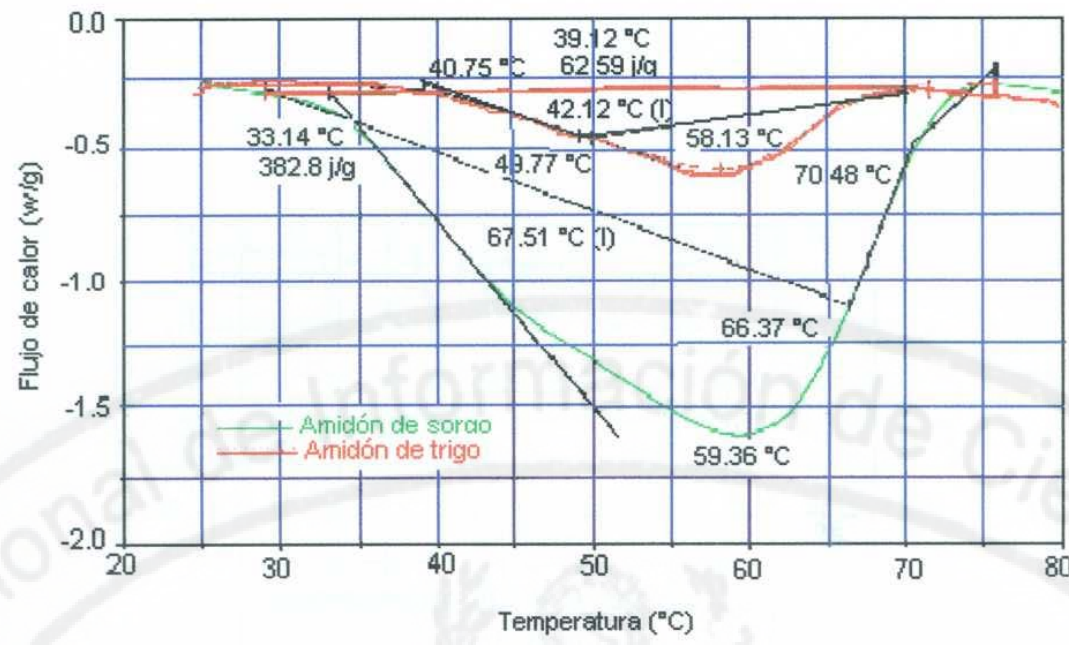


Figura 15. Curva de flujo de calor total por calorimetría diferencial de barrido modulado en el intervalo de 25 a 80 °C

Resultados y Discusión

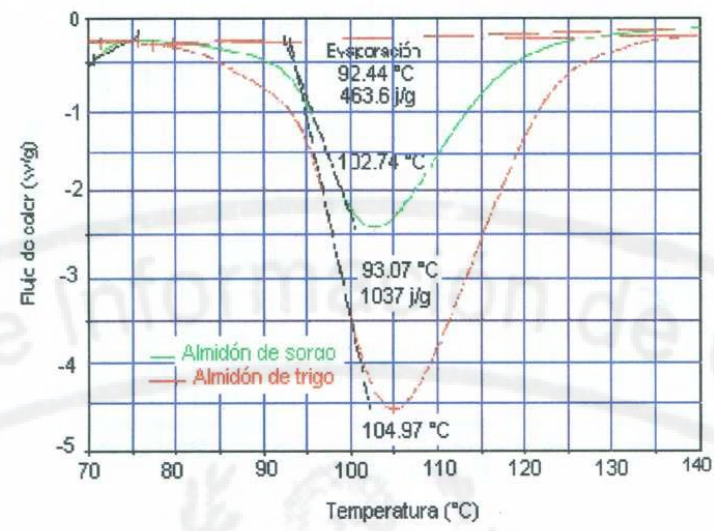


Figura 16. Curva del comportamiento de la fase de evaporación de agua residual para los almidones de sorgo y trigo.

Resultados y Discusión

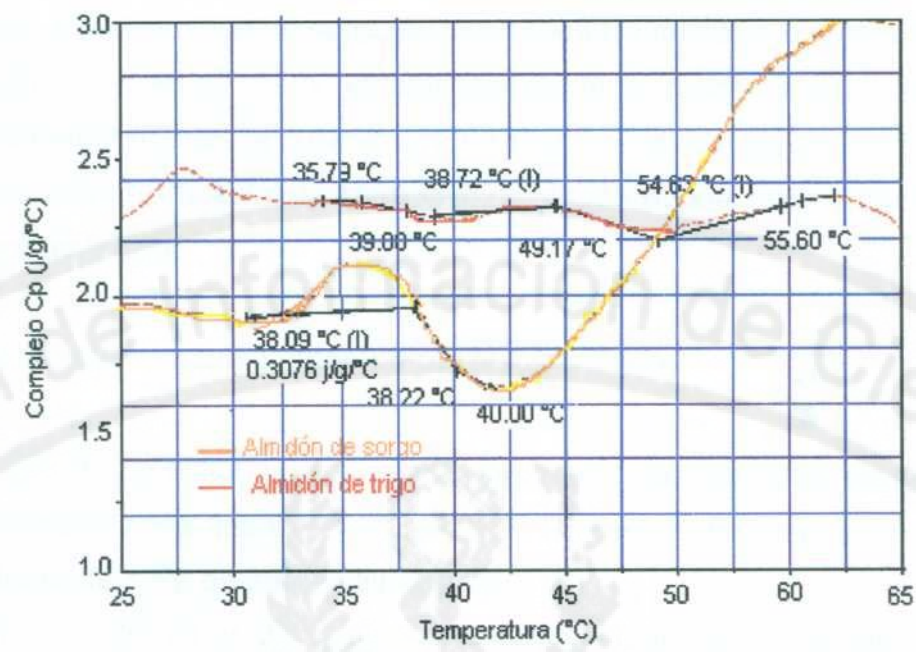


Figura 17. Curva del comportamiento del complejo Cp para el almidón de sorgo y trigo.

expresan la absorción y la difusión de humedad), constituyendo la diferencia principal entre ambos almidones comparados.

Por otra parte, en la figura 17 que ilustra la curva del comportamiento del complejo Cp para ambos almidones, se puede observar, que para el almidón de sorgo el complejo Cp resulta muy cercano al del almidón de trigo, con valores iniciales de 1.99 y 2.29 $\text{J/g}^\circ\text{C}$ respectivamente. En el almidón de sorgo se distinguen los cambios estructurales de mayor importancia sobre los 40.07 $^\circ\text{C}$ y el almidón de trigo presenta los cambios en las transiciones correspondientes a 37.82 $^\circ\text{C}$ y un segundo a los 54.63 $^\circ\text{C}$. Estos cambios estructurales se deben a la primera transición G, donde ocurre un reordenamiento en la micro-estructura molecular.

3.6.2 Pruebas de cizallamiento estacionario y oscilatorio.

Las curvas de barrido de esfuerzo que se realizaron primeramente para ambos almidones, muestran una amplia zona lineal (0.5-2.5 Pa). El barrido de frecuencia se efectuó a un esfuerzo constante de 1 Pa en ambos almidones.

Las figuras 18, 19, 20 21 y 22 muestran los resultados de los análisis reométricos experimentados al almidón de sorgo y al almidón de trigo empleado en la comparación. Los resultados de cizalla oscilatoria se presentan en la figura 18, en la cual se ilustra el espectro mecánico obtenido para el almidón de sorgo y el almidón de trigo a una concentración de 3.5 % y realizadas a 25 $^\circ\text{C}$. Del análisis de estas curvas, se observa que aunque ambos almidones presentan tendencias de las curvas muy similares, al tener pendientes positivas y manifestar características de formación en sus almidones de un gel tipo suave, pues la curva del modulo de almacenamiento G' se encuentra por encima de la curva del modulo de pérdida G'' , el almidón de sorgo, presenta módulos que corresponden a un gel más fuerte que el del almidón de trigo, al obtener la curva G' por encima de la de trigo. Esta propiedad puede ser útil desde el punto de vista tecnológico, ya que si el almidón de sorgo se emplea en un producto alimenticio, este proporciona la misma consistencia deseada, con menor cantidad del que se necesitaría con el de trigo. Como se ilustra en la misma figura 18, las viscosidades complejas obtenidas a frecuencias mayores a 1Hz son muy parecidas (curvas superpuestas), lo que demuestra de forma general que las características de ambos almidones son semejantes.

Resultados y Discusión

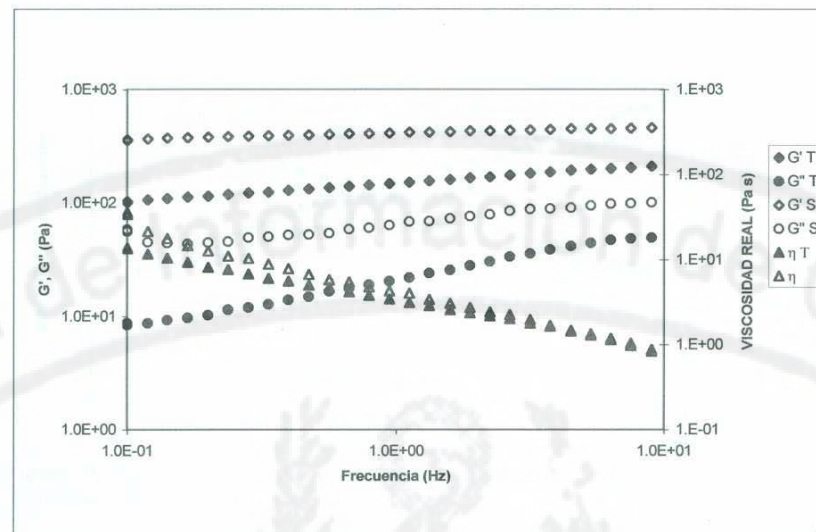


Figura 18. Curva de barrido de frecuencia para el almidón de sorgo y de trigo a 3.5 % de concentración, 25 °C

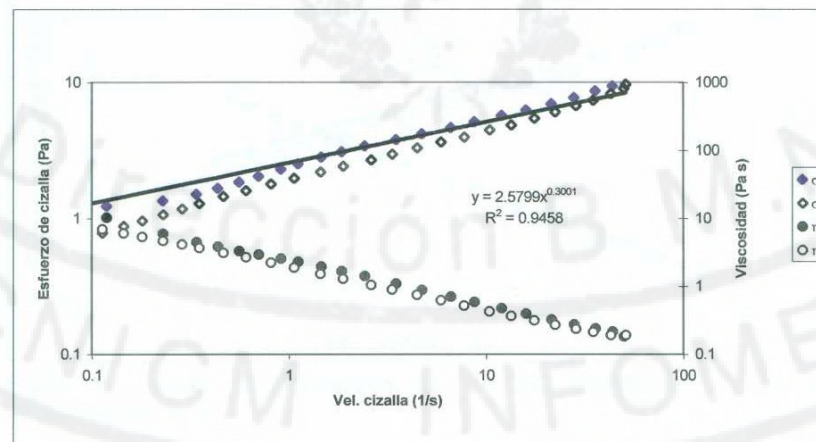


Figura 19. Curva de flujo de ascenso y descenso del almidón de sorgo a 3.5 % de concentración, 25 °C

Resultados y Discusión

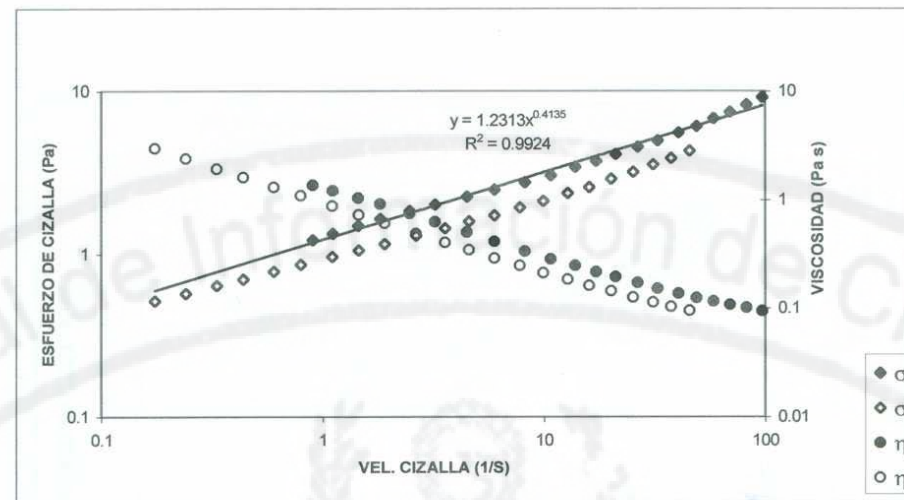


Figura 20. Curva de flujo de ascenso y descenso para el almidón de trigo al 3.5 % de concentración, 25 °C

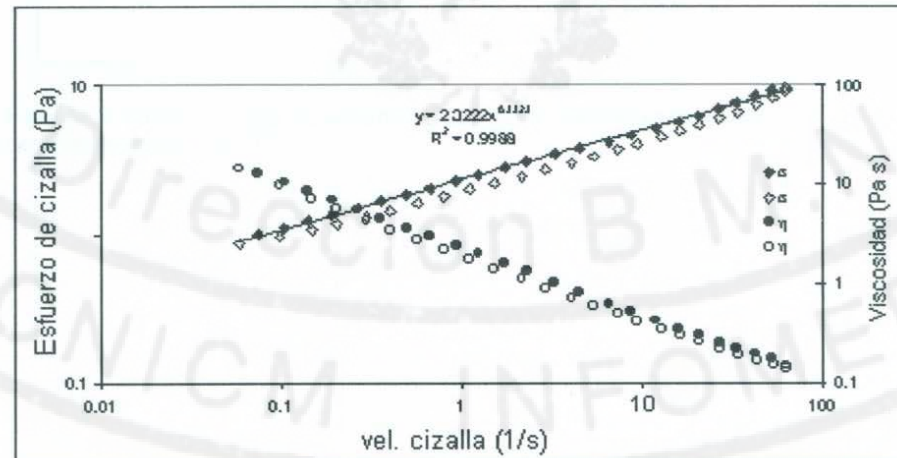


Figura 21. Curva de flujo de ascenso y descenso para el almidón de sorgo al 3.5% de concentración, 50 °C

Resultados y Discusión

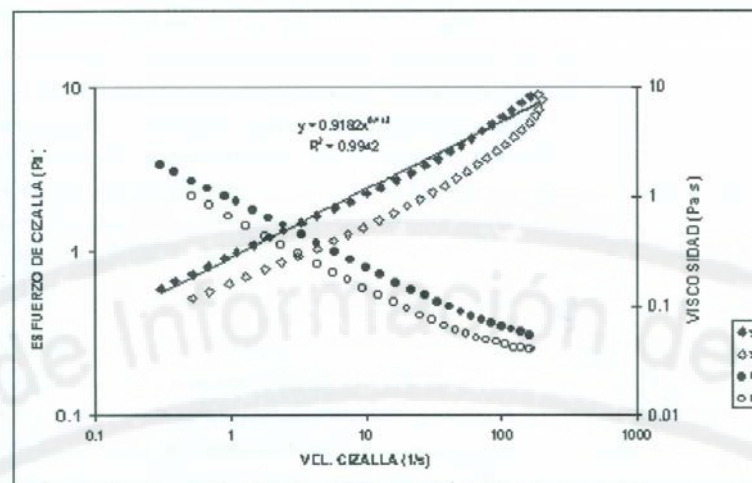


Figura 22. Curva de flujo de ascenso y descenso para el almidón de trigo al 3.5 % de concentración, 50 °C

En las figuras restantes, se presentan los resultados obtenidos para ambos almidones después de realizarse las pruebas en cizallas estacionarias, curvas de flujo de ascenso y descenso a 3.5 % de concentración y temperaturas de 25 y 50 °C.

En estas curvas (figuras 19, 20, 21 y 22), se observa que el almidón de sorgo se manifiesta como un almidón de comportamiento dependiente del tiempo (tixotrópico), por lo que esta característica se debe tener en cuenta para la elaboración de cualquier alimento. En el caso del almidón de trigo, este también evidencia igual carácter, pero con una formación de gel más débil que la presentada por el almidón de sorgo, ya que la viscosidad del almidón de trigo en la curva de descenso se observa ligeramente más afectada que para el almidón de sorgo. La curva de ascenso, se ajusta al modelo de Ostwald y por regresión se calcularon las constantes del modelo de Ostwald (K y n) de la fórmula $\sigma = K \dot{\gamma}^n$, donde σ es el esfuerzo de cizalla aplicado y $\dot{\gamma}$ es la velocidad de cizalla medida. Se obtuvieron las curvas potenciales del esfuerzo de cizallamiento (curvas de ajustes) con valor de regresión superior a 0.9458. Para la curva del almidón de sorgo a 25 °C el valor del índice de comportamiento al flujo corresponde a 0.30 y el de trigo resulta a 0.41, lo que indica que el almidón de sorgo es más adelgazante a la cizalla. El índice de consistencia (K) es mayor para el almidón de sorgo (2.58 Pa sⁿ) que para el almidón de trigo (1.23 Pa sⁿ), como consecuencia de lo anterior las viscosidades de ambos almidones son similares a diferentes velocidades de cizallas, confirmando lo observado en las curvas de barrido de frecuencia. Además, tanto para el almidón de sorgo como para el de trigo, el índice de consistencia (K) disminuye con la temperatura, aunque para el almidón de sorgo un aumento de temperatura repercute menos en la viscosidad, en comparación con el almidón de trigo. En las figuras 19 y 21 se destaca el hecho que a 50 °C para el almidón de sorgo, el índice de comportamiento (n) aumenta con la temperatura, mientras que para el trigo se mantiene constante (ver figuras 18 y 20).

Al ser el almidón de sorgo un producto no newtoniano, tixotrópico y adelgazante a la cizalla, se deben tener en cuenta estas características en la aplicación alimentaria a la que se le destine, por ejemplo, si se utiliza como espesante, hay que considerar que su viscosidad va a disminuir por efecto del tiempo de cizallamiento y la velocidad a la que se someta en operaciones de mezclado, bombeo, entre otras. También se debe valorar, el comportamiento reológico esperado en los alimentos donde se intente aplicar.

Estos análisis reológicos realizados al almidón de sorgo, corroboran lo señalado por otros autores como Beta y Corke, (2001) y Carcea y col., (1992), cuando afirmaron que el almidón de este cereal se puede emplear en la industria alimenticia de igual manera al que se utiliza de otros cereales como el de trigo o maíz, no obstante sería interesante aplicarlo en algún tipo de producto.

3.7 Utilización de la harina de sorgo en la elaboración de productos horneados.

3.7.1 Evaluación reológica de las mezclas de harinas trigo-sorgo.

En la tabla 32 se recogen los resultados del estudio reológico realizado a las mezclas de harina de trigo-sorgo y la muestra control. Al analizar primeramente, los valores que presentaron los indicadores farinográficos de las harinas en estudios, se aprecia una tendencia al decremento progresivo de estos parámetros reológicos, en la medida que aumenta el porcentaje de la harina de sorgo, a valores superiores al 10 % en las mezclas elaboradas. Este comportamiento se debe principalmente a la carencia de gluten que se encuentra presente en este tipo de harina, que hizo mermer las propiedades viscoelásticas de las masas al esfuerzo mecánico intensivo ejercido durante el amasado. Así, se observa en los valores plasmados en la tabla, una tendencia a disminuir la estabilidad de permanencia de la curva sobre la línea de los 500 U.B. a medida que se incrementa la sustitución de la harina de trigo por la de sorgo. Este valor, generalmente indica la tolerancia de la harina al mezclado.

Un comportamiento semejante y significativo ($p < 0.05$) se produce para los tiempos de salida, donde a medida que se aumenta la adición de harina de sorgo a las mezclas, disminuyeron sus valores. Se debe entender que a mayor tiempo de salida, las harinas serán más fuertes.

De igual forma se acrecienta significativamente ($p < 0.05$) el indicador: debilitamiento de las masas, transcurridos 20 minutos al esfuerzo mecánico expresado U.B., en la medida que se aumenta progresivamente la incorporación de harina de sorgo a las masas. Este parámetro igualmente expresa la fortaleza de la harina, por lo que a mayor valor, más débil es la harina.

TABLA 32. Indicadores farinográficos, alveográficos y número de caída en las mezclas de harina trigo-sorgo y la harina de trigo control.				
Indicadores	Muestras de harinas			
	Control	Mezcla90/10	Mezcla80/20	Mezcla70/30
Farinogramas ⁽¹⁾				
Absorción de agua (%)	56.47 (0.04) a	56.30 (0.00) a	55.69 (0.07) b	52.86 (0.00) c
Tiempo de arribo (min)	1.0 (0.00) a	1.0 (0.00) a	0.5 (0.00) b	0.5 (0.00) b
Tiempo de desarrollo (min)	6.5 (0.35) a	1.5 (0.35) b	5.0 (0.35) c	6.0 (0.35) a
Estabilidad (min)	19.0 (0.35) a	17.0 (0.50) b	13.5 (0.00) c	13.0 (0.61) c
Tiempo de salida (min)	20.0 (0.35) a	18.0 0.35) b	14.0 (0.35) c	14.0 (0.61) c
Debilitamiento A los 20 min (U.B.)	45.0 (0.35) a	65.0 (0.00) b	95.0 (5.00) c	90.0 (0.00) d
Alveogramas ⁽²⁾				
P (mm)	83(2.12) c	90(0.71) b	113(1.12) a	109(2.12) d
L (mm)	80(8.19) a	70(7.93) b	30(2.55) c	26(1.58) d
G (mL)	20(0.98) a	19(1.17) a	12(0.50) b	11(0.43) b
WOO^J)	220(7.28) a	200(7.58) b	145(4.18) c	120(7.21) d
P/L	1.04 (0.11) d	1.28 (0.29) c	3.88 (0.36) b	4.30 (0.30) a
Número de caída ⁽³⁾				
Índice de caída (seg)	445(9.90) c	464(5.66) b	461(9.90) b	481(4.24) a

(1) Valores medios de tres determinaciones (base 14 % de humedad). Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para $p < 0.05$. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Valores medios de tres determinaciones. Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para $p < 0.05$.

(3) Valores medios de dos determinaciones. Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para $p < 0.05$.

Un índice de gran importancia económica en la producción de pan es la absorción de agua que tiene la harina. Este indicador, al igual que el tiempo de arribo no presenta diferencia significativa ($p < 0.05$) comparado con el control, cuando se sustituye la harina de trigo por harina de sorgo en un 10 %. Sin embargo, aparece la variación significativa ($p < 0.05$), cuando la sustitución se aumenta a niveles superiores.

Del análisis general de los resultados farinográficos obtenidos, es de destacar que la mezcla de harina trigo-sorgo al 10 % de sustitución, fue la que presentó las cifras más cercanas al control tomando como referencia, la estabilidad, el tiempo de salida y el debilitamiento a los 20 minutos de la masa.

Los resultados farinográficos obtenidos en este trabajo, son muy similares a los logrados por Jythesna y Venkateswara, (1997) para las mezclas de harinas de trigo y sorgo de otras variedades. Antes de comenzar a analizar los valores alveográficos se debe recordar que el valor "W" representa el área bajo la curva o la fuerza total de la harina, el índice "P" se relaciona con la resistencia de la masa a la deformación, el parámetro "G" da una medida de la capacidad de hinchamiento, mientras "L" representa la caída de la presión por la ruptura de la bola (Quaglia, 1991).

El índice "W" disminuye significativamente ($p < 0.05$) con respecto al control, resaltando que aunque es significativa la variación, no es tan distante para el 10 % de adición y, sí se observa un mayor decremento cuando la sustitución se hace mayor. Los parámetros "P" y "L" también muestran cambios significativos entre el control y la mezcla sustituida al 10 %, no así el índice "G". A partir del 20 % de adición de la harina de sorgo, los índices evaluados presentan diferencias más marcadas comparadas al control y no se comportan de igual forma. Un análisis general de las características alveográficas en las mezclas estudiadas, denota que a partir del 10 % de sustitución, se manifiestan variaciones significativas ($p < 0.05$) con el control en los diferentes indicadores evaluados, confirmando lo expresado por Bugusu y col., (2001) quienes señalaron que la sustitución de la harina de trigo por la de sorgo provoca en la medida que esta última se incrementa, un efecto negativo sobre las características reológicas y panificables de las mezclas.

Los análisis del número de caída reflejados también en la tabla 32, dan un criterio de la actividad alfa-amilásica que presentan las mezclas de harinas estudiadas. Los resultados obtenidos señalan una actividad amilásica débil, por los altos valores alcanzados,

superiores en todos los casos a 300 segundos en todas las mezclas de harinas trigo-sorgo y las muestras control analizadas. Esto refleja, que la incorporación de la harina de sorgo, cuando se mezcla con harina de trigo (sobre todo si la harina de trigo en cuestión, tiene también una baja actividad amilásica) no contribuye a lograr un equilibrio enzimático adecuado para una harina que se desea emplear en la elaboración de pan. Este deficiente contenido amilásico que posee la harina de la variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO, coincide con los resultados logrados por Muoria y col., (1999), al informar el bajo nivel detectado de estas glicosidasas en las harinas hechas con granos de sorgo de otras variedades.

Debido a esta deficiencia, para lograr el equilibrio adecuado en las mezclas de harinas trigo-sorgo, se necesitaría la incorporación de dosis adecuadas de agentes enzimáticos que comúnmente se utilizan para suprimir estos efectos negativos en las harinas utilizadas en la elaboración de pan.

3.7.2 Elaboración y evaluación de pan de corteza suave.

En la tabla 33, se reflejan los resultados de las corridas experimentales de panificación, utilizando harina sorgo como extensor. Se aprecia cómo a medida que se incrementan los niveles de sustitución de harina de sorgo por harina de trigo, repercute de manera negativa y significativa ($p < 0.05$), en los índices de calidad del pan (desarrollo y volumen específico del pan) al ser comparados con la muestra control de trigo, no obstante el volumen específico logrado en el pan con el 10 % de harina de sorgo, no resulta significativamente diferente ($p < 0.05$) al control. Estos resultados son de esperar, pues la harina de sorgo al no poseer gluten como la harina de trigo, no es considerada una “harina de panificación”, pero sí se incluye como una harina sucedánea (Calvel, 1983).

Con seguridad, se puede señalar que el volumen deseado del pan, con mezclas de harina trigo-sorgo, va a depender esencialmente de la calidad y fortaleza que presente la harina de trigo utilizada en la mezcla. Resultados semejantes con otras materias primas sucedáneas de la harina de trigo se han obtenido en el país (Domínguez, 1991; Alvarez y col., 1994 y Díaz, 1998).

El valor no significativo logrado en lo referente al volumen específico en el pan con la mezcla 90/10 comparado con la muestra control y la obtención de la mayor puntuación en el PES realizado por los catadores, en relación a las características sobre el aspecto

TABLA 33. Parámetros obtenidos en las corridas experimentales de panificación para las mezclas de harinas de trigo-sorgo y muestra control.^(1,2)				
Parámetros evaluados	Control trigo	Mezclas harinas trigo / sorgo		
		90 /10	85/15	80/20
Volumen medio de CO ₂ (cm ³) desprendido en 90 min de fermentación (1 ^{era} etapa)	635.9	604.0	593.0	582.3
Tiempo (min) en alcanzar 500 cm ³ de CO ₂ en la etapa de dilatación	53.3 (3.78) a	57.0 (3.00) b	57.0 (3.16) b	58.0 (2.83) b
Volumen de pan (cm ³)	3060 (30.0) a	2995 (13.8) b	2845 (31.6) c	2730 (25.0) d
Peso pan (g)	528.0 (1.0) a	527.0 (1.5) a	527.0 (1.6) a	529 (1.4) a
Volumen específico (cm ³ /g)	5.79 (0.31) a	5.68 (0.34) a	5.39 (0.15) b	5.16 (0.05) c

(1) Valores medios de tres determinaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Letras distintas en la misma fila difieren significativamente para p < 0.05.

externo e interno, olor, sabor y textura en los diferentes panes reflejados en la tabla 34, donde tampoco se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) de este producto con el de la muestra control, hizo posible aceptar como el mejor, el nivel de sustitución al 10 % de la harina de trigo por harina de sorgo en la formulación para la elaboración de pan suave. Posteriormente el producto con el 10 % de sustitución se sometió a su aceptación general por los 80 consumidores potenciales mediante una escala hedónica de 7 puntos y se obtuvo una puntuación media de 6 puntos correspondiente a “me gusta mucho” todo lo cual indica una buena aceptación del producto evaluado.

3.7.3 Elaboración y evaluación de galletas de sal.

Los resultados sobre la utilización de la harina de sorgo, como sustituto de la harina de trigo en la elaboración del producto galletas de sal, apuntan hacia las siguientes consideraciones generales. Primero, la harina de sorgo en los diferentes porcentajes estudiados no afecta las condiciones tecnológicas en cuanto a la elaboración de las masas, manipulación de las mismas, desgasificación mecánica, laminado, troquelado, depositado en bandejas y cocción final de las galletas. Segundo, los rendimientos o mermas en el producto obtenido no varían considerablemente, si se comparan con los valores logrados para la muestra control con 100 % de harina de trigo como se describe en la tabla 35 y, tercero, el incremento paulatino de la sustitución de harina de trigo por harina de sorgo produce con su incorporación, una textura más dura en el producto, afectando progresivamente la crujencia de las galletas, debido a que la harina de sorgo por la carencia de gluten, no contribuye al esponjamiento de las masas.

La tabla 36 resume los resultados emitidos por criterio de 18 jueces experimentados durante la evaluación sensorial realizada a las galletas elaboradas con las diferentes mezclas al realizar una prueba de ordenamiento hedónico por suma de rango. La diferencia absoluta crítica para el ordenamiento por rango tiene un valor 38 para 18 jueces y 6 muestras con el 1 % de significación, según la tabla de Newel y McFarlane, (1987). Los resultados de esta prueba se reflejan en la tabla 37. Se corrobora que no existen diferencias significativas ($p < 0.01$) entre las muestras con 30 y 25 % de sustitución de la harina de trigo, pero sí de estas con los niveles inferiores utilizados de la harina de sorgo. Los porcentajes del 20, 15, 10 % de la harina de sorgo empleados en las mezclas no

TABLA 34. Evaluación sensorial realizada a los panes elaborados con las mezclas de harinas trigo / sorgo y muestra control. ^(1,2)						
Muestra	Aspecto interno	Aspecto externo	Olor	Sabor	Textura	Puntuación
Control	4.23 (0.30) a	2.87 (0.28) a	3.92 (0.25) a	4.95 (0.33) a	2.80 (0.07) a	18.77 a
Mezcla (90 /10)	4.01 (0.32) a	2.77 (0.30) a	3.71 (0.20) b	5.00 (0.31)a	2.72 (0.09) a	18.21 a
Mezcla (85/15)	3.20 (0.29) b	2.60 (0.29) b	3.09 (0.33) b	4.03 (0.28) b	2.32 (0.11) b	15.24 b
Mezcla (80 / 20)	3.21 (0.28) b	2.34 (0.21) c	3.04 (0.32) b	4.07 (0,30) b	2.23 (0.14) b	14.89 c

(1) Valores medios de siete puntuaciones. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.
(2) Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para p< 0.05.

TABLA 35. Mermas en el proceso de elaboración de las galletas elaboradas con mezclas de harina de trigo/sorgo y la muestra control. ⁽¹⁾			
<u>Corridas experimentales</u>	<u>Peso inicial de las muestras (q)</u>	<u>Peso final de las muestras (q)</u>	<u>% merma ⁽²⁾ producto</u>
Control	101.0 (0.01)	77.0 (0.02)	23.76 e
Mezcla 90 / 10	102.5(0.03)	78.0 (0.02)	23.90 a
Mezcla 85 / 15	104.0 (0.04)	79.0(0.01)	24.04 b
Mezcla 80 / 20	96.5(0.01)	72.5 (0.09)	24.87 c
Mezcla 75 /25	104.0 (0.02)	79.0 (0.01)	24.04 b
Mezcla 70 / 30	97.0 (0.03)	75.5 (0.02)	22.16 d

(1) Valores medios de tres determinaciones para el peso de 5 galletas. Cifras entre paréntesis indican la desviación estándar.

(2) Letras diferentes en la misma columna difieren significativamente para p< 0.05.

TABLA 36. Puntuación alcanzada en la prueba hedónica de ordenamiento por rango con 18 jueces experimentados para el producto galletas de sal.

No. Jueces	Porcentaje de harina de sorgo incorporada en galletas					Control
	Mezcla 30%	Mezcla 25 %	Mezcla 20 %	Mezcla 15%	Mezcla 10%	
1	1	1	3	4	4	5
2	1	1	3	4	4	5
3	1	1	3	4	5	5
4	1	1	4	4	5	6
5		1	3	3	5	6
6	1	2	3	4	5	5
7	1	2	4	4	5	5
8	1	1	4	4	5	5
9	1	2	3	4	5	5
10	1	1	3	3	5	5
11	1	1	3	4	5	6
12	1	1	3	4	5	5
13	1	1	4	4	5	5
14	1	1	3	4	5	5
15	1	2	3	4	5	5
16	1	1	4	4	5	5
17	1	1	4	4	5	6
18	1	1	4	4	4	6

TABLA 37. Resultados de la prueba hedónica de ordenamiento por rango realizado al producto galleta de sal.

<u>Muestras</u>	<u>Suma total de puntos</u>	<u>Significación ⁽¹⁾</u> <u>(p ≤ 0.01)</u>
30 % HS	19	b
25 % HS	22	b
20 % HS	61	a
15 % HS	70	a
10 % HS	87	a
Control	95	a

(1) Letras diferentes difieren significativamente entre muestras para p < 0.01.

poseen diferencias significativas ($p < 0.01$) entre ellos, ni con la muestra control, en cuanto al ordenamiento hedónico realizado.

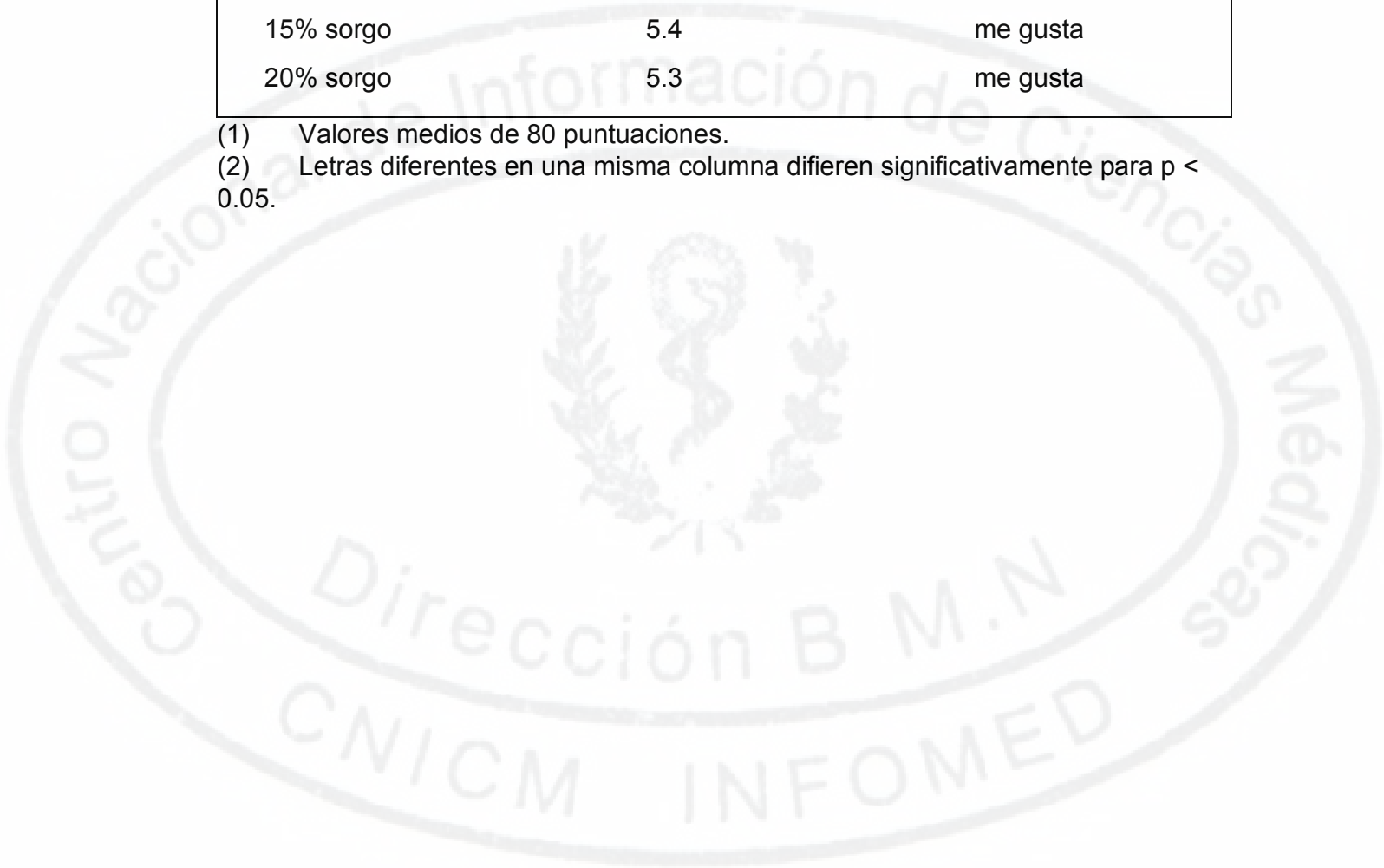
Ulteriormente, se tomaron las galletas elaboradas con incorporación igual o inferior al 20% de harina de sorgo para ser analizadas sensorialmente por un panel de consumidores potenciales. La tabla 38, resume los resultados de estas pruebas sensoriales, señalando las puntuaciones medias de los diferentes niveles analizados. Se apunta que las galletas con 10 % de la harina de sorgo se clasificaron en la escala como “me gusta mucho”, no así para el caso del 15 y 20 %, que se aceptaron por los consumidores con la clasificación en la escala de “me gusta”, esto quizás se debió a la afectación en la masticabilidad de las galletas que le imparte la harina de sorgo carente de gluten, lo que fue detectado por los consumidores y por esta razón la ubicación en un peldaño inferior de la escala. No obstante, los productos elaborados con estos tres niveles de sustitución fueron aceptados.

3.7.4 Elaboración y evaluación de un dulce (tortica).

En relación con los resultados de la utilización de la harina de sorgo mezclada con la harina de trigo en la preparación de un producto horneado dulce (tortica o polvorón) se encontraron las siguientes observaciones durante el trabajo experimental de elaboración. Primero, la incorporación de la harina de sorgo, disminuye el volumen del producto en comparación con la muestra control, al presentar esta un valor medio de 48 mL de agua desplazada, mientras el dulce con un 30 % de harina de sorgo obtuvo solamente 38 mL, lo cual hace que este nivel manifieste una afectación del 20.8 % comparado con el volumen de la muestra control. Segundo, la adición de la harina de sorgo incrementa gradualmente la coloración del producto, aunque no de manera drástica. Tercero, con los tres niveles de mezclas utilizadas se logran elaborar las torticas, no existiendo inconvenientes en las diferentes etapas tecnológicas de preparación. La etapa de horneo se comportó sin grandes variaciones para todos los niveles estudiados, se produce una pérdida de humedad del 18 al 20 % en los productos, con un valor medio en el peso final de 24.17 g de una masa inicial de 30 g en la muestra control y 24.6 g para la del 30 % de harina de sorgo.

TABLA 38. Puntuación alcanzada por la evaluación sensorial de consumidores potenciales al producto galleta de sal.		
Muestras	Puntuación alcanzada ^(1,2)	Nivel de aceptación
Control	5.9	me gusta mucho
10% sorgo	5.7	me gusta mucho
15% sorgo	5.4	me gusta
20% sorgo	5.3	me gusta

(1) Valores medios de 80 puntuaciones.
(2) Letras diferentes en una misma columna difieren significativamente para p < 0.05.



También, se observan en las mezclas con sustitución de harina de trigo por harina de sorgo, una ligera afectación en la textura interior y exterior del producto, las torticas o polvorones presentan granos más gruesos en el interior y una superficie menos lisa en la medida que la cantidad de harina de sorgo sustituye a la harina de trigo, en comparación con la muestra control.

La tabla 39 señala los resultados de la prueba hedónica de ordenamiento por rango con 18 jueces experimentados realizados al producto. Se obtuvo para el posterior análisis de los mismos que la diferencia absoluta crítica para 18 jueces y 4 muestras de acuerdo a la tabla de Newell y MacFarlane, (1987) para el 1 % de significación es 25.

Los resultados procesados que se ilustran en la tabla 40, señalan que las muestras con contenidos de 10 y 20 % de harina de sorgo en el producto no son diferentes de manera significativa ($p < 0.01$) entre sí, pero sí lo son con respecto al control y a la tortica con 30% de harina de sorgo. Este último producto presenta diferencias con respecto al control para el nivel de significación aplicado.

Posteriormente, se elaboró el alimento con el 20 % de harina de sorgo y 80 % de harina de trigo y se evaluó por 80 consumidores mediante una prueba afectiva de escala hedónica de 7 puntos (anexo 2). Como resultado de esta prueba sensorial, las torticas alcanzaron una puntuación media de 5.4 para ubicarse en la escala de “me gusta”, lo que implica señalar que el dulce se acepta por los consumidores y, por consiguiente, afirmar que la elaboración de este tipo de producto horneado sustituyendo la harina de trigo por harina de sorgo a este nivel es posible desde el punto de vista tecnológico y de agrado al gusto de los consumidores potenciales.

3.8 Productos enlatados a partir del grano de sorgo perlado.

La aplicación de los granos de sorgo perlados en la elaboración de los productos enlatados no experimenta dificultades en la preparación de los mismos, debido a la semejanza de estos granos con el arroz consumo. Por esta razón, no fue necesario cambiar los procedimientos tradicionales de elaboración que se aplican cuando se utiliza el arroz como materia prima fundamental.

La tabla 41 muestra los resultados de la evaluación sensorial efectuada a los cuatro productos desarrollados. En la misma se observan puntuaciones superiores a 5 puntos en todos los productos enlatados y con criterio de los consumidores general de “me gusta

Tabla 39. Puntuación alcanzada en la prueba hedónica de ordenamiento por rango con 18 jueces experimentados para el dulce “Tortica”				
No. de Jueces	Muestra 30% HS	Muestra 20% HS	Muestra 10% HS	M. Control
1	1	2	3	4
2	1	2	3	4
3	1	3	2	4
4	1	2	3	4
5	1	3	2	4
6	2	3	1	4
7	1	2	3	4
8	1	2	3	4
9	1	3	2	4
10	1	2	3	4
11	1	3	2	4
12	1	2	3	4
13	1	2	3	4
14	1	2	3	4
15	1	3	2	4
16	1	2	3	4
17	1	3	2	4
18	1	3	2	4

TABLA 40. Resultados de la prueba hedónica de ordenamiento por rango realizado al dulce tortica.		
Muestras	Suma total de puntos	Significación ⁽¹⁾ (p<0.01)
30 % HS	19	c
20 % HS	44	b
10% HS	45	b
Control	72	a

(1) Letras diferentes difieren significativamente entre muestras para p ≤0.01.

TABLA 41. Resultados de la evaluación sensorial de los productos enlatados utilizando el grano de sorgo perlado como consumo directo.		
Producto	Puntuación alcanzada ⁽¹⁾	Criterios de iueces
Sorgo cocido	5.9	me gusta mucho
Sorgo con frijol negro	5.5	me gusta mucho
Sorgo cocido con carne	5.5	me gusta mucho
Sorgo con leche	5.6	me gusta mucho

(1) Valor medio alcanzado de 80 puntuaciones.

mucho". Ello permite decir que la introducción del sorgo perlado al igual que el arroz consumo, no motiva rechazos al gusto de los consumidores potenciales, quizás debido al sabor neutro que presentan sus granos y a la cierta similitud una vez cocido con el arroz de amplio consumo popular.

3.9 Aplicación del almidón de sorgo en un producto alimenticio.

La sustitución total del almidón de maíz que tradicionalmente se emplea para la elaboración de panetela fina (capuchino) por el almidón de sorgo, no afectó la preparación y la consistencia adecuada del batido, además, los dulces después de horneados alcanzaron un crecimiento normal y no se observaron anomalías en cuanto a las características externas o internas de los mismos, como tampoco en la coloración de la superficie, ni en la miga.

Las tres corridas experimentales de capuchinos, se sometieron a una evaluación sensorial afectiva con 80 jueces consumidores potenciales para conocer el grado aceptación del producto elaborado. Los resultados de esta evaluación arrojaron una puntuación promedio de 5.9 puntos, para una ubicación del producto en la escala hedónica utilizada de "me gusta mucho", siendo aceptado desde el punto de vista sensorial.

3.10 Análisis económico preliminar de los productos desarrollados.

En el análisis económico preliminar de los productos desarrollados al sustituir materias primas de importación por sorgo de la variedad ISIAP-DORADO se tomaron los datos aportados por Canet y col., (2002), donde se informa que el costo de producción nacional de una tonelada de sorgo de la variedad cubana ISIAP-DORADO y de arroz fue de 90.65 y 143.58 dólares respectivamente, además de indicar las cotizaciones en el mercado internacional para el año 2002 que presentaron el trigo, el arroz, el maíz y el sorgo con los siguientes precios: trigo 153, arroz 149, maíz 106.6 y el sorgo 91.70 dólares por tonelada. Los cálculos desarrollados para conocer el estimado preliminar del ahorro preliminar en divisas convertibles en los productos elaborados se plasman en la tabla 42.

Concerniente a la producción de almidón, si se tienen en cuenta los precios actuales de la tonelada de trigo y maíz, y la de sorgo de producción nacional que se halla a 90 USD, se aprecia que existe una diferencia en 16 USD por tonelada a favor del grano de sorgo, en

Resultados y Discusión

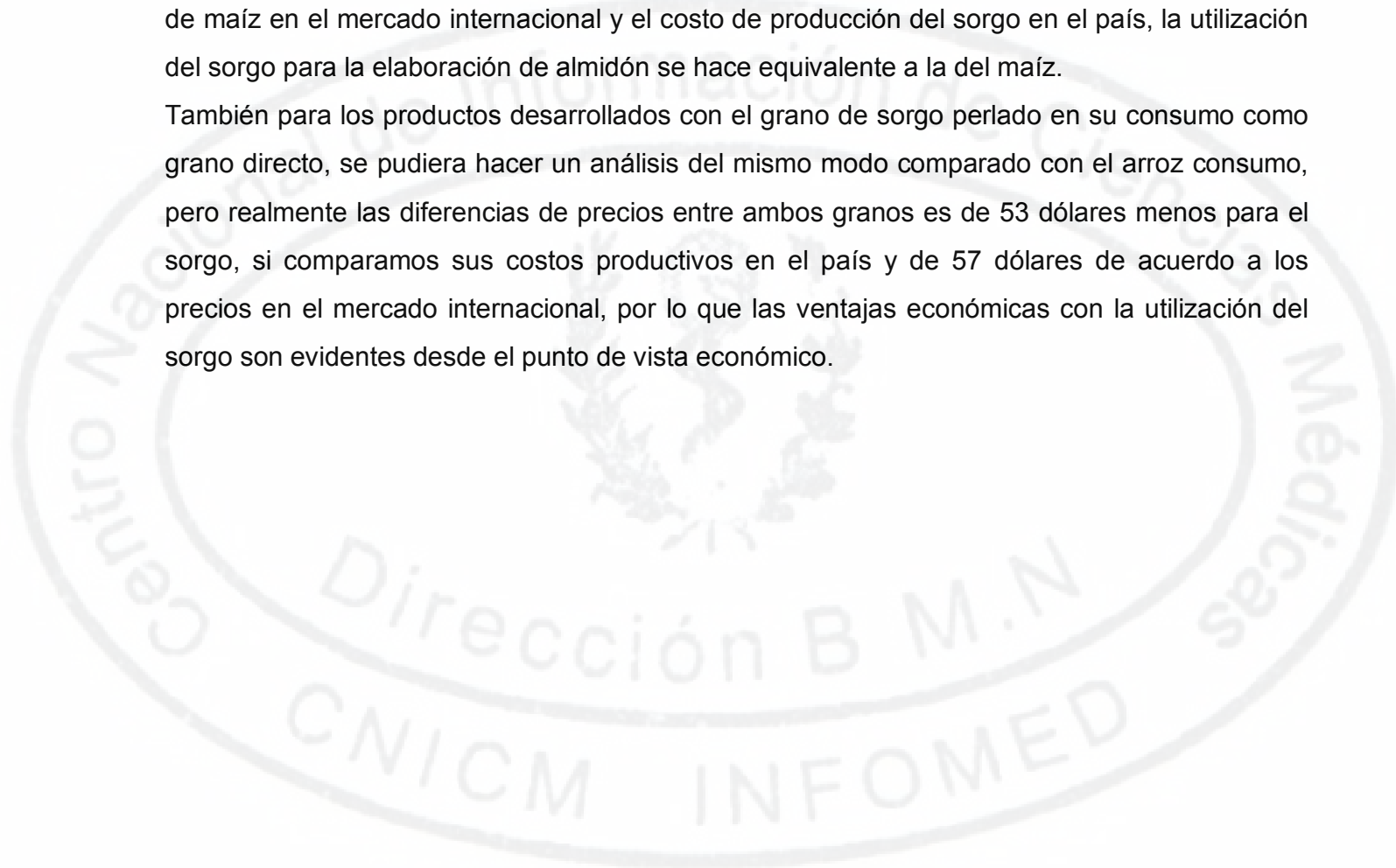
Tabla 42. Análisis preliminar del estimado del ahorro de divisas convertibles que conlleva la sustitución de harina de trigo por harina de sorgo en la elaboración de los productos desarrollados.

Conceptos ⁽¹⁾	Pan suave	Galletas de sal	Tortitas
Cantidad de harina requerida para producir 1 ton de masa cruda.	0.57 ton	0.65	0.47
Ahorro de harina de trigo por sustitución de la harina de sorgo.	0.057 ton	0.13 ton	0.094 ton
Costo estimado de 1 ton de harina de trigo producida al 76 % extracción.	201.3 USD	201.3 USD	201.3USD
Costo estimado de 1 ton de harina de sorgo producida con granos elaborados al 29.9 % del grado de elaboración.	129 USD	129 USD	129 USD
Costo de la harina de trigo sustituida	11.43 USD	26.16 USD	18.92USD
Costo de la harina de sorgo añadida	7.35 USD	16.77 USD	18.92USD
Estimado de la ganancia por la sustitución para producir 1 ton de masas cruda	4.12 USD	9.39 USD	6.80 USD

(1) Para el cálculo solo fue considerado el costo de las harinas para la elaboración de 1 tonelada de masa cruda en cada producto.

relación con el maíz y de 63 USD en comparación al grano de trigo. Si el rendimiento en la producción de almidón de sorgo obtenido fue del 54 %, entonces la producción de una tonelada de almidón de sorgo estaría por el valor de los 167 USD, estimando solamente el costo de la tonelada este grano, mientras el valor de la obtención de una tonelada de almidón de maíz estaría por los 177 USD, pues en esta industria los rendimientos en almidón se encuentran en el orden del 60 % por tonelada de grano. Por tanto, desde el punto de vista del precio del grano de maíz en el mercado internacional y el costo de producción del sorgo en el país, la utilización del sorgo para la elaboración de almidón se hace equivalente a la del maíz.

También para los productos desarrollados con el grano de sorgo perlado en su consumo como grano directo, se pudiera hacer un análisis del mismo modo comparado con el arroz consumo, pero realmente las diferencias de precios entre ambos granos es de 53 dólares menos para el sorgo, si comparamos sus costos productivos en el país y de 57 dólares de acuerdo a los precios en el mercado internacional, por lo que las ventajas económicas con la utilización del sorgo son evidentes desde el punto de vista económico.



CAPITULO 4.

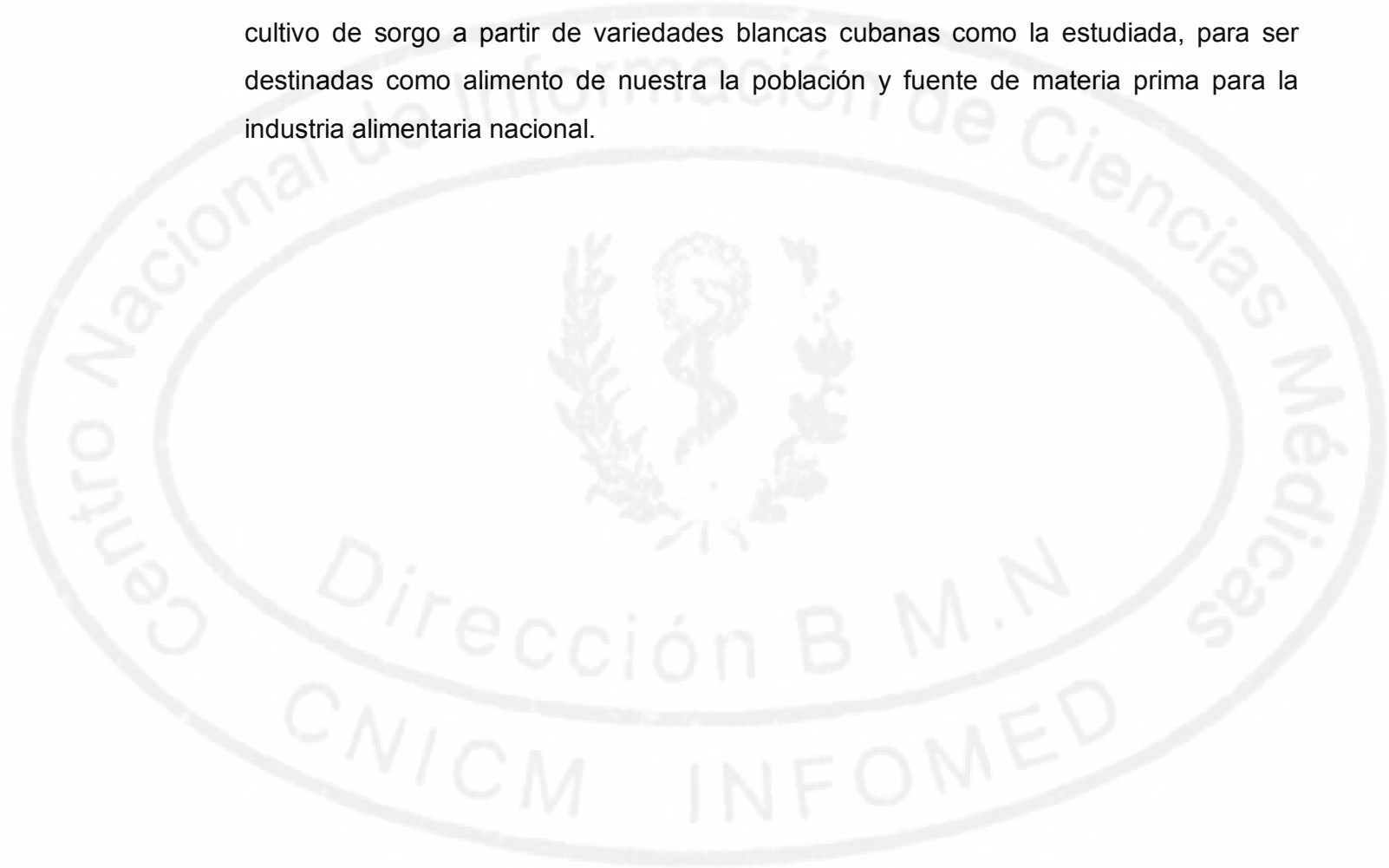
CONCLUSIONES.

1. La variedad cubana de sorgo ISIAP-DORADO cumple con las características químico-físicas exigidas para este cereal por el Codex Alimentarius. Este grano es buen suministrador de energía, carbohidratos, grasas y proteínas, aunque estas últimas son deficientes en lisina. Posee además, contenidos apropiados de minerales y vitaminas del complejo B, encontrándose sus niveles de taninos dentro de los límites establecidos para el consumo humano.
2. El proceso de perlado con grados de elaboración entre 27.9 y 29.9 %, brindan a este cereal sus mejores cualidades como alimento. Las condiciones idóneas para efectuar el procedimiento de precocido fueron tiempos de remojo y cocción de 60 y 30 min respectivamente y una temperatura de secado de 80 °C. Ambos procesos potencializan las posibilidades de empleo del grano para el consumo humano, pues incrementan su calidad de cocción y disminuyen los contenidos de taninos, sin gran afectación de sus principales nutrientes.
3. Los análisis farinográficos y alveográficos realizados a las mezclas de harinas de sorgo y trigo, demuestran que sustituciones superiores al 10 % afectan más significativamente las características reológicas de las masas elaboradas. El análisis de índice de caída refleja la deficiencia en alfa-amilasa de la harina de sorgo y, con la aplicación alimentaria de esta, se obtuvo una buena aceptación por los consumidores potenciales en pan de corteza suave elaborado con el 10% de sustitución y en galletas de sal y torticas hasta un 20 %.
4. Al igual que en el arroz, es posible desde el punto de vista tecnológico y sensorial, el consumo directo del grano de sorgo perlado, al lograr desarrollarse cuatro productos enlatados con buena aceptación por los consumidores potenciales.

5. Se propone una vía de obtención de almidón de sorgo, con rendimientos superiores al 50 %, aplicando un proceso de molienda húmeda al grano, con remojo en solución de bisulfito de sodio entre 0,2 y 0.3% y tiempos comprendidos entre 210 a 270 min a 58 °C. El almidón obtenido presenta un grado de pureza con contenido de proteínas de 0.72 % y cenizas en 0.45 %. Presenta índices amilográficos particulares de los cereales y las características reométricas de cizalla estacionaria y oscilatoria evaluadas, señalan su carácter no newtoniano, tixotrópico y adelgazante, teniendo valores comparables al almidón de trigo. Las pruebas de análisis térmico diferencial realizadas confirman el carácter típico de un almidón producido a partir de un cereal. Como sustituto total del almidón de maíz en la elaboración de panetela fina (capuchino), no afectó las etapas de elaboración y se logra un dulce con buena aceptación sensorial por los consumidores potenciales.
6. Es factible económicamente el empleo del sorgo en la alimentación de nuestra población, pues su utilización permite ahorrar divisas al país debido a su capacidad parcial de sustitución de la harina de trigo en la elaboración de pan, galletas y dulce, constituir una materia prima capaz de sustituir al grano de maíz adquirido en el exterior para la producción de almidón y ser un cereal que puede ser consumido directamente al igual que el arroz, en cuya compra el país hace gastos en divisas.

RECOMENDACIONES.

1. El desarrollo futuro de la aplicación del sorgo en la alimentación humana en Cuba, conlleva realizar estudios de escalado en los procesos estudiados cuando se incremente la producción del grano.
2. El Ministerio de la Agricultura debe valorar el incremento y desarrollo por todo el país, del cultivo de sorgo a partir de variedades blancas cubanas como la estudiada, para ser destinadas como alimento de nuestra la población y fuente de materia prima para la industria alimentaria nacional.



BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

AACC. (1986). *Approved Methods, 46-21 of the AACC*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota.

AACC. (2000) *Moisture content approved method 44-15A*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota.

AACC. (2000). *Kjeldahl nitrogen approved method 46-13*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota.

AACC. (2000). *Ash content approved method 08-01*. American Association of Cereal Chemists. St. Paul Minnesota.

Abd, E.D.; Chandrashekar, A.; Mohamed, B.E. y El Tinay, A.H. (1999). "Effect of reducing agents on the vitro protein and starch digestibilities of cooked sorghum". *Food Chemistry* 66 (3) p: 323 - 326.

Abdalla, M. (1999). "Couscous". *Przeglod - Zbogowo - Mlynarski* 42 (8), p: 9-10.

ABMS. (1989). "Sorgo granífero: cultivo y utilización". *Associação Brasileira de Milho e Sorgo (ABMS)*. Grupo Pró- Sorgo -Sul. Pelotas.

Aboubacar, A. y Hamaker, B.R. (1999). "Physicochemical properties of flours that relate to sorghum couscous quality". *Cereal Chemistry* 76 (2), p: 308-313.

Aboubacar, A; y Hamaker, B.R. (2000). "Low molecular weight soluble starch and its relationship with sorghum couscous stickiness". *Journal of Cereal Science*; 31 (29) p: 119- 126.

Agu, R.C. y Palmer, G.H. (1998). "A reassessment of sorghum for larger-beer brewing". *Bioresource Technology*. 66 (3), p:253-261.

Ali, H.I. y Harland, B.F. (1991). "Effects of fibre and phytate in sorghum flour in weaningrats: a pilot study". *Cereal Foods World* 36 p: 254.

Almeida-Domínguez, H.D.; Serna-Zaldivar, S.O. y Rooney, L.W. (1991). "Properties of new and comercial sorghum hybrids for use in alkaline- cooked foods". *Cereal Chem.* 68, p: 25-30.

Álvarez, M.; Díaz, O.A. y Domínguez, M. (1994). "Elaboración de pan extendido con vegetales". *Instituto de Investigaciones de Alimentos*. La Habana, Cuba.

Alvarez, V. R.; Castellanos, M. R.; Martínez, B. F. y Cruz, M. C. (1997). "Antiphsiological and nutritional factor changes in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) seeds during germination". *Arch. Latinoamericano Nutr.* Jun, 47 (2), p: 136-140.

Anderson, R. A.; Montgomery, R. R. y Burbridge, L. H. (1969). "*Sorghum*". Cereal Science Today. 14, p: 366.

Anglani, C. (1999). "*Sorghum for human food a review*". Plant Foods for Human Nutrition. 52 (1), p: 85-95.

Anon. (1999). "*Coeliacs get their daily bread*". Food Industry News. July, 10-11.

AOAC. (1990). *Determinación de Ca, Mg, Na, y K. Método Oficial.* (AOAC) Association of Officials Analytical Chemist.

AOAC. (1997). *Enzymatic-gravimetric method.* 985.29 (AOAC). Association of Officials Analytical Chemist.

AOAC. (2000). Método Oficial. *Contenido de Tiamina. Método fluorométrico rápido* 953.17, (AOAC) Association of Officials Analytical Chemist.

AOAC. (2000). Método Oficial *Contenido de Riboflavina. Método fluorométrico* 970.65. (AOAC) Association of Officials Analytical Chemist.

AOAC. (2000). Método Oficial. *Contenido de Niacina. Método colorimétrico* 961.14. (AOAC). Association of Officials Analytical Chemist.

Aup, P.M. y Fields, M. (1981). "*Nutritive quality of fermented sorghum*". J.Food Sci. 46, p: 4652 - 654.

Avrand, L. W.; Woods, A. E. y Wells, M.R. (1987). "*Food composition and analysis*". Published by Van Nostrand Reinhold. Avi Book. New York.

Axtell, J.D.; Kirleis, A.W.; Hassen, M.M.; D'Croz Mason, N.; Mertz, E.T. y Munck, L. (1981). "*Digestibility of sorghum*". Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America. 78, (3), p: 1333-1335.

Babiker, E.E. y El-Tinay, A.H. (1992). "*Effect of alkali on tannin content and in vitro protein digestibility of sorghum cultivars*". Food Chem. 45, p: 55-60.

Bach Knudsen, K. F. y Munck, L. (1985). "*Dietary fiber content and composition of sorghum and sorghum based foods*". Journal Cereal Science. 3, p: 153.

Bach Knudsen, K.E.; Munck, L. y Eggun, B.O. (1988). "*Effect of cooking, ph and polyphenol level on carbohydrate composite and nutritional quality of a sorghum bicolor (L) Moench food*". Br. Journal Nutrition 59 p: 31-47.

- Badui, D.S.** (1993). *"Química de los Alimentos"*. Tercera edición, Ed. Alhambra Mexicana. México.
- Baila, A.; Blecker, C.; Oumarou, M.; Paquot, M. y Deroanne, C.** (1999). *"Composite breads based on sorghum-wheat flour blends and textural analysis"*. *Biotechnologie, Agronomie societe et environnement*. 3 (2) p: 69-77.
- Banda-Nyirenda, D.B. y Vohra, P.** (1990). *"Nutritional improvement of tannin containing sorghum (sorghum bicolor) by sodium bicarbonate"*. *Cereal Chem.* 67, p: 533-537.
- Bate-Smith, E. C. y Rasper, V.** (1969). *"Tannins of grain sorghum: Luteoforol (Leucoluteolinidin), 3',4,4',5,7-Pentahydroxyflavan"*. *Journal of Food Science* 34 p: 203.
- Beckman Instruments.** (1977). Instruction manual of aminoacid analyzer model 118 CL. Published by Spinco Division of Beckman Instruments Inc. Palo Alto, California USA.
- Bellido, L.L.** (1991). *"Cultivo herbáceos"*, vol 1. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. España.
- Beta, T.; Rooney, L.W.; Marovatsanga, L.T. y Taylor, J.R.N.** (2000). *"Effect of chemical treatments on polyphenols and malt quality in sorghum"*. *Journal of Cereal Science*, 31 (3) 295-302.
- Beta, T.; Corke, H.; Rooney, L.W. y Taylor, J.R.N.** (2001). *"Starch properties as affected by sorghum grain chemistry"*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81 (2) p: 245-251.
- Beta, T. y Corke, H.** (2001). *"Noodle quality as related to sorghum starch properties"*. *Cereal Chemistry*, 78, (4), p: 417-420.
- Betancourt, J. y Sistachs, M.** (1984). *"El sorgo y la posibilidad de producirlo en Cuba."* Folleto No. 85/449 Ministerio de la Agricultura. Cuba.
- Bhattacharya, K.R. (1986).** Parboiling of rice. In rice: Chemistry and Technology. Chapter 8. Ed. E.Q. Juliano AACC.
- Bressani, R.** (1985). *"El sorgo en la alimentación humana"*. En: Memoria de la Reunión Anual de la Comisión Latinoamericana de Investigación del Sorgo. Organizada por la Comisión Latinoamericana de Investigación del Sorgo, Guatemala, p: 1-37.
- Bressani, R. y Edgar, T.** (1993). *"Mejoramiento de la calidad proteica del sorgo reventado con grano de soya"*. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. Vol-43, p: 46-49.
- Buffo, R.A.; Weller, C.L. y Parkhurst, A.M. (1998).** *"Wet milling factors of sorghum and relationship to grain quality"*. *Journal of Cereal Science* 27 (3) p: 327-334.

Buffo, R.A.; Weller, C.L. y Parkhurst, A.M. (1998a). "Optimization of sulfur dioxide and lactic acid steeping concentrations for wet milling of grain sorghum". Transactions of the ASAE 40 (6) p: 1643-1648.

Bugusu, B.A.; Campanella, O. y Hamaker, B.R. (2001). "Improvement of sorghum - wheat composite dough rheological properties and breadmaking quality through zein addition". Cereal Chemistry 78 (1) p: 31-35.

Cáceres, A.; Hernández, M.; Muñoz, J. y Rodríguez, A. (1999) "Las Vitaminas en la nutrición humana". Editado por Ayuntamiento de Tirajana. Las Palmas. Canaria. España.

Cagampang, G.B. y Kirleis, A.W. (1984). "Relationship of sorghum grain hardness to selected physical and chemical measurements for grain quality". Cereal Chem. **61**: 100-115.

Calvel, R. (1983). "La panadería moderna". Editorial Américalee, S.R.L. Argentina Buenos Aires, p: 329

Carcea, M.; Cubadda, R. y Acquistucci, R. (1992). "Physicochemical and rheological characterization of sorghum starch". Journal of Food Science, 57 (4), p: 1024-1025.

Carrell, P.K. (1989). "Starch, oil, and feed for sorghum grain". Industrial Profile. Arlington, Virginia 22209, USA.

Carrillo, O.; Zaldivar, C.; Lantero, M.; Leiva, A.; Carrión, M.; Martín, I.; Vázquez, M.; Figueroa, V.; Lama, J.; Bilbao, T.; Fuertes, S. (2002). Curso "Los Vegetales en la Nutrición Humana". Universidad para todos. Editora Política, La Habana.

Canet, R.; Cabello, R.; Rivero, L.; Hernández, D.; Chaviano, M.; Morales, O. y Gonzalez, D. (2002). "La producción de sorgo en la áreas arroceras de Cuba". Instituto Investigaciones del Arroz. 2^{do} Encuentro Internacional del Arroz, 10 al 12 de Julio, p: 109.

Chandrashekar, A. y Kirleis, A.W. (1988). "Influence of protein on starch gelatinization in sorghum". Cereal Chemistry. 65, p: 457 - 462.

Chavan, J.K.; Kaddan, S.S.; Ghonsikar, C.P. y Salunke, D.K. (1979). "Removal of tannins and improvement of in vitro protein digestibility of sorghum seeds by soaking in alkali". J. Food Sci. 44, p: 1319-1321.

Chavan, J.K.; Kaddan, S.S. y Salunke, D.K. (1981). "Changes in tannin, free aminoacids, reducing sugars and starch during seed germination of low and high tannin cultivars of sorghum". J. Food Sci. 46, p: 638-639.

Chibber, B.A.; Mertz, E.T. y Axtell, J.D. (1980). "In vitro digestibility of high - tannin sorghum at different stages of dehulling". J. Agric. Food Chem. 28, p: 160-161.

China, B. S. y Phul, B.S. (1987). "Association of seeding, vigour with grain yield nutritional quality in sorghum, in India". Journal of Agriculture Science, p: 34 -39.

- Chiou, S. y Wang, K.T. (1988).** "Simplified protein hydrolysis with methanesulfonic acid". J. Chromatogr. p: 404.
- Coello, C. L. (2000).** "Los taninos en la alimentación de las aves comerciales". Ciencia Animal Brasileira 1(1) p: 5-22.
- Cornu, A. y Delpeuch, F. (1981).** "Effect of fibre in sorghum on nitrogen digestibility". Am.Journal Clin. Nutr., 34 p: 2454-2459.
- Daiber, K. H. y Taylor, J.R.N. (1995).** "Opaque beers". Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. Dendy, D. ed. American Association of Cereal Chemist.
- Degaspari, C.H. y Waszczynskyj, N. (1999).** "Development of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) technology application". Alimentos e Nutricao; 9, p: 17-26, Brazil.
- Díaz, O. A. (1998).** "Desarrollo y evaluación sensorial de panes elaborados con el empleo del arroz". Tesis por la opción del grado de Master en Ciencias y Tecnologías de los Alimentos. IFAL. Universidad de la Habana.
- Dogget, H. (1988).** "Sorghum". Longmann Scientific and Technical. Londres.
- Domínguez, M. (1991).** "Sustitución parcial de la harina de trigo en panes". Informe IIIA. (s/p). Minal
- Dreher, M.L.; Dreher, C.J. y Berry, J.W. (1984).** "Starch digestibility and nutritional perspective". CRC Crit. Rev. Food Sci. 20, p:47 -71.
- Elmalik, M.; Klopfenstein, C.F.; Hoseney, R.C. y Bates, L.S. (1986).** "Digestibility and nutritional quality of sorghum grain with contrasting Kernel characteristics". Nutrition Report International. 34, p: 811 -820.
- Ensminger, A.A.; Ensminger, M.E.; Konlade, J.E. y Robson, J.R. (1994).** "Food and Nutrition Encyclopedia". 2^{da} edición, volumen 2. CRC Press, Boca Ratón.
- Enciclopedia Encarta. (2002).** "Sorgo". Biblioteca de consulta Microsoft Encarta 2002. Microsoft Corporation 1993-2001.
- FAO/WHO/UNU. (1991).** Joint Expert Consultation. "Energy and protein requirements". World Health Org. Tech. Rep. Ser. No. 724, Geneva, Switzerland.
- FAO. (1991).** Red de Cooperación Técnica en Producción de Cultivos Alimenticios. "Sorgo, un cereal para pequeños productores del semiárido de América Latina y el Caribe". Folleto FAO. Santiago de Chile.
- FAO. (1994).** "Cereales, legumbres, productos derivados y proteínas vegetales". Codex Alimentarius vol 7, stan 172-173. 1989, p:37-41, 43-45.
- FAO. (1995a).** "El sorgo y el mijo en la nutrición humana". Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma, Italia.

FAO. (1995b). *"Impact of the Uruguay Round on Agriculture"*. Organización. Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. (1997). *"La economía del sorgo y del mijo en el mundo, Hechos, Tendencias y Perspectivas"*. Organización. Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.

FAO. (2001). *"Anuario de Producción 2000"*. Vol. 54, 2000. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

FAOSTAT. (2001). *"Estadísticas de la FAO para el comercio de granos y cereales"*. FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

Fapojuwu, O.O.; Maga, J.A. y Jansen, G.R. (1987). *"Effect of extrusion cooking on in vitro protein digestibility of sorghum"*. Journal of Food Science 52, p:218-219.

Freeman, V.E. y Watson, S.A. (1977). *"Peeling of sorghum grain for wet milling"*. Cereal Chemistry 54 p: 174.

Frey, K. J. (1977). *"Protein of oats"*. Z. Pflanzenzucht. 78, p: 185 - 215.

Galiba, M.; Rooney, L.W.; Waniska R.D. y Miller F.R. (1987). *"The preparation of sorghum and millet couscous in West Africa"*. Cereal Foods World 32: 878 - 884.

García, P.T.; Farias, G. E.; Casal, J.J.; Dürseten, G. y Olsen, C. (1984). *"Sorgos con alto y bajo contenido en taninos y calidad de la res porcina"*. Rev. Arg. Prod. Anim. vol. 4 No.5, p: 609-620.

Genyi, Z. y Hamaker, B.R. (1998). *"Low alpha amylase starch digestibility of cooked sorghum flours and effect of protein"*. Cereal Chem. 75 (5) p: 710 - 713.

Gillooly, M.; Bothwell, T.H.; Charlton, R.W.; Torrance, J.D. y Bezwoda, W.R. (1990). *"Factors affecting the absorption of iron cereals"*. Br. Journal Nutrition 51 p: 37-46.

Glennie, C.W.; Daiber, K.H. y Taylor, J.R.N. (1982). *"Reducing the tannin content in sorghum grain by heat"*. S. A. Food Review, June/July, p: 51-55.

Glueck, J.A. y Rooney, L.W. (1980). *"Chemistry and structure of grain in relation to wold resistance"*. Proceedings of the International Workshop on Sorghum Disease. Dec, 1978 Hyderabad, India. Patancheru, A.P. India ICRISAT.

Gupta, R.K. y Haslan, E. (1980). *"Vegetative tannins: structure and biosíntesis"*. En J. H. Pulse, ed. Polyphenols in cereals and legumes. Ottawa, CIID, p: 15-24.

Hallgren, L. (1995). *"Lager beers from sorghum"*. Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. Dendy, D. ed. American Association of Cereal Chemist.

Halse, J. H.; Laing, E.M. y Pearson, D.E. (1980). Sorghum and the millets: their composition and nutritive value. Academic Press. New York.

Hamaker, B. R.; Kirleis, A.N.; Mertz, E.T. y Axtell, J.D. (1986). "*Effect of cooking on the protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize*". J. Agric. Food. Chem. Vol 34, p: 647- 649.

Harlan, J. R. y De Wet, J. M. (1972). "*A simplified classification of cultivated sorghum*". Crop Science, Vol 12, p: 172-176.

Hibberd, C.A.; Wagner, D.G.; Schemm, R.L.; Mitchell, F.D.; Weibel, R.E. y Hintz, R.L. (1982). "*Digestibility characteristic of isolated from sorghum and corn grain*". Journal Anim. Sci. 55, p: 1490-1497.

Hubbard, J. E.; Hall, H.H., y Earle, F.R. (1950). "*Composition of the component parts of sorghum kernel*". Cereal Chemistry. 27, p: 415 - 420.

Hugo, L.F.; Rooney, L.W. y Taylor, J.R.N. (2000). "*Malted sorghum as a functional ingredient in composite bread*". Cereal-Chemistry. 77 4, p: 428-432.

Hui, Y. H. (1991). "*Enciclopedia of Food Science and Technology*". Young Wiley and Sons. Ed. Inc. New York.

Hummel, C.H. (1976). "*Macarroni Products*". Second edition. London Press, England.

IBPGR y ICRISAT. (1984). "*Revised sorghum descriptors*". International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) and International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics (ICRISAT). Folleto técnico. IBPGR. Secretariat. Roma.

IIIA-INHA. (1985). *Tabla de composición de alimentos*. Instituto de Investigaciones de Alimentos (Minal) e Instituto Nacional de Higiene de los Alimentos La Habana, Cuba.

ISO 520. (1977). *Determination of the mass of 1000 grains*. 3p.

ISO 9648. (1988). *Determinación de taninos en sorgos*. 7p.

ISO 605. (1991). *Pulses. Determination of impurities, size, foreign odours, insects and species and variety - test methods*. 5p.

Jambunathan, R.; Sing, U. y Subramanian, V. (1981). "*Grain quality of sorghum, pearl millet, pigeonpea and chickpea*". En K.T. Achaya, ed. Actas de un encuentro. Patancheru, India. Nov.

Jambunathan, R. y Subramanian, V. (1988). "*Grain quality and utilization of sorghum and pearl millet*". In Biotechnology in tropical crop improvement. Proceedings of the International Biotechnology Workshop, Patancheru, India, 12-15 enero 1987, p: 133-139. Patancheru, ICRISAT.

Jaramillo, M.; Peña, M.; Angulo, I.; León, A. y Obispo, N. (1993). "*Valor nutricional de cultivares de sorgo uranífero (*Sorghum bicolor* (L) Moench) altos en taninos producidos en Venezuela. I. Composición química*". Rev. Zootecnia Tropical. Vol.11(2), p: 129-150.

Jen-Chieh, H.; Zayas, J.F. y Bowers, J.A. (1999). "*Functional properties of sorghum flour as an extender in ground beef patties*". Journal of Food Quality 22 (1) p: 51-61.

Jung, G.I.; Yong, S.K. y Tae, Y.H. (1998). "*Effect of sorghum flour addition on the quality characteristic of muffin*". Korean Journal of Food Science and Technology. 30 (5) p: 1158- 1162.

Jythesna, R.S. y Venkateswara, R.G. (1997). "*Effect of incorporation of sorghum flour to wheat flour on chemical, rheological and bread characteristic*". Journal of Food Science and Technology. India 34 (3) p: 251- 254.

Kamath, M. y Belavady, G. (1980). "*Unavailable carbohydrates of commonly consumed India foods*". Journal Sci. Food Agríc., 31, p: 194-202.

Karim, A. y Rooney, L.W. (1972). "*The pentosans in sorghum grain*". Journal of Food Science. (37), p: 365-369.

Keregero, M.M. y Mtebe, K. (1994). "*Acceptability of wheat-sorghum composite flour products: an assessment*". Plant Foods Human Nutrition. 46 (4) p: 305-312.

Kulp, K. y Ponte, J.G. (2000). "*Handbook of cereal science and technology*". A book. American Inst, of Baking. ISBN 0-8247-8294-1. Marcel Dekker. New York, USA.

Lamessa, F.; Bultosa, G. y Walkari, W. (2000). "*Quality of sorghum (sorghum bicolor (L) Moench) stored in traditional underground pits: case studies in two agro-climatic zones in Hararghe, Ethiopia*". Journal of Science and Technology India. 37 (3), p: 238-244.

Latham, M.C. (2002). "*Nutrición humana en el mundo en desarrollo*". Colección FAO. Alimentación y nutrición No. 29 FAO, Roma, Italia.

Llama, E. (1989). "*Bioquímica de las frutas y vegetales Parte II, (Cereales)*". Editorial Pueblo y Educación. Cuba.

López, Plana R. (1994). "*Diseño estadístico de experimentos*". Coedición UH - UADY. Mérida, México.

MacLean, W.C.; Lopez de Romana, G.; Gastanady, A. y Graham, G.G. (1983). "*The effect of decortication and extrusion on the digestibility of sorghum by preschool children*". Journal Nutrition 111 p: 1928- 1936.

Mahan , L. K. y Escott S. (2000). *Nutrición y Dietoterapia de Krause*. Editorial Me Graw- Hill Interamericana. México.

Maiti, R. K.; Manohar, S. K. y Raja, P. S. (1996). "*Folleto de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León*". FAUANL. México.

Martín, D.S.; Saucedo, O. M. y Castillo, A. (1993). "*UDG-110. Variedad de sorgo de grano blanco con adaptación tropical, apta para consumo humano, alimentación animal y su tecnología de cultivo en Cuba*". Facultad de Ciencias Agropecuarias (CIAP), de la Universidad Central de las Villas.

Maunder, B. (2002). *"Sorghum-The global grain of the future"*. National Growers Sorghum Producers. (NGSP), USA.

McGrath, R.M.; Kaluza, W.Z.; Daiber, K.H.; Van Der Riet W.B. y Glennie, C.W. (1982). *"Polyphenols of sorghum grain, their changes during malting, and their inhibitory nature"*. J. Agric. Food Chem. 30, (3), p: 450-456.

McNeil, J.W.; Potter, G.D.; Rigs, J.K. y Rooney L.W. (1975). *"Chemical and physical properties of processed sorghum grain carbohydrates"*. Journal Anim. Sci 40: 335 -341.

Miche, J.C. (1982). *"Valorisation industrielle du sorgho en alimentation humaine"*. Actualites des Industries Alimentaires et Agro-Industrielles. Sept. p: 723-729.

MINAL-DNMCC. (1979). Manual de instrucciones de la inspección y control de la calidad. Elaboración de procedimientos (SCC 2.3.06-05) PES, No. 18.

Mitaru, B.N.; Reichert, R.D. y Blair, R. (1983). *"Improvement of the nutritive value of high tannin sorghums for broiler chickens by high moisture stage (reconstitution)"*. Poult. Sci. 65, p: 2065-2072.

Mitaru, B.N.; Reichert, R.D. y Blair, R. (1984). *"Kinetics of tannin desactivation during anaerobic storage and boiling treatments of high tannin sorghum"*. J. Food Sci. 49, p: 1566 - 1568.

Morad, M.M.; Doherty, C.A. y Rooney, L.W. (1984). *"Utilization of dried distillers grain from sorghum in baked food systems"*. Cereal Chemistry 61 (5) p:409-414.

Muindi, P.J.; Thomke, S. y Ekman, R. (1981). *"Effect of Magadi Soda treatment on the tannin content and in vitro nutritive value of grain sorghum"*. J. Agric. Food Chem. 32, p: 25-34.

Munck, L. (1995). *"New milling technologies and products: whole plant utilization by milling and separation of the botanical and chemical components"*. Sorghum and Millets: Chemistry and Technology. Dendy, D. editor. American Association of Cereal Chemist.

Muoria, J.K.; Linden, J.C. y Bechtel, P.J. (1999). *"Diastatic power and alpha-amylase activity in millet, sorghum and barley grains and malt"*. Journal of the American Society of Brewing Chemists 56 (4) p: 131-135.

Muvasaru, M.A.; Reichert, R.D. y Mukuru, S.Z. (1988). *"Factors affecting the abrasive dehulling efficiency of high - tannin sorghum"*. Cereal Chemistry 65, p: 171-174.

Myer, R.D.; Gorbet, D. W., y Combs, G.G.E. (1986). *"Nutritive value of high and low tannin grain sorghums harvested and storage in the high-moisture state for growing finishing swine"*. J. Anim. Sci. 62, p: 1290-1297.

Narciso, R. L. y Damacio, L.F. (1979). *"Reduction of sorghum (sorghum bicolor L. Moench) tannins and improvement of in vitro protein digestibility of sorghum seeds by soaking in alkali"*. J. Food Sci. 44, p: 1319-1321.

Navas, P. B. y García, L. (2000). "Nutritional evaluation of sorghum flour on supplementation with whey proteins". Journal of Food Science and Technology India; 37 (2) 144-148.

Newell, G. J. y MacFarlane, J.D. (1987). "Expanded tables for multiple comparison procedures in the analysis ranked data". Journal Food Science, 56 (6) p: 1721-1725.

NGSP. (1999). *Sorghum industry conference and 21 st Biennial grain sorghum research and utilization conference*. Utilization Research Abstract. National Growers Sorghum Producers (NGSP). USA.

Norma cubana. (1981). *Contaminantes Metálicos*. NC-28-32, Análisis Químicos, Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de cenizas*. NC-86-03:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de humedad*. NC-86-04:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de proteínas*. NC-86-05:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de gluten húmedo*. NC-86-06:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de gluten seco*. NC-86-07:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de la distribución del tamaño de partículas*. NC-86-10:84. Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación de las características farinográficas*. NC-86-12:84, Minal-III A. Cuba.

Norma cubana. (1984). *Determinación del índice de caída*. NC-86-13:84. Minal-III A. Cuba.

OMS (Organisation mondiale de la santé). (1985). *Besoins énergétiques et besoins en protéines*. Rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU. Série de rapports techniques 72jL Genève.

Oramas, G. (1997). *ISIAP-DORADO, sorgo de grano*. Instituto de Investigaciones Hortícola "Liliana Dimitrova" Trabajo Informativo.

Ortega, R.R.; Siqueiros, M.G.; Hernández, R. y Ramírez, W.B. (1995). "Evaluation of rheological and breadriaking properties of composite wheat and decorticated sorghum flours". IFI. Annual meeting. Conference Proceedings p: 294.

Panadés, E. y Valdés, L. (1986). *Tecnología del arroz precocido*. Informe de viaje a la República Popular de Corea, (s/p).

Panreac. (1989). *Métodos Analíticos en Alimentaria. Cereales y derivados. Métodos oficiales de análisis*. Móntplet y Esteban S.A. España. p:37-39.

Pattinson, T.L.; Geornaras, I. y Holy, A. V. (1998). "Microbial population associated with commercial produced South African sorghum beer as determined by conventional and PetrifUm registered planting". International Journal of Food Microbiology 43 (1/2), p: US- 122.

Perten, H. (1983). "Practical experience in processing and use of millet and sorghum in Senegal and Sudan". Cereal Foods World. 28, vol 11, p: 680-683.

Poehlman, J. M. (1959). "Breeding field crops". A book. Ed. Henry and Halt Co. Inc. New York.

Porrata, C.; Hernández, M.; Arguelles, J.M. y Proenza, M. (1994). *Recomendaciones nutricionales para la población cubana*. I Congreso Culinario de América Latina. INHA. Ciudad Habana.

Price, M.L. y Butler, L.G. (1978). "Detoxification of high tannin sorghum grain". Nutr. Rep. Inter. 17, p: 229-235.

Price, M.L.; Butler, L.G.; Roger, J.C. y Featherston, W.R. (1979). "Overcoming the nutritionally harmful effects of tannin in sorghum grain by treatment with inexpensive chemicals". J. Agric. Food Chem. 27, p: 441-445.

Price, M.L.; Hagerman, A.E. y Butler, L.G. (1980). "Tannin in sorghum grain: effect of cooking on chemical assays and on antinutritional properties in rats". Nutr. Rep. Inter. 21, p: 761-767.

Purseglove, J. W. (1972). "Tropical crops: monocotyledons". Vol 1. Londres Longmann Group Limited.

Quaglia, G. (1991). "Ciencia y tecnología de la panificación". Editorial Acribia, Zaragoza, España. p:163 -217.

Quintero, F.X.; McDonough, C.M.; Rooney, L.W. y Almeida-Dominguez, H. (1999). "Functionality of rice and sorghum flours in baked tortilla and corn chips". Cereal Chemistry 76 (5) 705-710.

Rausch, K. D.; Singh, S. K. y Eckhoff, S. R. (1993). "Magnesium Bisulfite and Sodium Bisulfite as alternative steeping agents for wet milling". Cereal Chemistry vol. 70 (4) p: 489.

Reichert, R.D.; Gleming, S.E. y Schwaf, D.J. (1980). "Tannin deactivation and nutritional improvement of sorghum by anaerobic storage of H₂O, HCl, or NaOH treated grain". J. Agric. Food Chem. 28, p: 824-829.

Ring, S.H.; Akingbala, J.O. y Rooney, L.W. (1981). "Variation in amilose content among sorghums". En L.W. Rooney y D.S. Murty eds. Proceedings of the International Symposium on sorghum grain quality. Hyderabad. India.

Rom, D.L.; Schull, J.M.; Chandrashekar, A., y Kirleis, A.W. (1992). *"Effects of cooking and treatment with sodium bisulfite on in vitro protein digestibility and microstructure of sorghum flour"*. Cereal Chem. 69, p: 178-181.

Rooney, L.W. (1978). *"Sorghum and pearl millet lipids"*. Cereal Chem. (55) p: 584 -590.

Rooney, L.W.; Khan, M.N. y Earp, C.F. (1980). *"The technology of sorghum products"*. Cereals for Food Beverage. Ed. Inglett and Munk . Academic Press, New York, p: 513-554.

Rooney, L.W.; Earp, C.F. y Khan, M.N. (1982). *"Sorghum and millets"*. In CRC Handbook of processing and utilization in Agriculture. Vol III. A. Wolf (ES) CRC Press. Boca Ratón, Fid.

Rooney, L. W.; Kirleis, A.W., y Murty, D.S. (1986). *"Tradidional foodsfrom sorghum: their production, evaluation, and nutritional value"*. Advance Cereal ScienceTechnology. (8), p:313 - 353.

Rooney, L.W. y Serna-Saldivar, S.O. (1991). *"Sorghum". Handbook of cereal science and technology"*. Lorenz y Kulp, eds. Nueva york, Marcel Dekker. Chapter V. p: 896.

Salunke, D.K.; Chavan, J.K. y Kaddan, S.S. (1990). *"Dietary tannins: consequences and remedies"*. Boca Ratón, Florida, USA. CRC Press.

Sankara Rao, D.S. y Deosthade, Y.G. (1980). *"Effect of pearling on mineral and trace element composition and ionizable iron content of sorghum"*. Nutritional Report International 22 p: 723-728.

Sankara Rao, D.S. y Deosthale, Y.G. (1983). *"Mineral composition, ionizable iron and soluble zinc in malted grains of pearl millet and ragi"*. Food Chemistry 11 p: 217-223.

Seib, P.A. y Xie, X.J. (2000). *"Laboratory procedure to wet mill 100 g of grain sorghum into six fractions"*. Cereal Chemistry 77 (3) p: 392-395.

Serna-Saldivar, S.O.; Knobel, D.A.; Rooney, L.W.; Tanskley, T.D. y Sproule, A.M. (1988). *"Nutritional value of sorghum and maize tortillas"*. Journal Cereal Science. (7), p: 83-94.

Serna-Saldivar, S.O. (1998). *"Refinación de almidón y producción de jarabes glucosados a partir de sorgo y maíz"*. División de graduados e Investigación del Campus Monterrey del Tecnológico de Monterrey. Rev. Transferencia. Año 10, Abril, No. 42. México.

Shils, M.E.; Olson, J.A.; Shike, M. y Ross, A.C. (2002). *"Nutrición en salud y enfermedad"*. Vol 1, p: 61. 9^{na} edición. McGraw-Hill Interamericana. México.

Sikabbuba, R. M. (1989). *"The effect of alcohol soluble proteins on the digestibility of sorghum"*. Tesis de Maestría. Universidad del Estado de Kansas, Manhattan. Kansas, E.U.

Sistachs, M. (1980). *"Efectos de la distancia de siembra y métodos de aplicación, niveles de fósforo y control de malezas en el rendimiento del grano de sorgo"*. Tesis presentada por la opción al grado de C. Dr. La Habana.

Siwaporn, S. y Srisak, T. (1995). "*Study on sorghum snack production by extrusion xprocess*". Thai Journal of Agricultural Science 28 (2) p:253-261.

Siwawej, S. (1993). "*Sorghum vermicelli*". Food 23 (2) p: 98-106.

Siwawej, S. (1994). "*Sorghum macaroni*". Food 24 (2) p: 116-122.

Snowden, J. D. (1936). "*The cultivated races of sorghum*". Ed. Adlard and Son. Londres p: 274.

Subramanian, V. y Jambunathan, R. (1982). "*Properties of sorghum grain and their relationship to Roti quality*". En L.W. Rooney y D.S. Murty eds. Proceedings of the International Symposium on sorghum grain quality. Hyderabad. India.

Subramanian, V.; Murty, D.S.; Jambunathan, R. y House, L.R. (1982). "*Boiled sorghum characteristics and their relationship to starch properties*". In L.W. Rooney & D.S. Murty, eds. Proceedings of the International Symposium an Sorghum Grain Quality. Hyderabad, Inde, 28-31 octubre 1981, p. 103-109. Patancheru, India, ICRISAT.

Subramanian, V.; Hosene, R.C. y Bramel, P. (1994). "*Shear thinning properties of sorghum and corn starches*". Cereal Chemistry. 71 (3), p: 272.

Subramanian, V. y Hosene, R.C. (1995). "*Shear thinning properties of sorghum starches*". Cereal Chemistry. 72 (1), p: 7-10.

Sullins, R.D. y Rooney, L.W. (1974). "*Characteristics of sorghum grain varieties*". Cereal Chemistry. (51), p: 134-142.

Tan, A.T.; Pawar, V.D. y Ingle, V.M. (1984). "*Effect of fermentation on nutritional improvement grain sorghum*". India Journal Nutrition Diet 21 p: 129-136.

Teeter, R.G.; Sarami, S.; Smith, M.O. y Hibberd, C.A. (1986). "*Detoxification of high tannin sorghum grains*". Poult. Sci. 65, p: 67-71.

TGL, 22874. (1982) *Determinación de volumen en pan.*

Tipples, K. H. (1980). *The Amilograph handbook. Uses and applications.* Am. Assoc. Cereal Chem. St. Paul Mn. p: 12-25.

Torres, P.I.; Ramírez, W.B.; Serna-Saldivar, S.O. y Rooney, L.W. (1994). "*Effect of decorticated sorghum addition on the rheological properties of wheat tortillas dough*". Cereal Chemistry 71 (5) p: 509-512.

Ustimenko, G. V. y Bakumovski, E. (1980). "*El cultivo de plantas tropicales y subtropicales*". Editorial Mir. Moscú, p: 82-86.

University New México State. (2000). "*Sorghum bicolor*". Crop Plant Resource. Summary Agosto 24.

- Van Heerden, I.V.** (1989). *"The nutritive content of African beers brewed with maize grits or sorghum adjuncts"*. S. Afri. L. Sci, 95 p: 17-20.
- Verstl, I.** (1999). *"The beer market in Africa."* Brauwelt 139 (3), 61-62, 64, 67.
- Villapol, N.** (1981). *"Cocina ai minuto"*. Editorial Orbe. Ciudad de la Habana.
- Wang, F.C.; Chung, D.S.; Seib, P.A. y Kim, Y.S.** (2000). *"Optimum steeping process for wet milling of sorghum"*. Cereal Chemistry vol 77, No.4, p:478-483.
- Watson, S.A.** (1970). *"Wet-milling process and products"*, p: 602-626. en: Sorghum production and utilization. J.S.Wall y W.M. Ross edi Avi. Publ. Co. Conn.
- Watterson, J.J. y Butler, L.G.** (1983). *"Occurrence of an unusual leucoanthocyanidin and absence of proanthocyanidins in sorghum leaves"*. J. Agric. Food. Chemistry Vol. 34, p: 41-45.
- White, P.; Abbas, I.; Pollack, L. y Johnson, L.** (1990). *"Intra and Interpopulation variability of thermal properties of maize starch"*. Cereal Chemistry, 67 (1) p: 70-73.
- Williams, V.R.; Wu, W.T. Tsai, H.T. y Bates, H.G.** (1958). *"Varietal differences in amylose content of rice starch"*. Journal Agriculture Food Chemistry (6) p: 47-48.
- Yang, P. y Seib, P.A.** (1996). *"Low-input wet milling of grain sorghum for readily accesible starch and animal feed"*. Cereal Chemistry 72 (5) p: 498-503.
- Yang, P. y Seib, P.A.** (1996a). *"Wet milling of grain sorghum using a short steeping period"*. Cereal Chemistry 73 (6), p: 751-755.
- Youssef, A.M.; Moharram, Y.G.; Moustafa, E.K.; Bolling, H.; El-Baya, H. y Harmuth, A.E.** (1990). *"New extruded products from sorghum"*. Food Chemistry 37 (3) p: 189-199.
- Zhumabekova, Z. Zh.; Medvedev, G.M. y Dmitrieva, T.V.** (1991). *"Manufacture of pasta"*. USSR - Patent, SU 1639 581.
- Zayac, P.** (1989). *Almidón de maíz, obtención y utilización*. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba p: 30-31.
- Zyl, H.V. y Zayas, J.F.** (1996). *"Effect of three levels of sorghum flour on the quality characteristics of Frankfurters"*. Institute of Food Technology. I FT, Annual meeting: a book abstracts, p: 64 issn 1082-1236.

ANEXO 1. Características físico- químicas de las harinas de trigo y sorgo utilizadas en el estudio.

<u>Características</u>	<u>Harina de trigo duro canadiense (CWRS # 2)</u>	<u>Harina de sorgo perlado ISIAP-DORADO.</u>
Humedad (%)	12.05	11.15
Cenizas (%)	0.60	0.82
Proteínas (%)	11.40	9.07
Grasas (%)	1.24	1.08
Gluten húmedo (%)	33.10	.
Gluten seco (%)	11.09	.

ANEXO. 2 Modelo de evaluación empleado para la prueba sensorial afectiva mediante jueces consumidores.

Hoja de cata.

Nombre del producto:

Nombre:

Fecha de la evaluación:

Instrucciones: señale con una cruz el lugar de aceptación en la escala hedónica que usted confiere, después de haber degustado el producto a juzgar sensorialmente. Si desea, puede señalar las observaciones que estime sobre el producto degustado.

- 7- Me gusta extremadamente _____
- 6- Me gusta mucho _____
- 5- Me gusta _____
- 4- Ni me gusta, ni me disgusta _____
- 3- Me disgusta _____
- 2- Me disgusta mucho _____
- 1- Me disgusta extremadamente _____

Observaciones a señalar:

ANEXO 3. Modelo de evaluación utilizado en la prueba sensorial de ordenamiento hedónico por rango mediante jueces experimentados para el producto galletas de sal.

Hoja de cata.

Nombre del producto:

Nombre:

Fecha de la evaluación:

Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha y ordénelas según su preferencia al gusto, considerando 1 = mínima preferencia y 6 = máxima preferencia.

Muestras	817	635	422	212	354	575
Orden	_____	_____	_____	_____	_____	_____

ANEXO 4. Modelo de evaluación utilizado en la prueba sensorial de ordenamiento hedónico por rango mediante jueces experimentados para el producto tortica o polvorón.

Hoja de cata.

Nombre del producto:

Nombre:

Fecha de la evaluación:

Instrucciones: Pruebe las muestras de izquierda a derecha y ordénelas según su preferencia al gusto, considerando 1 = mínima preferencia y 4 = máxima preferencia.

Muestras	641	214	475	336
Orden	—	—	—	—

Anexo 5. Resultados del análisis de varianza del modelo factorial 2³ para el estudio del precocido sobre el rendimiento.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
(1) Tiempo de remojo	12.25125	1	12.25125	1089.000	.019286
(2) Tiempo de cocción	.01125	1	.01125	1.000	.500000
(3) Temperatura de secado	15.96125	1	15.96125	1418.778	.016897
1 con 2	.10125	1	.10125	9.000	.204833
1 con 3	2.10125	1	2.10125	186.778	.046499
2 con 3	.03125	1	.03125	2.778	.344042
Error	.01125	1	.01125		
Suma de cuadrados totales	30.46875	7			

Existe efecto significativo para $p < 0.05$

Anexo 6. Coeficientes de regresión del modelo factorial 2³ para el estudio del precocido sobre el rendimiento.

	Coeficientes de regresión	Error estándar	t(1)	P
Intercepto	77.41250	.037500	2064.333	.000308
(1)Tiempo de remojo	1.23750	.037500	33.000	.019286
(2)Tiempo de cocción	.03750	.037500	1.000	.510000
(3)Temperatura de secado	1.41250	.037500	37.667	.016897
1 con 2	.11250	.037500	3.000	.204833
1 con 3	-.51250	.037500	-13.667	.046499
2 con 3	-.06250	.037500	-1.667	.344042

Los coeficientes son significativos cuando $p < 0.05$.

Anexo 7. Resultados del análisis de varianza del modelo factorial 2³ para el estudio del precocido sobre el incremento de volumen.

	Sumas de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F	P
(1) Tiempo de remojo	.024200	1	0.2424200	59.753	.0047211
(2) Tiempo de cocción	.000800	1	.000800	.1975	.733750
(3) Temperatura de secado	1.080450	1	1.080450	266.7778	.038928
1 con 2	.006050	1	.006050	1.4938	.436549
1 con 3	.000200	1	.000200	.0494	.860791
2 con 3	.000800	1	.000800	.1975	.733750
Error	.004050	1	.004050		
Total SS	1.116550	7			

Existe efecto significativo para $p < 0.05$.

Anexo 8. Coeficientes de regresión del modelo factorial 2³ para el estudio del precocido en la variable incremento de volumen.

	Coeficientes de regresión	Error estándar	t (1)	P
Intercepto	4.367500	.022500	194.1111	.003280
(1) Tiempo de remojo	.155000	.022500	12.444	.047211
(2) Tiempo de cocción	.010000	.022500	.4444	.733750
(3) Temperatura de secado	.367500	.022500	16.3333	.038928
1 con 2	-.027500	.022500	-1.2222	.436549
1 con 3	.005000	.022500	.2222	.860791
2 con 3	.010000	.022500	.4444	.733750

Los coeficientes son significativos cuando $p < 0.05$

Anexo 9. Resultados del análisis de varianza del modelo factorial compuesto central bidimensional para el estudio del precocido sobre el rendimiento.

	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
(1)Tiempo de remojo (L)	15.96923	1	15.96923	10.55525	.031409
(1)Tiempo de remojo (C)	1.93209	1	1.93209	1.27706	.321619
(2)Temperatura de secado (L)	14.28963	1	14.28963	9.44508	.037174
(2)Temperatura de secado (C)	.18129	1	.18129	.11983	.746660
1L con 2L	.90250	1	.90250	.59653	.483005
Error	6.05167	4	1.51292		
Totales	39.17900	9			

Existe efecto significativo para $p < 0.05$.

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.

Anexo 10. Coeficientes de regresión del modelo factorial compuesto central bidimensional para el estudio del precocido en la variable rendimiento.

	Coeficientes de regresión	Error estándar	t(4)	P
Intercepto	77.43997	.869731	89.03900	.000000
(1)Tiempo de remojo (L)	1.41496	.435522	3.24889	.031409
Tiempo de remojo(C)	-.65260	.577485	-1.13007	.321619
(2)Temperatura de secado (L)	1.33848	.435522	3.07329	.037174
Temperatura de secado (C)	-.19990	.577485	-.34616	.746660
1L con 2L	-.47500	.615004	-.77235	.483005

Los coeficientes son significativos cuando $p < 0.05$.

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.

Anexo 11. Resultados del análisis de vrianza del modelo factorial compuesto central bidimensional para el estudio del precocido sobre el incremento de volumen.

	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
(1)Tiempo de remojo (L)	.277967	1	.277967	7.76300	.049503
Tiempo de remojo(C)	.068072	1	.068072	1.90111	.240039
(2)Temperatura de secado(L)	.943381	1	.943381	26.34654	.006825
Temperatura de secado (C)	.029925	1	.029925	.83573	.412341
1L con 2L	.000100	1	.000100	.00279	.960388
Error	.143227	4	.035807		
Total	1.531410	9			

Existe efecto significativo para $p < 0.05$.

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.

Anexo 12. Coeficientes de regresión del modelo factorial compuesto central bidimensional para el estudio del precocido en incremento de volumen.

	Coeficientes de regresión	Error estándar	t(4)	P
Intercepto	4.399924	.133801	32.88411	.000005
(1) Tiempo de remojo (L)	.186680	.067001	2.78622	.049503
Tiempo de remojo (C)	-.122495	.088841	-1.37881	.240039
(2) Temperatura de secado (L)	.343911	.067001	5.13289	.006825
Temperatura de secado (C)	.081217	.088841	.91418	.412341
1L con 2L	.005000	.094613	.05285	.960388

Los coeficientes son significativos cuando $p < 0.05$.

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.

Anexo 13. Resultados del análisis de varianza del modelo factorial compuesto central bidimensional sobre el rendimiento de la obtención de almidón.

	Sumas de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	P
(I)Concentración de bisulfito (L)	17.01593	1	17.01593	8.49372	.043486
Concentración de bisulfito (C)	14.24747	1	14.24747	7.11181	.055992
(2)Tiempo de remojo (L)	12.63780	1	12.63780	6.30832	.065942
Tiempo de remojo(C)	28.96160	1	28.96160	14.45656	.019068
1L con 2L	.49000	1	.49000	.24459	.646842
Error	8.01342	4	2.00335		
Total SS	69.80025	9			

Existe efecto significativo para $p < 0.05$.

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.

Anexo 14. Coeficientes de regresión del modelo factorial compuesto central bidimensional sobre el rendimiento de la obtención de almidón.

	Coeficiente de regresión	Error estándar	t(4)	P
Intercepto	54.96381	1.000820	54.91876	.000001
(I)Concentración de bisulfito (L)	1.46060	.501165	2.91440	.043486
Concentración de bisulfito (C)	-1.77215	.664525	-2.66680	.055992
(2) Tiempo de remojo (L)	1.25874	.501165	2.51164	.065942
Tiempo de remojo (C)	-2.52664	.664525	-3.80218	.019068
1L con 2L	-.35000	.707699	-.49.456	.646842

Los coeficientes son significativos cuando $p < 0.05$

Leyenda: (L) = Lineal.
(C) = Cuadrático.