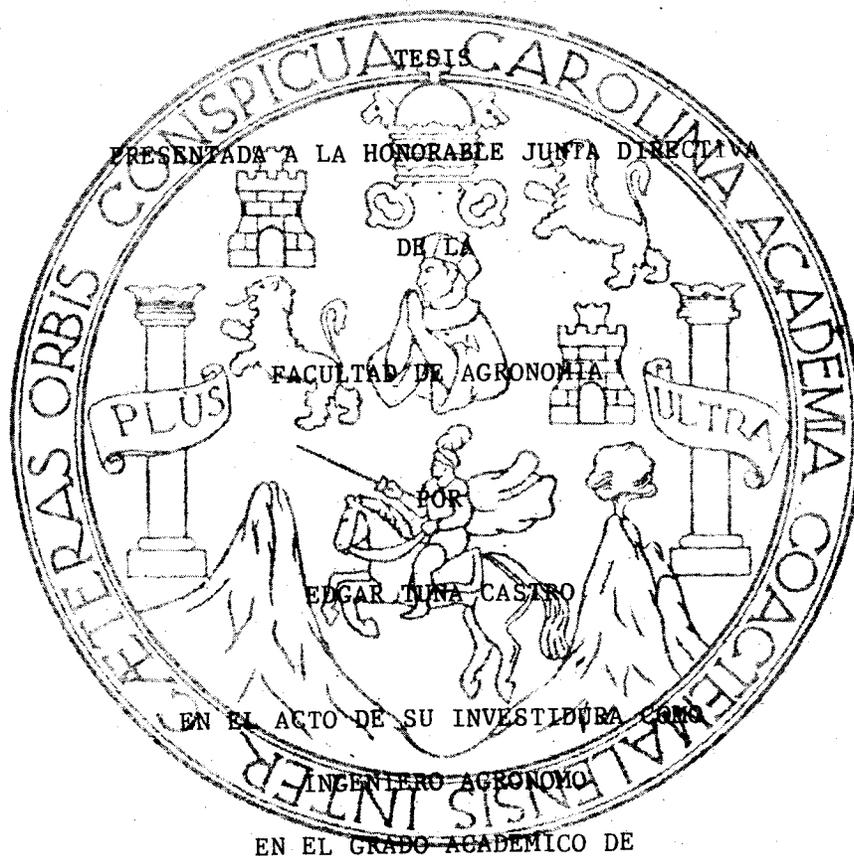


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMIA

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

"RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA FISICA Y LA COMPOSICION QUIMICA SOBRE EL
GRADO DE REVENTADO DEL MAICILLO Y VALOR NUTRITIVO DEL PRODUCTO"



EN EL ACTO DE SU INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRONOMO

EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

T-479

Guatemala, Marzo de 1990

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

Dh
01
T(1137)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

R E C T O R

LIC. RODERICO SEGURA TRUJILLO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Aníbal B. Martínez M.
VOCAL PRIMERO:	Ing. Agr. Gustavo Adolfo Méndez G.
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. Efraín Medina G.
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Wotzbelí Méndez Estrada
VOCAL CUARTO:	P.A. Hernán Perla González
VOCAL QUINTO:	P.A. Julio López Maldonado
SECRETARIO:	Ing. Agr. Rolando Lara Alecio

INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA

OFICINA SANITARIA PANAMERICANA
Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

IN-CA-CA-90-103

5 de marzo de 1990

Ing. Agrónomo
Hugo A. Tobías
Director Instituto de
Investigaciones Agronómicas
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria Zona 12
Ciudad

Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he concluido el asesoramiento y la revisión del documento final del trabajo de tesis del Bachiller Edgar Tuna Castro, titulado: "RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA FISICA Y LA COMPOSICION QUIMICA SOBRE EL GRADO DE REVENTADO DEL MAICILLO Y VALOR NUTRITIVO DEL PRODUCTO".

Considerando que el presente trabajo llena todos los requisitos de una tesis de grado y que además constituye un valioso aporte en el conocimiento de la utilización de este recurso nutricional, recomiendo su aprobación.

Atentamente,



Ricardo Bressani - Coordinador
Investigación en Ciencias
Agrícolas y de Alimentos
Asesor

Guatemala,
5 de marzo de 1990

Señores
Honorable Junta Directiva
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

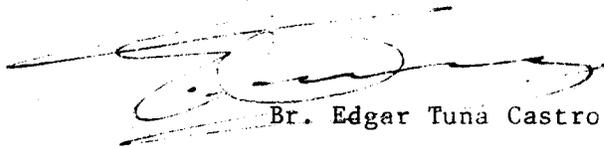
Estimados Señores:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: "RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA FISICA Y LA COMPOSICION QUIMICA SOBRE EL GRADO DE REVENTADO DEL MAICILLO Y VALOR NUTRITIVO DEL PRODUCTO".

La aprobación de dicho trabajo, es requisito previo para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

En espera de contar con la aprobación del mismo, me es grato suscribirme,

Atentamente,



Br. Edgar Tuna Castro

DEDICO ESTA TESIS

A MIS PADRES:

Lic. Edgar Tuna Valladares
Lic. Velia Castro de Tuna

AGRADECIMIENTOS

A Dr. Ricardo Bressani, por su valiosa asesoría y la confianza que depositó en mí

A Personal de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP)

.../Cont.

ii.

Página

3.	Evaluación Del Grado de Expansión de los Cultivares de Maicillo	56
4.	Efecto de la Humedad sobre el Reventado	57
5.	Cambios en la Composición Química debido al Reventado	58
6.	Correlación entre Características Físicas y Químicas en Grano Crudo	63
7.	Correlación entre las Variables de Prueba de Reventado	63
8.	Correlación entre las Características Físicas y Químicas en Grano Crudo y las Variables de la Prueba de Reventado	66
9.	Evaluación Biológica No Reventado vrs. Reventado	69
10.	Evaluación Biológica Maicillo + Soya	69
IX.	CONCLUSIONES	71
X.	RECOMENDACIONES	73
XI.	BIBLIOGRAFIA	74
XII.	GRAFICAS	76
XII.	ANEXO - Cuadros Resumen Agrupación de Tuckey para los Parámetros Estudiados	79
1.	Grano sin Procesar	80
2.	Grano Procesado	82
3.	Prueba de Reventado	83
4.	Comparación No Procesado vrs. Procesado	84
5.	Evaluación Biológica No Reventado vrs. Reventado	85
6.	Evaluación Biológica Maicillo + Soya	86

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro No.</u>		<u>Página</u>
1	Sorgo: Producción, Años 1974-75 - 1983-84	6
2	Composición Química Proximal (%) Promedio de 25 Selecciones de Sorgo Blanco	7
3	Contenido de Aminoácidos Esenciales en Sorgo y Maíz	8
4	Características Físicas	31
5	Composición Química Proximal en Grano Crudo	34
6	Contenido de Lisina, Triptofano y Amilosa en Grano Crudo	36
7	Optimización de la Carga para Reventar	38
8	Efecto de Humedad sobre Reventado	40
9	Pruebas de Reventado	42
10	Composición Química Proximal en Grano Reventado	45
11	Contenido de Lisina, Triptofano y Amilosa en Grano Reventado	47
12	Descripción de las Dietas para la Evaluación Biológica no Reventado vrs. Reventado	49
13	Evaluación no Reventado vrs. Reventado	50
14	Descripción de las Dietas para la Evaluación Biológica Maicillo+Soya	53
15	Evaluación Maicillo+Soya	54
16	Resultados Promedio de la Evaluación Maicillo+Soya	55
17	Composición Química Proximal. Comparación entre Grano Crudo y Reventado	61
18	Contenido de Lisina, Triptofano y Amilosa. Comparación entre Grano Crudo y Reventado	62

<u>Cuadro No.</u>		<u>Página</u>
19	Matriz de Correlaciones entre Características Físicas y Químicas en Grano Crudo	64
20	Matriz de Correlaciones entre las Variedades de la Prueba de Reventado	65
21	Matriz de Correlaciones entre la Prueba de Reventado y Características Físicas y Químicas en Grano Crudo	68

INDICE DE GRAFICAS

<u>Gráfica No.</u>		<u>Página</u>
1	Efecto de la Humedad sobre el Reventado	77
2	Efecto de la Humedad sobre el Reventado	77
3	Evaluación Biológica Maicillo+Soya	78

RELACION ENTRE LA ESTRUCTURA FISICA Y LA COMPOSICION QUIMICA SOBRE EL GRADO DE REVENTADO DEL MAICILLO Y VALOR NUTRITIVO DEL PRODUCTO

RELATIONSHIP BETWEEN THE PHYSICAL STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION ON THE POPPING DEGREE OF SORGHUM, AND NUTRITIVE VALUE OF THE PRODUCT

RESUMEN

En Guatemala y en otros países del área, el sorgo procesado es un alimento típico popular y aún a veces sustituye total o parcialmente al maíz en la preparación de tortillas. Así con el fin de incentivar la producción y que se pueda traducir en un mayor ingreso, se trata de diversificar la utilización del producto primario, y el maicillo reventado es una posibilidad. El propósito principal de este estudio es encontrar si existe alguna relación entre la estructura física y la composición química sobre el grado de reventado del maicillo y valor nutritivo del producto. Esto incluyó establecer los parámetros físicos y químicos de reventado, establecer la composición química de los cultivares después del proceso, asociar el grado de expansión con las características sobre el valor nutritivo del maicillo y por último, el desarrollo de un producto a base de maicillo expandido. En los parámetros físicos se encontraron diferencias entre las variedades, aunque no se diferencian significativamente de materiales de otras regiones del mundo. En grano crudo y procesado se realizó el análisis bromatológico; además de los contenidos de lisina, triptofano y amilosa antes y después del proceso de reventado. En la mayoría de los parámetros estudiados, hubo cambios estadísticamente significativos en donde la humedad residual se redujo, la cantidad de proteína se mantuvo aunque esto no es un buen indicativo de que no se perdió la calidad de la misma, la cantidad de grasa se redujo, contrariamente a lo que sucedió con la fibra cruda, la cual aumentó mejorando

las características físicas del producto, la ceniza también disminuyó; con este análisis químico proximal se determinó un aumento significativo en cuanto al contenido de carbohidratos se refiere, pero como era de esperar, se perdió significativamente el contenido de lisina, triptofano y amilosa después del proceso. Después de determinadas las condiciones de reventado, se evaluó si existían diferencias en cuanto al grado de expansión de los cultivares estudiados y se determinó que sí existen diferencias a este respecto. Un parámetro muy importante es el efecto de la humedad del grano sobre el grado de reventado, el cual se encontró que sí lo es ya que a mayor humedad existe un aumento en el porcentaje de granos reventados. Mediante un estudio biológico se determinó que el proceso de reventado se tradujo en la pérdida de la calidad proteica del maicillo, así como de la digestibilidad. Así, se hizo un nuevo estudio biológico con el cual se llegó a determinar que la adición de un 15% de soya tostada dió origen a un alimento de sabor agradable y mejor calidad nutritiva. Cuando se correlacionaron las características físicas y químicas con el porcentaje de granos reventados, no se encontró ninguna relación, salvo que los materiales con testa y endospermo gris fueron los que dieron los menores porcentajes de grano reventado al proceso estandarizado.

I. INTRODUCCION

El crecimiento económico y social de los países latinoamericanos depende fundamentalmente del adecuado desarrollo y progreso de la actividad agropecuaria, la cual no ha sido capaz hasta ahora de enfrentar con éxito el gran crecimiento de la población de los países del Tercer Mundo.

Año con año hay una baja en la disponibilidad de alimentos per cápita, lo que causa que la gran mayoría de los habitantes de estos países consumen dietas que no son nutricionalmente adecuadas.

En Guatemala específicamente, uno de los países en donde los problemas de salud, desnutrición y mortalidad son grandes, sumándose a esto, una alta tasa de natalidad, el problema de la disponibilidad de alimentos se agrava cada vez más y más.

El consumo diario de calorías y proteínas por habitante alcanza niveles subnormales, lo que repercute en el deficiente desarrollo físico e intelectual de un gran sector de la población guatemalteca, en particular niños, mujeres embarazadas y lactantes. Para solucionar los graves problemas de subalimentación que aquejan, no basta contar con variedades cultivadas y mejoradas, ya que estas serán altamente productivas únicamente si son cultivadas en los suelos apropiados y mejorados con alto grado de tecnología, y esto en los países en desarrollo no está disponible para todos los agricultores.

Por tanto es necesario utilizar aquellos recursos vegetales que además de tener valores nutritivos aceptables, posean buenas características agronómicas y de resistencia a enfermedades y a las condiciones adversas del medioambiente.

El manejo ineficiente tanto de los animales como de los recursos alimenticios de origen vegetal, constituye un factor técnico limitante de importancia en la baja eficiencia de la producción ganadera de la América Latina.

Este bajo rendimiento está íntimamente ligado con la escasa cantidad y la baja calidad de los alimentos proporcionados a los animales, especialmente en ciertos períodos de su vida o desarrollo.

Como es sabido el sorgo en grano entero se utiliza universalmente en nutrición animal. En Guatemala y en otros países del área, el sorgo procesado representa un alimento típico de consumo popular. En ciertas regiones substituye al maíz parcial o totalmente para preparar tortillas y las harinas son utilizadas para la preparación de otros alimentos. Además una forma de consumo se conoce comúnmente como "alboroto". Para obtenerlo, los granos son sometidos al proceso de reventado mediante calor seco, luego aglutinados con miel de panela para presentarlo en forma redondeada.

Por lo tanto, se considera de importancia evaluar si existen diferencias en capacidad de reventado entre variedades de sorgo y si el proceso de reventado provoca cambios en la composición química nutricional del grano.

Una forma de incentivar la producción y que se pueda traducir en un mayor ingreso al agricultor es diversificando el uso de los productos primarios. El maicillo reventado es una posibilidad, que ya hoy en día se practica. El propósito general del presente estudio es conocer si existe alguna relación entre la estructura físico-química del grano de maicillo y el grado de reventado. Asimismo se desea conocer el efecto del proceso sobre la calidad nutritiva del producto y formas de mejorarlo si esto ocurriera.

II. OBJETIVO GENERAL

Estudiar la posible relación entre la estructura física y la composición química sobre el grado de reventado del maicillo y valor nutritivo del producto.

III. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Establecer los parámetros físicos y químicos de los cultivares de maicillo.
2. Establecer condiciones óptimas de reventado en términos de tiempo de exposición y cantidad de carga de grano de maicillo.
3. Con el método de expansión estabilizado, evaluar el grado de expansión de cultivares de maicillo.
4. Establecer la composición química de los cultivares de maicillo después del proceso.
5. Asociar el grado de expansión con las características físicas y químicas del grano.
6. Evaluar el efecto de la expansión sobre el valor nutritivo del maicillo.
7. Desarrollo de un producto a base de maicillo expandido.

IV. HIPOTESIS

1. Existen diferencias en estructura física y composición química entre variedades de sorgo, particularmente carbohidratos, que influyen sobre el grado de expansión al ser sometidos al calor seco.
2. El proceso de expansión o reventado mejora la utilización de los carbohidratos del sorgo.
3. El proceso de expansión o reventado no destruye la calidad proteínica del sorgo.
4. Es posible desarrollar productos aceptables y de alto valor nutritivo para el hombre con grano de sorgo reventado.

V. REVISION DE LITERATURA

1. Producción en Guatemala

En Guatemala se producen actualmente dos tipos de sorgo: de grano blanco, utilizado principalmente en alimentación humana y del grano pigmentado para alimentación animal. Además es importante el uso del follaje como forrajera en la alimentación avícola y porcina.

Según el Anuario de Producción de FAO del año 1987, en Guatemala se cultivaron 67,000 hectáreas de sorgo, con un rendimiento de 1,403 kg por hectárea, para una producción de 94,000 toneladas métricas (15). Por otro lado, el Cuadro No. 1 muestra la producción de sorgo para los países de Centro América (4).

2. Composición Química y Valor Nutritivo

Debido a razones de mayor producción, mayor disponibilidad del grano y a razones económicas se ha originado un apreciable interés en utilizar el sorgo para la obtención de productos alimenticios de consumo humano. Por estas razones, es importante conocer el valor nutritivo y su composición química tan ligada a esa propiedad.

Los datos de composición química son bastante bien conocidos y en términos generales no muy diferentes a los del maíz, como se puede observar en los Cuadros Nos.2 y 3 .

El sorgo contiene en promedio niveles de fibra cruda y de cenizas un poco más elevados que los promedios que se informan para el maíz, conteniendo los dos cereales cantidades similares en los otros nutrientes mayores (indicados en el Cuadro No.2).

CUADRO No. 1

SORGO: PRODUCCION, AÑOS 1974/75 - 1983/84

AÑOS	CENTROAMERICA ⁽¹⁾			GUATEMALA ⁽²⁾			EL SALVADOR ⁽³⁾			HONDURAS ⁽⁴⁾			NICARAGUA ⁽⁵⁾			COSTA RICA ⁽⁶⁾			PANAMA ⁽⁵⁾		
	Superf. 000 Hs.	Produc. 000 TM.	Rendim. TM/Ha.	000 Hs.	000 TM.	TM/Ha.	000 Hs.	000 TM.	TM/Ha.	000 Hs.	000 TM.	TM/Ha.	Superf. 000 Hs.	Produc. 000 TM.	Rendim. TM/Ha.	000 Hs.	000 TM.	Rendim. TM/Ha.	Superf. 000 Hs.	Produc. 000 TM.	Rendim. TM/Ha.
1974/75	319.0	322.3	1.010	74.0	61.7	0.833	127.2	131.1	1.031	55.1	63.5	1.152	55.4	51.9	0.937	7.3	14.1	1.932	...	...	...
1975/76	314.2	411.5	1.310	56.6	94.9	1.677	132.1	174.8	1.323	55.1	60.5	1.098	59.7	61.5	1.030	10.7	19.8	1.850	...	...	...
1976/77	321.9	406.9	1.264	61.0	95.7	1.569	124.7	156.3	1.254	61.5	68.9	1.120	55.9	55.2	0.987	18.8	30.8	1.638	...	...	...
1977/78	305.7	372.5	1.218	50.4	75.7	1.501	131.9	151.1	1.146	55.1	61.9	1.123	43.3	42.8	0.988	25.0	41.0	1.640	...	...	...
1978/79	309.1	405.1	1.310	42.8	64.7	1.513	136.5	161.8	1.185	55.0	62.2	1.131	51.0	63.8	1.251	23.8	52.6	2.210	...	...	...
1979/80	305.3	389.6	1.276	41.0	71.2	1.737	143.2	160.3	1.119	55.8	62.4	1.118	47.2	62.1	1.316	18.1	33.6	1.856	...	...	...
1980/81	289.7	409.2	1.412	34.7	78.3	2.256	119.3	139.9	1.172	61.3	52.8	0.861	53.7	96.6	1.799	20.7	41.6	2.010	...	...	...
1981/82	266.1	376.2	1.414	40.7	86.2	2.117	115.3	135.7	1.177	49.4	42.7	0.864	43.5	81.9	1.883	17.2	29.7	1.727	...	...	...
1982/83	253.3	315.1	1.244	30.6	77.1	2.520	118.8	124.2	1.045	47.8	33.0	0.690	40.3	53.1	1.318	15.8	27.7	1.753	...	...	...
1983/84	279.8	394.1	1.408	47.7	100.4	2.106	110.4	122.7	1.111	51.0	45.1	0.884	50.0	85.3	1.706	20.7	40.6	1.961	...	...	...

Tomado de: Castillo, Yolanda de (4).

CUADRO No. 2

COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL (%)
PROMEDIO DE 25 SELECCIONES DE SORGO BLANCO

	Sorgo*	Maíz
Humedad	14.0	14.0
Proteína	9.4	9.1
Extracto Etéreo	3.4	4.1
Fibra Cruda	2.6	1.7
Cenizas	2.6	1.3
Carbohidratos	68.0	69.8

* Bressani y Ríos, 1962. (3).

CUADRO No. 3

CONTENIDO DE AMINOACIDOS ESENCIALES
 EN SORGO Y MAIZ
 (mg/g N)

Aminoácido	Sorgo	Maíz
Triptofano	70	38
Treonina	224	249
Isoleucina	340	289
Leucina	1004	810
Lisina	170	180
Metionina	108	116
Cistina	104	81
Total Azufrados	212	197
Fenilalanina	311	284
Tirosina	172	382
Total Aromáticos	483	666
Valina	357	319
Arginina	237	220
Histidina	120	129

Tomado de: Orr & Watt, 1957. (3).

Con respecto al contenido de aminoácidos esenciales, investigaciones biológicas han comprobado que la lisina y el triptofano son limitantes tanto en el sorgo como en el maíz, como se evidencia en el Cuadro No.3 .

Estas deficiencias son las que controlan la calidad proteínica de estos cereales y justifican por lo tanto, las investigaciones que se están realizando para corregirlas, a través de la selección de líneas que contengan mayor cantidad de lisina en su proteína, y efectivamente, se han logrado éxitos en esta área de investigación.

Como se puede ver en el Cuadro No.2 , el componente orgánico de mayor contenido en el sorgo es el carbohidrato, cuya importancia reside en su aporte de calorías y en la funcionalidad para consumo en diferentes alimentos. Los carbohidratos del sorgo así como los de otros cereales consisten principalmente en almidón y pequeñas cantidades de monosacáridos. El contenido de almidón con un promedio de 74%, es variable, influenciado por el ambiente y por la composición genética. Este almidón está constituido por amilosa entre 20 y 30% y amilopectina entre 70 a 80%. Existen variedades de sorgo, como los cerosos que contienen un almidón compuesto de 100% de amilopectina, los cuales se han utilizado en el desarrollo de varios productos alimenticios. Las diferencias en cantidad de almidón entre sorgo y maíz no son mayores, más bien parece ser que es la estructura en que se encuentra la que interviene en su utilización biológica y valor nutritivo cuando se somete a diferentes tipos de procesamiento. El grano de sorgo con endospermo menos vítreo o duro, en el cual los gránulos de almidón están menos empacados, son más susceptibles al ataque enzimático, que los granos de sorgo de grano duro, en los cuales los granos de almidón

están más juntos unos de otros y rodeados de una matriz proteínica que si no se rompe y separa, hace que las enzimas no puedan atacarla con eficiencia (3).

Otro componente importante en el sorgo lo constituyen los taninos. Los granos blancos contienen cantidades más bajas en comparación con los granos de color rojo, y éstos dos menos que los de color café. Esto hace que los granos de color blanco sean de mejor valor nutritivo que los de color café, no por su contenido en aminoácidos, sino por los efectos adversos en digestibilidad y en la utilización metabólica afectada por los taninos (3).

Al igual que en cualquier alimento, la calidad nutritiva de la proteína del sorgo trata de cuantificar en forma biológica el contenido, balance y biodisponibilidad de los aminoácidos esenciales presentes en dicha proteína. Existen varias metodologías para medir esta calidad, y una de ellas es la conocida como el Índice de Eficiencia Proteica (PER), ó la Utilización Proteínica Neta (NPR), que se definen como el aumento de peso en un período determinado, por gramo de proteína ingerida. Algunos resultados representativos de variedades de sorgo, recolectados en Choluteca, Honduras, indican contenidos de proteína de 6.5 a 9.4% y una calidad que varió entre 2.15 a 2.64, o sea entre el 53 y el 65% del valor de caseína (3).

Se puede concluir que la calidad de la proteína del sorgo es ligeramente inferior a la del maíz. En cualquier caso, lo importante es que existen diferencias que bien podrían utilizarse para introducir materiales con una mejor utilización biológica (3).

En esas mismas variedades de sorgo la digestibilidad de proteína varió entre 78.0 a 84.1%. La digestibilidad de la proteína del sorgo ha sido un aspecto controversial, ya que resultados en humanos han dado datos sumamente bajos, significativamente menores a los informados para trigo, arroz y maíz; más aún, los valores en los niños son también muy diferentes a los informados en ratas para las mismas selecciones de sorgo. A la fecha, no ha habido una explicación clara a estas observaciones. Esta baja digestibilidad y calidad de proteína es peor en granos de variedades de sorgo que contienen taninos. La conclusión de esta información es que la estructura de la matriz proteica, la de los carbohidratos y la presencia de taninos hacen más difícil el proceso digestivo de hidrólisis, efecto que se hace más fuerte en el caso del hombre (3).

La baja digestibilidad juega un papel muy importante en reducir más la calidad de la proteína de la que en teoría debería tener con base en su contenido de aminoácidos esenciales, en particular lisina (3).

3. Procesamiento:

En general, los tipos de procesamiento a que se somete el sorgo para consumo se pueden clasificar en procesos húmedos y procesos secos. En el proceso húmedo existen dos alternativas, una en la cual después de moler el grano con agua se deja fermentar por 48 horas para dar un producto similar al posol de maíz nixtamalizado preparado por los Aztecas y los Mayas. Información reciente indica que este proceso eleva los niveles de vitamina del complejo B en el producto, y aumenta la calidad de la proteína debido a que la bacteria que induce la fermentación contiene proteínas ricas en lisina. En

la segunda alternativa el sorgo se deja germinar, con lo cual el sistema enzimático degrada los almidones y parte de la proteína, dando como resultado un producto posiblemente más digerible. Los métodos secos presentan dos alternativas: en un caso el grano es tostado y luego molido, proceso similar al que se le aplica al maíz para producir pinol; este proceso da origen a un sabor agradable pero reduce aún más el valor proteínico del sorgo. La otra alternativa es la molienda en seco, que da origen a dos productos, uno de los cuales es una harina y el otro granos quebrados de pequeño tamaño, principalmente de la región dura del grano. Mediante un proceso húmedo con adición de hidróxido de calcio, similar al que se aplica para preparar tortillas de maíz, el sorgo puede transformarse en un producto equivalente, pero para muchas variedades la tortilla desarrolla un color gris (3).

En general, cuando los alimentos son sometidos a tratamientos térmicos cambian sus cualidades físicas y químicas. En algunos casos, el cambio es deseable, ya que mediante el calor, la configuración de las proteínas es alterada haciéndolas más digeribles, pero a su vez hay pérdidas de aminoácidos. Estas pérdidas son drásticas en granos, no así en otros alimentos como en carne y huevos; es por eso que se hace necesario tener sumo cuidado cuando el sorgo y otros cereales son sometidos a algún tratamiento térmico.

Por otro lado, para optimizar el proceso de tostado de la semilla, se deberá encontrar un tiempo y una temperatura en los cuales las pérdidas sean mínimas, y a la vez se obtengan los beneficios del proceso, como son: aumento de la digestibilidad, destrucción de los factores antifisiológicos y mejorar el sabor del producto (10).

Otros métodos de procesamiento para el sorgo bastante utilizados en los últimos 40 años son la trituración, el laminado en seco, el laminado al vapor y las hojuelas al vapor, pero hasta hace poco se comenzó a utilizar el calor seco para el reventado del grano (17). A este último proceso, se le da énfasis en esta revisión, debido a que constituye la base de esta investigación.

El reventado del grano se da debido a una súbita expansión del vapor de agua en los espacios intracelulares del endospermo (13).

La temperatura antes de la explosión debe ser la adecuada para crear una presión de vapor suficientemente alta sin quemar el pericarpio, y la tasa de incremento de temperatura debe ser suficientemente rápida para alcanzar la presión de vapor requerida antes de que se evapore el agua. Los granos dañados reventarán pobremente o no reventarán, ya que el agua tiende a ebullición hacia afuera, no permitiendo con esto el desarrollo de presión (14).

El endospermo de los granos que han sido expandidos por reventado muestra diferentes grados de gelatinización en los gránulos de almidón; al abrirse el grano ocurre una ruptura localizada en la pared celular, y unas pocas burbujas alargadas aparecen en el almidón gelatinizado como resultado del reventado. Gránulos de almidón parcialmente gelatinizados y no gelatinizados predominan inmediatamente debajo de la aleurona y cerca del escutelo. Rupturas localizadas en la pared celular también ocurren en endospermos expandidos de sorgo y de otros cereales, pero el endospermo que se expande y queda esponjoso consiste en células intactas dentro de este, y allí el almidón gelatinizado forma la estructura parecida a burbujas de jabón; los gránulos

gelatinizados se expanden directamente y forman burbujas individuales. Así la estructura de burbujas de jabón estarán también menos desarrolladas en todas las semillas que han sido pobremente reventadas.

Aún en semillas totalmente reventadas, alguna parte del almidón inalterado o parcialmente gelatinizado estará presente debajo de la aleurona y cerca del escutelo.

Cuando diferentes cereales son expandidos por reventado, las diferencias entre endospermos "duro" y "harinoso", y las diferencias entre contenidos de proteína influirán en la capacidad de expansión. También parece ser que hay algunas diferencias entre los gránulos de almidón. Es muy posible que la formación de la típica burbuja de jabón en sorgo esté relacionada con la combinación entre la estructura y la composición de los gránulos de almidón. Así, un almidón no ceroso se gelatiniza entre 67 y 75°C y uno ceroso lo hará 5°C más arriba.

El reventado también está relacionado con las diferencias histológicas del grano, por ejemplo la presencia o ausencia de partes florales tales como glumas y el vigor de las capas del pericarpio; además, los tipos de endospermo presentes y su distribución son muy importantes respecto a las propiedades del almidón. El endospermo "duro" predomina en sorgo, y parece que esto ayuda a que gran parte de la porción expandida conserve la integridad celular de los granos reventados.

Los gránulos de almidón son morfológicamente característicos en los endospermos de granos "duros" y "harinosos"; en los "duros" son poligonales y angulares, mientras que en los "harinosos" son redondeados.

La frecuencia de los gránulos de almidón no gelatinizados aumenta conforme la expansión disminuye, esta es una de las limitantes en el reventado del grano (16).

La base para discriminar en capacidad de reventado entre variedades es la cantidad relativa de dicho grano que se expande cuando ha sido reventado.

El grano reventado usualmente se vende de preferencia con base a volumen que a peso. Además granos con una capacidad de expansión más alta generalmente tendrán una textura más suave al ser reventados, que aquéllos que presentan baja expansión.

Para medir la expansión hay varias formas de expresión:

- Centímetros cúbicos de grano reventado por kilogramo de grano tratado.
- Volumen versus volumen: en un tubo granulado se pone un centímetro de altura de grano no reventado y luego se mide también en centímetros en el mismo tubo la altura del grano ya reventado.

Se ha sugerido que el grosor del pericarpio puede ser un indicador de calidad de reventado.

Algunos granos deben ser sobrecalentados en recipientes presurizados y luego ser pasados repentinamente a un lugar de menor temperatura y presión.

Un mejor reventado se obtiene con endospermas más densos, y más duros. Este tipo de endosperma causará un incremento en la presión de vapor al estar en ciertas condiciones de calor, hasta que una ruptura repentina del pericarpio permite al endosperma expandirse formándose una malla almidonada y porosa. Esta formación se detiene hasta que el agua se evapora (14).

El grano cosechado maduro es mejor para el proceso de reventado. Una muestra con mayor contenido de humedad comienza a reventar a mayor temperatura que una muestra con menor contenido de humedad.

Cuando se precalienta el aparato utilizado para inducir el reventado, el grano incrementará su expansión, así también aumentando la temperatura de precalentado se acortará el tiempo entre haber vertido el grano y que este comience a reventar.

Al incrementar el contenido de humedad de la muestra aumenta el tiempo de reventado del grano. Así, el grano cosechado inmaduro requiere más tiempo para reventar que el cosechado ya maduro.

Al mismo tiempo habrá una relación inversa entre el tiempo de reventado y la expansión que tendrá el grano. Es así que los granos que revientan rápido tienen mayor expansión. Las muestras que tienen buena expansión comenzarán a reventar repentinamente y pararán de igual forma.

Altos volúmenes de muestra son inversamente relacionados a cortos períodos de reventado (8).

El contenido de humedad tiene un efecto pronunciado en el comportamiento del reventado. Así, granos muy secos reventarán muy poco y producirán un sonido apagado (sordo), semillas muy húmedas reventarán, produciendo la explosión un sonido más bien alto (14).

El contenido de humedad óptimo es de 13.5% aunque Huelsen y Bemis (1954) encontraron que con un 14% se incrementa la expansión.

La reducción del contenido de humedad también reducirá el tiempo de reventado del grano. La temperatura a la cual el grano comienza a reventar decrecerá cuando se incremente la humedad (13).

Durante el proceso de reventado se tendrán tres tipos de pérdidas, que se pueden clasificar así:

- Pérdidas de humedad (11-13%)
- Granos que no revientan (2%)
- Pérdidas de las cubiertas del grano (1%) cuando se tamiza luego de procesado.

Así, las pérdidas pueden llegar a ser del 16% (14).

En un experimento las muestras de semillas no tratadas y reventadas fueron sometidas a análisis bromatológico, y de lisina y triptofano (10).

Los datos de proteína, lisina y triptofano fueron sometidos individualmente a un análisis de varianza, y las diferencias entre los tratamientos fueron analizadas mediante la prueba de diferencia significativa mínima.

Como resultado del experimento se obtuvo que el contenido de proteína no varía con las distintas temperaturas de proceso y lo mismo sucede con el contenido de lisina. Pero con altas temperaturas y tiempos largos de exposición del grano al calor, se causa daño en el contenido de lisina. En cuanto al contenido de triptofano se demostró también que tratamientos extremos ocasionan pérdidas de este aminoácido (10).

4. Utilización Actual:

El sorgo fue introducido al Nuevo Mundo desde Africa, con los esclavos durante los siglos XVII y XVIII. Aunque fue incorporado en diferentes sistemas agrícolas de producción, tradicionales de los Estados Unidos de América, el Caribe y después Centro América, su mayor extensión fue en el sur de los Estados Unidos. No fue sino durante la última parte del siglo XIX y en inicios del siglo XX, que variedades fueron seleccionadas por su precocidad, insensibilidad al fotoperíodo, baja estatura y resistencia a varias enfermedades, todas ellas para alimentación animal, tanto el grano como el follaje.

Posteriormente con el desarrollo de la hibridación en los Estados Unidos, tecnología que también abarcó al sorgo, se lograron híbridos que se adaptaron ampliamente a diferentes zonas geográficas. Obviamente, la mayoría del sorgo en Latino América es híbrido, con parentesco con el de Estados Unidos, y usado principalmente para alimentación animal, cultivado en fincas mecanizadas, de tamaño mediano o grande con rendimientos relativamente altos, debido en general a la aplicación de nuevas tecnologías.

Por el contrario, la situación del sorgo para la alimentación humana es muy diferente. En general, se usa el grano blanco, obtenido mediante sistemas de producción más tradicionales y antiguos, no mecanizados y en fincas poco integradas al mercado. Además, la superficie de estos sistemas de producción se mantienen más estables y los productores han sido poco afectados por nuevas tecnologías o la investigación agrícola (7).

En Guatemala se producen actualmente dos tipos de sorgo: en el Oriente se producen principalmente sorgos blancos para consumo humano, y las variedades rojas, para la elaboración de concentrados son producidas en la costa sur del país.

5. Alimentación Humana:

En la actualidad, el sorgo como alimento para el hombre en América Latina, no tiene la importancia alimentaria y nutricional que tiene en otros países, principalmente en Africa y algunos países de Asia.

Sin embargo, en varias regiones de América Latina y en particular en Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua, el sorgo es consumido por la población, ya sea solo o mezclado con maíz en la preparación de algunos alimentos principalmente tortillas (3).

No se puede decir que en estos momentos el sorgo ocupe un lugar fundamental en la ingsta alimentaria del centroamericano, pero sí que representa un papel importante en la economía y dieta del campesino como sustituto ocasional del maíz. La razón para esto, es que la mayoría de los campesinos no producen suficiente maíz, para su propio consumo y no cuentan con los recursos económicos necesarios para comprar este grano. En consecuencia, el sorgo producido o comprado por un precio menor al del maíz, desempeña un aporte muy valioso para la dieta durante ciertas épocas del año y en años en que se produce poco maíz (5).

Mientras que la tortilla es el producto más común y más importante hecho con sorgo en el área centroamericana, también se preparan en esta región, otros alimentos tales como rosquillas, productos duros como galletas o bizcochos preparados con masa de sorgo mezclada con masa de maíz, a la cual se le agrega queso molido, azúcar y algunas especies. También el sorgo reventado se forma en bolas usando miel de caña o de abejas para hacer alborotos. Un refresco hecho con sorgo molido, agua y azúcar o un atol preparado con masa

de sorgo cocida en agua o en leche, se consume ocasionalmente con otros alimentos en Centro América, especialmente en Honduras y Nicaragua (5).

En contraste a la situación en países del área centroamericana, en Africa y Asia el grano de sorgo ha sido incorporado como grano básico en el sistema alimentario, tanto que en Africa, el 85% de la producción es usado para la alimentación humana. Vale decir que alrededor del 53% del sorgo producido en el mundo, es usado para consumo humano.

Ante este panorama, no es sorprendente que Instituciones como ICRISAT y el Proyecto Internacional de Sorgo y Mijo (INTSORMIL) tengan como parte de sus mandatos, enfocar el desarrollo de semillas mejoradas de sorgo convenientes para consumo humano. Debido a la gran variedad de alimentos preparados con sorgo en diferentes partes del mundo, este enfoque casi demanda que sean desarrolladas variedades para regiones específicas con características específicas de calidad de grano para cada región. Además, tanto las variedades nuevas como las viejas deben ser evaluadas por su capacidad para producir productos aceptables, antes de introducirlas en las comunidades consumidoras de sorgo (5).

En efecto, existe en la actualidad cierto número de descripciones de productos a base de sorgo y de su preparación. Varios proyectos de investigación se han enfocado hacia la descripción de las características importantes de la calidad del grano en la producción de alimentos aceptables en diversas áreas del mundo. Un panorama de los alimentos preparados con sorgo, fue presentado por Murty et al. (1982) (5) durante el Taller de Trabajo sobre Calidad

del Grano para Latino América patrocinado por INTSORMIL/INIA/ICRISAT. Fueron listadas ocho categorías principales de los productos:

- | | |
|---|----------------------------------|
| 1. Pan ázimo (no fermentado) | Roti, tortilla |
| 2. Pan de levadura (fermentado) | Injera, Kisra, Dosai |
| 3. Sopa espesa | To, Tuwa, Ugali, Bagobe, Sankati |
| 4. Sopa ligera | Ooi, Uoi, Ambali, Edi |
| 5. Productos cocidos al vapor | Couscous, Wowoto, Fideos |
| 6. Sorgo hervido | Soru |
| 7. Alimentos tentempié | Sorgo en palomitas (reventado) |
| 8. Bebidas alcohólicas y no alcohólicas | |

Dentro de cada categoría hay un amplio grado de variación en los productos, dependiendo de si se usa grano entero o descortezado, si la masa es fermentada o no o si se usa un medio de cocción ácido, alcalino o neutro.

La literatura incluye descripciones de las características organolépticas importantes de varios alimentos específicos y ensayos de diversas variedades de sorgo en su capacidad para producir alimentos aceptables.

Es importante tener en mente que pueden existir varios productos que requieren para su procesamiento de características específicas en cuanto a la calidad de grano. Puede ser necesario un sorgo de semilla blanca para producir una sopa aceptable, pero los agricultores pueden estar interesados en uno de color y resistente a los pájaros, para usarlo en la elaboración de cerveza. Es claro que los agricultores de subsistencia siembran frecuentemente varias variedades de un cultivo particular, cada una destinada para

un uso diferente. En los cultivos destinados al mercado, las características de calidad alimentaria pueden tener un efecto importante sobre el precio de su comercialización (5).

Los esfuerzos dirigidos a obtener líneas y variedades de mejor calidad proteica y mejor calidad del grano deben continuar, desarrollando a la vez, tecnologías de procesamiento para la clase de uso que ayude a mejorar la alimentación y la nutrición del hombre en el mundo. Por otro lado, con la diversificación de procesamientos para el producto primario, se espera incentivar la producción del cultivo de sorgo.

Se podría concluir señalando que en la actualidad existen dos tendencias para utilizar el sorgo en alimentación humana. Una de ellas es la de ampliar su uso en los alimentos tradicionales y autóctonos de las poblaciones que consumen sorgo. La otra tendencia es la de procesar el grano de sorgo para lograr productos intermedios diferentes a los autóctonos. Independientemente del uso que se le desee dar se ha hecho evidente la necesidad de continuar con los esfuerzos para lograr líneas y variedades de mejor calidad proteínica, con mayor contenido de lisina, con mejor calidad de grano y se debe continuar desarrollando tecnologías de procesamiento tendientes todas a mejorar la nutrición humana (3).

6. Alimentación Animal:

Como es bien conocido, en la actualidad el sorgo se cultiva en la mayor parte de países latinoamericanos para ser usado principalmente como fuente de calorías y de proteína en la alimentación bovina, avícola y porcina (3). También el follaje se utiliza como forraje para ganado bovino, después de haberse cosechado el grano (3). Es explicable esta situación, ya que el usar sorgo para alimentación animal, aumenta la disponibilidad del maíz para consumo humano (6). Se usa principalmente en la industria de concentrados, en reemplazo del maíz, lo cual disminuye considerablemente los costos (2).

Algunas investigaciones señalan que el uso de grano de sorgo reventado por calor, en la preparación de concentrados para novillos, es más rentable que el grano entero. Al respecto, Ellis y Carpenter en 1966 (17) reportaron que se necesita aproximadamente un 16.65 menos de alimentos por unidad de ganancia cuando un 40% del grano triturado es sustituido por grano reventado. Además, Durham, Ellis y Code (1967)(17) determinaron que el ganado toleraba mejor la alimentación con sorgo reventado o quebrado que con sorgo hecho hojuelas. La digestibilidad de todos los compuestos químicos del grano excepto el extracto etéreo, la fibra y la proteína fue significativamente más alta para el ganado alimentado con grano tratado al calor que con grano no tratado. Además, se demostró que se necesita menor cantidad de alimento al utilizar en la mezcla grano tratado al calor (reventado), y esto generalmente estará acompañado por un incremento en la eficiencia biológica y la consecuente reducción en la cantidad de alimento necesario por unidad de ganancia (17).

Esfuerzos como estos se deben continuar con el objeto de lograr líneas y variedades de mejor calidad proteínica, con mejor calidad de grano y se deben continuar desarrollando tecnologías de procesamiento para darle la clase de uso que ayude a la alimentación y nutrición del hombre en el mundo (3). Por otro lado, con la diversificación de los procesos del producto primario, se espera incentivar la producción del cultivo de sorgo, ya que se ampliarán los mercados y aumentará la demanda del mismo; al mismo tiempo que se crearán nuevas fuentes alimenticias, repercutiendo todo esto en mejores ingresos económicos para el agricultor.

VI. MATERIALES Y METODOS

1. Muestras de Maicillo

Las muestras de maicillo fueron proporcionadas por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA)*. Se recibieron 10 kg. de cada una de las 11 muestras que se identificaron como se presenta a continuación:

<u>Identificación</u>	<u>Variedad</u>
1	Par 1
2	Par 2
3	Par 3
4	Par 4
5**	Sorgo V5, semilla V. blanca
6	Par 6
7**	sorgo V7
8	Par 8
9	Par 9
10	Sorgo Mitlán (ICTA) (El Oasis, Zacapa)
11	Selección de grano de oro= Quita y Pone, Ciclo "A" 1987 (El Oasis, Zacapa)

2. Para llevar a cabo el proceso de reventado se utilizó un reventador de uso doméstico marca Kenmore, que funciona mediante aire caliente a 225°C con un flujo de 1.08 m³/min.

* Muestras proporcionadas por el Ing. Hugo Martínez.

** Utilizados en alimentación animal.



3. Método de Expansión

El reventador utilizado para estos estudios, es para reventar maíz. La casa que manufactura el equipo recomienda una carga de 150 gramos de maíz, lo cual equivale a la medida llena que trae el aparato. No existiendo esta recomendación para maicillo, y siendo este más pequeño que el maíz, fue necesario estudiar o conocer este aspecto, así 1/4 de la medida de sorgo pesó 20 gramos, 1/2 pesó 41 gramos, 3/4 de la medida pesaron 62 gramos y la medida llena peso 83 gramos:

Con el objeto de establecer las condiciones óptimas de reventado en términos de cantidad de carga y tiempo de exposición al calor del grano de maicillo, se procedió de la siguiente manera, utilizando una sola variedad en todas las pruebas:

- a. Se hizo una calibración de la máquina introduciendo un termómetro en la cavidad para proceso, se encendió el aparato y se fueron tomando lecturas de temperatura cada 20 segundos hasta que se llegó a un punto de estabilización a 225 C (la máquina no tiene forma de ser graduada en cuanto a temperatura del aire caliente que produce).
- b. Optimización de la carga del reventador: se sometieron a reventado muestras de granos de sorgo con pesos de 83, 62, 41 y 20 gramos, después de un precalentamiento del equipo de 1 minuto y 30 segundos. Se tomaron lecturas de volumen inicial y volumen final de las muestras en mililitros; tiempo de inicio del reventado de los granos y tiempo de finalización del reventado, en segundos; por último el número de granos no reventados, separándolos de los reventados por medio de un tamiz con una abertura de 4 mm. Se hicieron

se hicieron 4 repeticiones por cada peso. Una vez estabilizado el método de expansión en términos de carga se evaluó el grado de expansión de los 11 cultivares de maicillo.

- c. Se establecieron los parámetros físicos y químicos de los cultivares de maicillo sin procesar, y luego se asoció el grado de expansión con las características físicas y químicas del grano sin procesar. Estas características también fueron asociadas a las características químicas del grano procesado.

4. Análisis Físicos:

En Grano Crudo: color del grano, grosor del pericarpio, presencia o ausencia de testa, color del endosperma, textura del endosperma, peso de 100 granos, número de granos en 40 gramos, densidad del grano (/g/ml), según el Sorghum Quality Laboratory Manual for Use in West Africa (12).

5. Análisis Químicos:

Análisis químico proximal completo (humedad residual %, proteína %, extracto etéreo %, fibra cruda %, ceniza); carbohidratos, según las reglas de AOAC (1); lisina disponible (9); triptofano (1); amilosa (11), en grano crudo y procesado.

6. Evaluación Biológica:

En los materiales crudos y procesados caracterizados químicamente, se realizó un ensayo biológico utilizando ratas Wistar de 21 días de nacidas (4 machos y 4 hembras por material), para evaluar Eficiencia Proteica (PER), Razón Proteica Neta (NPR), digestibilidad verdadera y digestibilidad aparente (19). Las dietas están descritas en el Cuadro No. 12.

7. Efecto del Aumento de la Humedad sobre el Reventado:

Se sumergió el grano con una relación de 3 partes de agua por 1 de grano (este grano había sido llevado al horno a 60°C hasta peso constante). Luego se tomaron muestras del grano humedecido a los 15, 30 y 45 minutos después de inmersión. Al grano se le eliminó el exceso de humedad que quedó adherido en la superficie utilizando papel secante. Se le dió 2 horas de reposo a cada muestra a temperatura ambiente con el fin de que el agua absorbida se distribuya uniformemente dentro del grano, y se procedió a reventar tomando lecturas de peso, tiempo de inicio de reventado, tiempo de finalización de reventado, volumen inicial, volumen final y número de granos no reventados.

8. Desarrollo de un Producto a Base de Maicillo Expandido:

- a. Efecto de la suplementación con soya: este producto fue realizado con una base de maicillo expandido y un suplemento de soya tostada. Para esto se procedió en dos fases, evaluación biológica y elaboración del producto. La evaluación biológica se hizo utilizando la Razón Proteínica Neta (NPR) en razas Wistar de 21 días de nacidas (18). Se hicieron dietas suplementadas con 0, 5, 10 y 15% de soya tostada y molida. La descripción de las dietas está en el Cuadro No. 14.
- b. Desarrollo del Producto: En la elaboración del producto se utilizó soya limpia, descascarada y frita en aceite a 150°C por 45 segundos; luego se aglutinó con el maicillo reventado utilizando miel de abeja. Se utilizaron las siguientes proporciones: 85% maicillo reventado, 15 % de soya.

9. Análisis de la Información:

Para esto se contó con el Centro de Cómputo de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto, y se utilizó el paquete estadístico SAS, para hacer análisis de varianza, pruebas de Tuckey y correlaciones.

VII. RESULTADOS

1. Características Físicas

Con el propósito de responder a los objetivos específicos planteados en esta primera sección, se presentan los datos físicos y químicos que caracterizan los cultivares de maicillo empleados en este estudio.

Los resultados de la caracterización física de los materiales se presentan en el Cuadro No. 4.

- Color del Grano: Las variedades 1, 6 y 10 presentan granos blancos, las variedades 5 y 7 presentan granos bicoloreados de blanco y rojo y el resto son variedades amarillas.
- Grosor del Pericarpio: Las variedades 1, 2, 5, 7, 8 y 11 tienen pericarpios de un grosor medio mientras que las demás presentan pericarpios más bien delgados.
- Testa: Únicamente las variedades 5 y 7 presentaron testa fuertemente pigmentada de color café-rojizo.
- Color del Endosperma: Todas las variedades presentaron endosperma de color amarillo, a excepción de la 5 y 7 cuyo color del endosperma fue gris.
- Peso de 100 granos: La variedad que presentó el mayor peso fue la número 11 con 4.59 g y la que presentó el menor fue la variedad 10 con 2.42 g. Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades, siendo según la prueba de Tuckey la de mayor peso la variedad identificada con el número 11.
- Número de Granos en 40 Gramos: La variedad que presentó el menor número de granos fue la número 1 con 865 granos y la que presentó el mayor fue la número 10 con 1,647 g. Estadísticamente existen

CUADRO No.4
CARACTERISTICAS FISICAS

Variedad	Color del grano	Grosor del Pericarpio	Testa.	Color del endosperma	Peso de 100 granos (g.)	No. de Granos en 40 gramos	Densidad (g/ml)	Textura del endospermo (%)
1	Blanco	mediano	no	amarillo	2.61 + 0.02*	1529.5 +14.85*	1.33 +0.00*	60.0 +0.00*
2	Amarillo	mediano	no	amarillo	2.88 + 0.04	1397.0 + 9.899	1.43 +0.00	70.0 +0.00
3	Amarillo	delgado	no	amarillo	2.81 + 0.01	1431.5 + 4.95	1.33 +0.00	70.0 +0.00
4	Amarillo	delgado	no	amarillo	3.04 + 0.01	1318.0 + 7.07	1.33 +0.00	50.0 +0.00
5	Blanco y Rojo	mediano	si	gris	3.94 + 0.01	1010.5 + 4.95	1.25 +0.00	30.0 +0.00
6	Blanco	delgado	no	amarillo	2.95 + 0.01	1342.5 + 9.19	1.33 +0.00	40.0 +0.00
7.	Blanco y Rojo	mediano	si	gris	2.54 + 0.01	1577.5 + 6.36	1.33 +0.00	20.0 +0.00
8	Amarillo	mediano	no	amarillo	3.35 + 0.03	1207.5 + 7.78	1.33 +0.00	40.0 +0.00
9	Amarillo	delgado	no	amarillo	2.74 + 0.02	1459.5 + 7.78	1.33 +0.00	50.0 +0.00
10	Blanco	delgado	no	amarillo	2.42 + 0.01	1647.0 + 2.83	1.33 +0.00	60.0 +0.00
11	Amarillo	mediano	no	amarillo	4.59 + 0.03	865.0 + 4.24	1.33 +0.00	50.0 +0.00

* Media + Desviación Estándar.

diferencias altamente significativas entre variedades teniendo el mayor contenido de granos la variedad 10 según la prueba de Tuckey.

- Densidad (g/ml): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las variedades estudiadas; siendo según la prueba de Tuckey la variedad más densa la No.2 con 1.43 g/ml y la menos densa la No.5 con 1.25 g/ml.
- Textura del Endospermo (%): En esta determinación a valores más altos en el porcentaje, mayor será la porción de textura dura o vítrea del endospermo. Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. La prueba de Tuckey dió como similares en cuanto a textura y con el mayor valor de 70% a las variedades 3 y 2, y con el menor valor a la variedad 7 con 20% de textura dura o vítrea.

2. Composición Química Proximal en Grano Crudo

Los datos de composición química proximal se presentan en el Cuadro No. 5 .

- Humedad Residual (%): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades luego de la prueba de Tuckey. Las variedades con mayor contenido de humedad y estadísticamente similares fueron la 8,9 y 11, con valores que oscilaron de 12.20 a 11.95%, y las variedades con el menor contenido de humedades similares estadísticamente fueron la 1 y la 2 con 11.40 y 11.10 respectivamente.

- **Proteína (%):** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las variedades estudiadas. En la prueba de Tuckey las variedades con el mayor contenido de proteína y similares estadísticamente fueron 2,3,8,9 y 11 con valores que están entre 10.06 y 9.81% y las variedades con el menor contenido de proteína y estadísticamente iguales, fueron la 5,6 y 7 con valores entre 8.70 y 8.39% de proteína.
- **Extracto Etéreo:** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. Según la prueba de Tuckey, las variedades que presentaron el mayor contenido de grasa fueron la 5 y la 11, con valores de 5.14 y 4.37%, mientras que las variedades 2,3,4,6,7,8 y 9 fueron las que tuvieron el menor valor estadísticamente similar, con un rango entre 3.36 y 2.29% de grasa.
- **Fibra Cruda (%):** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las 11 variedades estudiadas. La prueba de Tuckey presentó a las variedades 2,6,9 y 11 como similares estadísticamente y con el mayor valor, con un rango que osciló de 3.03 a 2.82%, mientras que las variedades 1,3,4,5,7,8 y 10 presentaron el menor valor estadísticamente y con un rango que fue de 2.37 a 1.96.
- **Ceniza (%):** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las variedades estudiadas. Según la prueba de Tuckey las variedades que presentaron el mayor contenido de ceniza y similares entre sí, fueron la 2,3,4,6 y 11; con valores que

CUADRO No. 5
COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL EN GRANO CRUDO

Variedad	Humedad residual %	Proteína %	Extracto etéreo %	Fibra cruda %	Ceniza %	Carbohidratos %*
1	11.40** + 0.00	8.88** +0.09	3.80** +0.29	2.14** +0.09	1.37** +0.01	72.39 **
2	11.10 + 0.00	9.87 +0.08	3.36 +0.13	2.92 +0.18	1.61 +0.02	71.12
3	11.60 + 0.14	9.81 +0.00	3.02 +0.26	2.16 +0.04	1.64 +0.04	71.76
4	11.75 + 0.07	9.15 +0.099	3.21 +0.37	2.37 +0.06	1.70 +0.01	71.80
5	11.75 + 0.07	8.70 +0.18	4.37 +0.36	1.96 +0.01	1.49 +0.01	71.71
6	11.50 + 0.14	8.40 +0.08	2.94 +0.12	2.88 +0.28	1.64 +0.07	72.63
7	11.65 + 0.07	8.39 +0.26	2.29 +0.25	2.33 +0.07	1.45 +0.07	73.88
8	11.95 + 0.07	10.06 + 0.00	2.55 +0.19	2.19 +0.08	1.36 +0.01	71.88
9	11.95 + 0.07	9.93 + 0.18	3.26 +0.18	2.82 +0.03	1.49 +0.04	70.53
10	11.80 + 0.14	9.44 + 0.17	3.85 +0.45	2.36 +0.11	1.28 +0.07	71.26
11	12.20 + 0.14	9.87 + 0.09	5.14 +0.28	3.03 +0.27	1.59 +0.01	68.21

* Carbohidratos por diferencia.

** Media + Desviación Estándar.

estuvieron entre 1.70 y 1.54%; el menor contenido lo presentaron las variedades 1,8 y 10, con valores entre 1.37 y 1.28% de ceniza.

- Carbohidratos (%): Estadísticamente la variedad 7 presentó el mayor contenido de carbohidratos con un valor de 73.88%, mientras que la variedad 11 presentó el menor contenido con 68.21%. Los carbohidratos se obtuvieron por diferencia.

3. Contenido de Lisina, Triptofano y Amilosa en Grano Crudo

Los datos de contenido de lisina, triptofano y amilosa se presentan en el Cuadro No. 6 .

- Lisina Disponible (%): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedad. La prueba de Tuckey dió como las variedades con mayor contenido de lisina disponible y similares estadísticamente a la 2,3,5 y 11 con valores que estuvieron entre 0.289 y 0.246. El menor valor lo presentaron las variedades 1,4,6,7,8,9 y 10 con valores que oscilaron entre 0.231 y 0.188% de lisina disponible.
- Triptofano (%): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. La prueba de Tuckey dió como simialres y con el mayor contenido de triptofano a las variedades 1,2,3,6,8 y 11; con valores que estuvieron entre 0.056 y 0.047%. La variedad con menor valor fue la número 7 con 0.039.

CUADRO No.6
 CONTENIDO DE LISINA, TRIPTOFANO Y AMILOSA EN GRANO CRUDO

Variedad	Lisina %	Triptofano %	Amilosa %	Amilosa g/100 g de carbohidratos
1	0.212* +0.004	0.052* +0.004	14.37* +0.09	19.28* +0.12
2	0.289 +0.006	0.051 +0.004	13.29 +0.36	17.95 +0.49
3	0.269 +0.002	0.047 +0.001	14.63 +0.63	19.80 +0.85
4	0.231 +0.008	0.043 +0.001	14.44 +0.54	19.47 +0.74
5	0.246 +0.002	0.044 +0.003	13.80 +0.18	18.89 +0.25
6	0.207 +0.029	0.049 +0.003	14.69 +0.00	19.46 +0.00
7	0.202 +0.003	0.039 +0.003	11.64 +0.36	15.25 +0.47
8	0.188 +0.003	0.053 +0.004	13.23 +0.27	17.85 +0.36
9	0.208 +0.021	0.045 +0.002	12.91 +0.00	17.60 +0.00
10	0.191 +0.001	0.039 +0.002	13.10 +0.09	17.80 +0.12
11	0.251 +0.002	0.056 +0.001	12.78 +0.36	17.95 +0.51

* Media + Desviación Estándar.

- Amilosa (%): Estadísticamente todas las variedades presentan diferencias altamente significativas entre sí. La prueba de Tuckey dió con mayor contenido de amilosa y similares estadísticamente a las variedades 1, 3, 4, 5 y 6, con valores que estuvieron entre 14.69 y 13.80%, y con el menor valor de contenido, las variedades 7, 9 y 11 con valores entre 12.91 y 11.64%.
- Amilosa en g/100 g de Carbohidratos: Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. La prueba de Tuckey dió con el mayor valor, y similares estadísticamente a las variedades 1, 3, 4, 5 y 6, con valores entre 19.80 y 18.89; mientras que el menor valor lo tuvo la variedad 7 con 15.25 de amilosa.

4. Optimización de la Carga para Reventar:

Con el propósito de responder al objetivo No.2, referente a las condiciones óptimas de procesamiento, se presentan los datos que se describen a continuación y que se encuentran en el Cuadro No.7.

En el análisis de varianza el porcentaje de reventados, la prueba 2 (62.26 g) dió el segundo mejor grado de reventado, y lo mismo sucedió con la misma prueba para el cambio de volumen, aunque, estadísticamente fue igual al del peso mayor (83.56 g).

Por otro lado, la regresión entre peso y porcentaje de reventados dió que a menor peso aumentaba el porcentaje de los granos reventados. Así se escogió la carga de 62.64 g aproximadamente, como óptima para reventado, ya que la carga mayor (83.56 g) no proporcionaba el mejor reventado y en la 3 (41.78) y 4 (20.27) aunque se incrementaba el porcentaje de granos reventados, la cantidad de grano reventado al final de cada repetición era muy poca.

CUADRO No. 7

OPTIMIZACION DE LA CARGA PARA REVENTAR

Prueba	Peso (g)	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Cambio de volumen (ml)	Tiempo de inicio de reventado (seg)	Tiempo de exposición (seg)	No. granos no reventados	% de granos reventados
1	83.556* +0.005	98.000* +0.00	855.0* +83.96	760.00* +82.26	56.25* +2.50	84.63 * +8.9	968.25 * +385.0	71.88 * +11.20
2	62.640 +0.009	72.125 +1.31	792.5 +71.82	720.38 +72.78	42.50 +2.89	88.11 +9.3	339.75 +118.2	86.84 + 4.58
3	41.781 +0.006	49.750 +0.50	522.5 +27.54	472.75 +27.87	43.00 +4.00	76.81 +5.8	331.50 + 81.8	80.76 + 4.75
4	20.272 +0.007	23.750 +0.50	322.5 +22.17	298.75 +22.59	24.75 +0.50	34.25 +5.1	46.00 +15.1	94.49 + 1.81

38.

* Media + Desviación Estándar.

5. Efecto de la Humedad sobre el Reventado

Los datos del efecto de la humedad se presentan en el Cuadro No.8. El efecto que tuvo el remojo del grano en agua a diferentes tiempos, fue a medida que iba aumentando el tiempo de remojo, iba mejorando el reventado aunque con 15 y 30 minutos no hubo ningún grano reventado (ver Gráfica No.1); por otro lado, el valor de cambio de volumen fue aumentado, hasta un máximo de 399.33 ml, con un remojo del grano de 45 minutos (ver Gráfica No. 2). Lo mismo sucedió con el tiempo del inicio de reventado y el tiempo de exposición al calor seco hasta que terminó de reventar el grano (ver Gráfica No.3), en la que se muestra que a mayor tiempo de remojo del grano, fue aumentando el tiempo de inicio de reventado y el tiempo necesario para que terminara de reventar el grano (tiempo de exposición).

6. Pruebas de Reventado entre Variedades de Maicillo

Una vez establecidas las condiciones óptimas de expansión, los materiales fueron sometidos al proceso para así poder evaluarlos desde este punto de vista. Los resultados de la prueba de reventado se presentan en el Cuadro No.9.

- Volumen Inicial (ml): Existen diferencias altamente significativas de volumen, antes de reventar entre las diferentes variedades, utilizando el mismo peso de carga óptimo para todas las pruebas. Según la prueba de Tuckey el mayor volumen inicial lo tienen las variedades 5 y 11 con valores de 78 y 77.14

CUADRO No. 8

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE REVENTADO

Tiempo de remojo (min.)	Volumen inicial (ml)	Cambio de volumen (ml)	Tiempo de inicio de reventado (seg)	Tiempo de exposición (seg)	No. de granos reventados	% de granos reventados
15	60.00* + 11.31	36.00* + 5.66	42.50* + 3.50	41.25* + 0.35	0*	0*
30	64.67 + 9.24	73.67 +14.80	43.33 + 2.89	44.70 + 6.46	0	0
45	74.00 + 0.00	399.33 +56.90	55.33 + 0.58	64.33 + 8.08	849.0 +338.8	67.14 +13.11

40.

* Media + Desviación Estándar.

ml, y el menor lo tienen las variedades 2, 4 y 10 con valores que estén entre 72.29 y 72 ml.

- Volumen Final(ml): Existen diferencias altamente significativas de volumen final, entre variedades después del proceso de reventado. La prueba de Tuckey dio a la variedad 10 con el mayor volumen final (792.5 ml) y a la variedad 5 con el menor valor (117.43 ml).
- Cambio de Volumen (ml): Existen diferencias altamente significativas entre variedades en cuanto al cambio de volumen ocurrido antes y después del reventado. Teniendo, según la prueba de Tuckey, el mayor valor la variedad 10 con un cambio de 720.5 ml y el menor la variedad 5 con 39.43 ml.
- Tiempo de Inicio del Reventado (seg.): Existen diferencias altamente significativas entre variedades en cuanto a esto se refiere. Según la prueba de Tuckey las selecciones 4, 5, 6, 10 y 11 comenzaron a reventar primero con tiempos que estuvieron entre 46.86 y 42.50 seg. y las variedades 1, 6, 7 y 8 fueron las que se tomaron mayor tiempo en el inicio del reventado con los valores entre 55.0 y 50.29 seg.
- Tiempo de Exposición (seg.): Existen diferencias altamente significativas entre variedades en cuanto al tiempo necesario de exposición desde que se inicia el reventado hasta el fin del proceso. Según la prueba de Tuckey la variedad que necesitó un mayor tiempo de exposición al proceso para terminar de reventar fue la 10, con 87.63 segundos, y las que necesitaron un

CUADRO No. 9
PRUEBAS DE REVENTADO

Variedad	Volumen inicial (ml)	Volumen final (ml)	Cambio de volumen (ml)	Tiempo de inicio (seg)	Tiempo de exposición (seg)	Granos no reventados	% Granos reventados
1	74.28* + 0.756	344.29* + 9.76	270.00* + 9.93	51.00* + 4.28	58.43* + 6.82	558.57* + 48.72	76.54 * + 2.05
2	72.28 + 0.756	460.00 + 17.32	387.71 + 17.34	49.86 + 1.68	64.071 + 5.39	814.71 + 83.17	62.95 + 3.78
3	74.00 + 0.00	525.71 + 32.07	451.71 + 32.07	50.00 + 4.08	56.46 + 13.10	527.86 + 70.58	76.46 + 3.21
4	72.00 + 0.00	415.71 + 12.72	343.71 + 12.72	46.86 + 1.95	48.071 + 8.77	520.00 + 48.52	74.71 + 2.36
5	78.00 + 0.00	117.43 + 2.51	39.43 + 2.51	46.14 + 1.86	63.29 + 7.27	1471.43 + 30.99	7.42 + 1.96
6	74.00 + 0.00	304.29 + 5.35	230.29 + 5.35	55.00 + 4.08	53.06 + 11.42	860.00 + 52.03	59.31 + 2.46
7	76.00 + 0.00	390.00 + 6.45	314.00 + 6.45	50.29 + 2.14	52.44 + 5.09	767.14 + 61.36	68.89 + 2.49
8	74.00 + 0.00	460.71 + 8.38	386.71 + 8.38	53.14 + 1.86	44.66 + 2.75	477.86 + 67.39	74.63 + 3.57
9	74.00 + 0.00	652.86 + 7.56	578.86 + 7.56	44.86 + 0.38	57.13 + 3.26	279.57 + 28.25	89.29 + 4.71
10	72.25 + 1.2	792.50 + 71.82	720.50 + 72.76	42.50 + 2.89	87.62 + 8.34	339.75 + 118.24	86.84 + 4.58
11	77.14 + 1.07	508.57 + 17.73	431.43 + 17.65	44.86 + 1.57	47.03 + 7.26	232.43 + 12.42	82.92 + 0.91

* Media + Desviación Estándar.

menor tiempo fueron las variedades 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9 y 11 con tiempos que variaron de 58.43 a 44.66 segundos.

- **Número de Granos no Reventados:** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades, en cuanto al número de granos no reventados. La prueba de Tuckey definió que la variedad cuyos granos reventaron en menor cantidad fue la No.5 con un número de granos no reventados de 1471.43; el mayor número de granos reventados lo tuvieron las variedades 9, 10 y 11 con valores entre 339.75 y 232.43 granos no reventados.
- **Porcentaje de Granos Reventados:** Existen diferencias altamente significativas entre variedades a este respecto. Según la prueba de Tuckey las variedades con el menor porcentaje de reventado fueron la 9 y la 10 con 89.29 y 86.84% y la que dio el menor reventado fue la 5 con 7.42%.

7. Composición Química Proximal en Grano Reventado

Con el propósito de evaluar los efectos del proceso de reventado, los materiales expandidos se sometieron a un análisis químico para responder a lo planteado en el objetivo específico No. 4.

Los resultados de la composición química proximal en grano reventado se presentan en el Cuadro No. 10.

- **Humedad Residual (%):** Estadísticamente hay diferencias altamente significativas entre variedades. Teniendo según la prueba de Tuckey un mayor contenido de humedad y similares entre sí, las variedades con menor contenido de humedad lo tienen las variedades 1, 2, 5 y 9 con valores que están entre 6.85 y 6.65% de humedad residual.
- **Proteína (%):** Estadísticamente existen diferencias entre variedades. Y, según la prueba de Tuckey el mayor valor lo tienen las variedades 1, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 11, con valores que están entre 10.20 y 8.80%, teniendo el menor valor la variedad 7 con 8.1% de proteína.
- **Extracto Etéreo (%):** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. Teniendo según la prueba de Tuckey un mayor contenido de grasa la variedad 2 con 4.06% y el menor valor la variedad 1 con 2.31% de grasa.
- **Fibra Cruda (%):** Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. Teniendo según la prueba de Tuckey un mayor contenido de fibra cruda las variedades 1, 2, 7, 10 y 11 con valores que estuvieron entre 5.56 y 4.67%, mientras que la variedad 9 tuvo el menor contenido de fibra cruda con 3.45%.

CUADRO No. 10
COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL EN GRANO REVENTADO

Variedad	Humedad residual %	Proteína %	Extracto etéreo %	Fibra cruda %	Geniza %	Carbohidratos %*
1	6.65 ** +0.07	8.80 ** + 0.41	2.31 ** + 0.06	4.72 ** +0.09	1.24** + 0.05	76.28 **
2	6.75 +0.07	8.74 + 0.19	4.06 + 0.35	4.92 +0.25	1.32 + 0.04	74.20
3	8.30 +0.00	9.47 + 0.36	3.19 + 0.06	3.72 +0.09	1.63 + 0.25	73.67
4	9.55 +0.21	9.43 + 0.62	2.84 + 0.16	3.97 +0.26	1.45 + 0.08	72.76
5	6.80 +0.00	8.81 + 0.06	2.74 + 0.04	4.38 +0.35	1.45 + 0.04	75.82
6	9.35 +0.07	9.92 + 0.01	2.39 + 0.11	4.42 +0.25	1.60 + 0.13	72.31
7	7.60 +0.14	8.10 + 0.61	2.51 + 0.04	4.67 +0.21	1.43 + 0.05	75.68
8	8.50 +0.14	9.58 + 0.46	2.40 + 0.08	3.83 +0.08	1.63 + 0.12	74.04
9	6.85 +0.07	9.55 + 0.08	2.59 + 0.12	3.45 +0.03	1.21 + 0.08	76.34
10	10.65 +0.35	8.33 + 0.25	2.51 + 0.16	5.29 +0.11	1.33 + 0.26	71.88
11	10.30 +0.42	10.20 + 0.06	2.77 + 0.18	5.56 +0.71	1.57 + 0.04	69.59

* Carbohidratos por diferencia.

** Media + Desviación Estándar.

- Ceniza(%): Estadísticamente no hay diferencias en cuanto al contenido de cenizas se refiere entre las variedades estudiadas, éstas tienen valores que van de 1.63 y 1.21% de ceniza.
- Carbohidratos (%): El mayor contenido de carbohidratos después del proceso de reventado lo presenta la variedad 9 con 76.34% y el menor la variedad 11 con 69.59%. Los carbohidratos se obtuvieron por diferencia.

8. Contenido de Lisina, Triptofano y Amilosa en Grano Reventado:

Los resultados de contenido de lisina, triptofano y amilosa se presentan en el Cuadro No. 11.

- Lisina Disponible (%): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades. Teniendo, según la prueba de Tuckey un mayor contenido de lisina las variedades 3,4 y 11 con valores que oscilan entre 0.228 y 0.197%, la variedad que tuvo el menor valor fue la 6 con 0.090% de lisina disponible.
- Triptofano (%): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades teniendo según la prueba de Tuckey, similar y mayor contenido de triptofano las variedades 4,6,8,9,10 y 11, con valores que oscilan entre 0.035 y 0.026, mientras que el menor valor lo tuvo la variedad 5 con 0.015 de triptofano.
- Amilosa (%): Estadísticamente existen diferencias entre variedades, teniendo según la prueba de Tuckey un mayor contenido y similares entre sí, las variedades 1,2,3,4,7,8,9,10 y 11 con valores entre 10.44 y 8.76, mientras que el menor valor lo tuvo la variedad 5 con 7.59.

CUADRO No.11

CONTENIDO DE LISINA, TRIPTOFANO Y AMILOSA EN GRANO REVENTADO

Variedad	Lisina %	Triptofano %	Amilosa %	Amilosa g/100 g de carbohidratos
1	0.174* +0.004	0.021* + 0.001	9.71 * + 0.68	.11.99 * +0.83
2	0.128 +0.013	0.021 +0.00	9.46 +0.99	11.94 + 1.25
3	0.228 +0.006	0.024 +0.00	10.44 +0.29	13.49 + 0.37
4	0.197 +0.008	0.032 +0.004	8.76 +0.35	11.41 + 0.45
5	0.178 +0.003	0.016 +0.002	7.59 +0.01	9.46 + 0.01
6	0.090 +0.011	0.029 +0.003	8.54 +0.33	11.13 + 0.43
7	0.184 +0.006	0.023 +0.004	9.02 +0.00	11.22 + 0.00
8	0.123 +0.006	0.031 +0.004	8.90 +0.17	11.42 + 0.21
9	0.180 +0.004	0.031 +0.001	9.01 +0.33	11.30 + 0.42
10	0.159 +0.003	0.026 +0.001	9.24 +0.33	11.99 + 0.44
11	0.214 +0.011	0.035 +0.004	9.48 +0.00	12.62 + 0.01

* Media + Desviación Estándar.

- Amilosa en g/100 g de Carbohidratos: Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades, siendo según la prueba de Tuckey similares entre sí, y con el mayor valor las variedades 1, 2, 3, 4, 8, 10 y 11, con valores que oscilan entre 13.49 y 11.41%, mientras que el menor valor lo presentó la variedad 5 con 9.46 g de amilosa por 100 g de carbohidratos.

9. Evaluación Biológica No-Reventado vrs. Reventado

Los objetivos asociados a la evaluación nutricional del grano expandido y el uso del mismo en el desarrollo de productos, se presentan a continuación, cubriendo los objetivos Nos. 6 y 7.

Los resultados de la evaluación biológica reventado vrs. no reventado se presentan en el Cuadro No.13.

- Eficiencia Proteica (PER): Existen diferencias altamente significativas entre la dieta con el grano no reventado, la dieta con el grano reventado y lo mismo sucede en la comparación contra la caseína, teniendo según la prueba de Tuckey mayor eficiencia proteica el sorgo crudo (0.79) que el reventado (0.26), ambas por debajo de la caseína que tuvo 2.46.
- Razón Proteica Neta (NPR): Existen diferencias altamente significativas entre las dietas teniendo según la prueba de Tuckey la que tiene mayor NPR la dieta de grano crudo con 1.62, sobre la de grano reventado que tiene 1.10; ambas por debajo de la caseína que tiene 3.12.

CUADRO No. 12
DESCRIPCION DE LAS DIETAS PARA LA
EVALUACION BIOLOGICA NO REVENTADO vrs. REVENTADO

	1	2	3	4 (Dieta libre nitrógeno)
Harina con maicillo crudo (g.)	3600	----	----	----
Harina con maicillo reventado (gr.)	----	3280	----	----
Aceite vegetal (ml.)	200	200	200	50
Minerales (gr.)	160	160	160	40
Aceite de Bacalao (ml.)	40	40	40	10
Almidón (gr.)	----	320	3231	900
Caseína (gr.)	----	----	369	----
TOTAL	4000	4000	4000	1000
Solución vitamínica (ml.)	200	200	200	50

CUADRO No. 13

EVALUACION NO REVENTADO vrs. REVENTADO

Dieta	Rata	Alimento consumido (g)	Aumento en peso (g)	PER	NPR	Digestibilidad aparente	Digestibilidad verdadera
1 No Reventado	1	223	18	0.86	1.66	86.63	90.65
	2	227	18	0.84	1.65	89.13	93.37
	3	215	16	0.79	1.71	88.35	93.15
	4	198	13	0.70	1.50	86.58	91.48
	5	227	13	0.61	1.40	84.70	89.40
	6	238	22	0.98	1.77	85.92	90.01
	7	221	17	0.82	1.68	84.32	88.57
	8	224	16	0.76	1.57	87.04	91.12
2 Reventado	1	212	5	0.25	1.86	78.95	83.15
	2	151	2	0.14	0.88	80.48	86.38
	3	176	8	0.48	1.68	79.27	84.35
	4	143	6	0.44	1.91	75.66	82.71
	5	163	-6	----	0.91	79.86	86.69
	6	170	0	----	0.76	81.70	87.45
	7	171	2	0.12	1.02	79.71	85.03
	8	159	2	0.13	0.82	77.80	83.70
3 Caseína	1	412	105	2.37	3.23	93.37	94.94
	2	442	133	2.79	3.31	92.78	94.11
	3	392	107	2.54	3.20	94.09	95.64
	4	376	97	2.40	3.32	93.39	94.87
	5	422	103	2.27	2.77	93.70	95.28
	6	383	92	2.23	2.66	91.70	93.35
	7	393	105	2.49	3.05	92.05	93.83
	8	432	120	2.58	3.43	92.57	94.13

50.

Dieta Libre de Nitrógeno= Peso perdido en 14 días (8.5 g).

- Digestibilidad Aparente (DA): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las dietas teniendo mayor DA (según la prueba de Tuckey) la dieta de caseína con 92.96, luego la dieta con sorgo no reventado con 86.58, y por último la dieta preparada con sorgo reventado con 79.18.
- Digestibilidad Verdadera (DV): Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre las dietas teniendo el mayor valor según la prueba de Tuckey, la dieta preparada con sorgo no reventado (90.97), seguida por la de sorgo reventado (84.93), ambas por debajo de la caseína que tuvo 94.52 de digestibilidad verdadera.

10. Evaluación Biológica Maicillo + Soya

Los resultados de la evaluación biológica maicillo + soya se presentan en los Cuadros Nos. 15 y 16.

- Razón Proteínica Neta (NPR): Estadísticamente las 5 dietas presentaron diferencias altamente significativas entre sí, siendo según la prueba de Tuckey la dieta con el valor mayor la de caseína con un NPR de 3.54, y las demás dietas fueron estadísticamente similares entre sí, con valores que oscilaron entre 1.95 y 1.88.
- Consumo de Alimento: El consumo de alimento varió significativamente de 83 g en la dieta sin suplemento con soya a 111.63 g en la dieta suplementada con 15% de soya, incrementándose a medida que iba aumentando el porcentaje de soya en la dieta (ver Gráfica No. 3).

- Aumento en Peso: El peso de los animales fue aumentando de manera significativa a medida que se fue incrementando la cantidad de soya en las dietas. Es así que el aumento en peso en la dieta sin suplemento de soya fue únicamente de 1.5 g, mientras que en la dieta con 15% de soya el aumento en peso fue de 17.5 g.

CUADRO No.14

DESCRIPCION DE LAS DIETAS PARA LA EVALUACION

BIOLOGICA MAICILLO + SOYA

	1	2	3	4	5	6 (Dieta libre de nitrógeno)
Harina con maicillo reventado (gr.)	1800	1700	1600	1500	----	----
Soya tostada (g.)	----	100	200	300	----	----
Aceite vegetal (ml.)	100	100	100	100	100	100
Minerales (gr.)	80	80	80	80	80	80
Aceite de Bacalao (ml.)	20	20	20	20	20	20
Almidón (gr.)	----	----	----	----	1580	1800
Caseína (gr.)	----	----	----	----	220	----
TOTAL	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Solución vitamínica (ml.)	100	100	100	100	100	100

CUADRO No. 15
EVALUACION MAICILLO + SOYA

Dieta	Rata	Alimento consumido (g)	Aumento en Peso (g)	NPR
1 0% soya tostada	1	98	2	1.67
	2	83	5	2.45
	3	73	-1	1.69
	4	69	-1	1.79
	5	100	6	2.17
	6	98	3	1.81
	7	73	-2	1.51
	8	70	0	
2 5% soya tostada	1	105	12	2.32
	2	85	7	2.22
	3	95	4	1.64
	4	83	9	2.53
	5	102	4	1.53
	6	95	9	2.21
	7	84	1	1.46
	8	92	4	1.69
3 10% soya tostada	1	86	5	1.60
	2	91	7	1.71
	3	102	11	1.88
	4	101	14	2.17
	5	122	15	1.87
	6	109	15	2.09
	7	124	16	1.91
	8	111	12	1.81
4 15% soya tostada	1	122	18	1.80
	2	94	10	1.67
	3	103	19	2.21
	4	99	12	1.75
	5	135	24	1.97
	6	113	17	1.87
	7	113	21	2.15
	8	114	19	1.99
5 Caseína	1	225	77	3.76
	2	189	70	4.12
	3	191	45	2.81
	4	212	78	4.04
	5	216	67	3.47
	6	170	45	3.16
	7	165	59	4.07
	8	236	59	2.85

Dieta libre de nitrógeno= Peso perdido en 14 días (10.25 g).

CUADRO No. 16

RESULTADOS PROMEDIO DE LA EVALUACION MAICILLO + SOYA

	0% soya	5% soya	10% soya	15% soya
Alimento consumido (g)	83.00	92.63	105.75	111.63
Aumento en peso (g)	1.50	6.25	11.88	17.50
NPR	1.88	1.95	1.88	1.93

VIII. DISCUSION DE RESULTADOS

1. Características Físicas del Grano

Con el propósito de caracterizar más objetivamente las diferencias físicas entre cultivares de maicillo, el Programa Internacional INTSORMIL (12), preparó un documento de metodología que facilita este proceso. Los resultados de este análisis indican que los maicillos criollos de Guatemala no se diferencian significativamente de materiales que se han analizado de otras regiones del mundo. Esto es un claro indicativo de que no existen cambios significativos en lo referente al fenotipo entre variedades, no importando el lugar en el que se cultiven éstas, ya sea en América Central o Africa, de donde es originario.

2. Composición Química del Grano

El resultado de la composición química proximal de este estudio se comparó con lo reportado por Bressani y Ríos en 1962 (3), y todas las fracciones de ambos estudios fueron muy similares exceptuando la humedad, la cual fue mayor para el estudio de Bressani y Ríos repercutiendo esto en la disminución de los carbohidratos (ver Cuadros Nos. 2 y 17). Esto proporciona una base para establecer que la composición química proximal del sorgo es bastante uniforme para muchas variedades, ya que Bressani y Ríos estudiaron 25 variedades y en este estudio se trabajó con 11 variedades.

3. Evaluación del Grado de Expansión de los Cultivares de Maicillo

Durante el proceso de reventado, en la evaluación de los diferentes cultivares estudiados, se encontraron diferencias entre ellas (ver Cuadro No.9). Aquí se tiene que una limitante con respecto a un buen reventado

la tienen las variedades con testa, las cuales son utilizadas básicamente para el consumo animal. Otra característica que se consideró muy importante en este estudio es la humedad presente en el grano, ya que al generarse presión de vapor debido al calor el grano se expandirá, es por esto que este aspecto debe de ser estudiado a profundidad. Determinando este último factor para obtener un mejor resultado en la expansión del grano, habrá economía durante el proceso, ya que se estaría perdiendo menos cantidad de grano que reviente pobremente o no reviente debido a condiciones inadecuadas de cantidad de humedad en el mismo grano. Este punto en particular se discute en el siguiente inciso.

4. Efecto de la Humedad sobre el Reventado

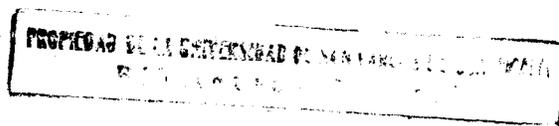
En el presente estudio se analizó el efecto que un incremento en la humedad del grano pudiera tener sobre el grado de expansión del mismo, este efecto se puede observar en el Cuadro No.8, en el que con el incremento en el tiempo de remojo los granos se embeban de agua, incrementándose así el volumen del grano, así como el tiempo de inicio del reventado y el tiempo necesario para que toda la carga de grano reviente; estos dos últimos factores tienen importancia económica ya que se necesitará un mayor tiempo para el proceso, incrementándose los costos del mismo; aún así, esto parece no tener mayor importancia si se observa que el cambio de volumen es altamente significativo, a medida que se incrementa el tiempo de remojo del grano; por otro lado, aumentando la humedad del grano por medio de remojo también se incrementa enormemente la eficiencia del proceso, ya que como se observa claramente, tanto en el Cuadro No.8 como en las Gráficas 1 y 2,

el porcentaje de granos reventados se incrementa del 0% hasta valores de 67.14%, y a incrementos de volumen que van de 36 hasta 399.33 mililitros; con 45 minutos de remojo. Este efecto de la influencia de la humedad sobre el grano de reventado del grano de maicillo ya había sido evaluado por Huelsen y Bemis en 1954, en donde se obtuvieron resultados similares a los del presente estudio. Pareciera ser también que el remojo del grano necesita ser más prolongado con el objeto de que la humedad penetre más dentro del grano, ya que con un remojo de poco tiempo (15 minutos) la humedad no penetra al grano y esto hace que el grano no reviente o reviente muy pobremente; esto podría ser debido a que la humedad por estar muy cerca de la superficie haga que los poros del grano se abran, no pudiéndose esta por los poros expandidos, evitando que el grano se expanda correctamente, o que se anule la expansión. Después de esta prueba se consideró que la humedad es uno de los factores que puedan ser controlados, y además fue el factor más favorable en cuanto a reventar se refiere.

5. Cambios en la Composición Química debido al Reventado

En los análisis químicos realizados en las muestras antes y después del proceso de reventado, se encontró que en algunos casos hubo diferencias y en otras no hubo variación, como se puede observar en los Cuadros Nos. 17 y 18. Se hizo una comparación estadística utilizando el análisis de varianza para observar estos cambios y la significancia o no de los mismos.

Así, se encontró que el contenido de humedad se redujo significativamente de 11.69% en grano crudo a 8.3% en grano tratado, esto indica que durante el proceso se pierde humedad de constitución del grano con lo cual



se reducirá el peso, y al mismo tiempo el producto tratado podría ser menos susceptible al ataque de hongos con lo cual se prolongaría el tiempo de almacenamiento del grano ya reventado.

Por otro lado, uno de los parámetros de este estudio que no varió de grano crudo a procesado fue la cantidad de proteína del grano, concordando este resultado con el experimento de Jaik Dipp (10), en el que se hace referencia a la no variación del contenido de proteína antes y después del proceso. Este es un parámetro que a primera vista está muy bien, ya que pareciera que al no variar el contenido de proteína se tiene un producto con iguales características antes y después del proceso, pero, como se verá más adelante, la calidad sí varió, siendo esta mucho más importante que la cantidad de proteína que pudiera encontrarse en un producto.

En cuanto al contenido de grasa de las variedades, este se redujo de una manera significativa en grano crudo con 3.44% a 2.76% en el grano ya tratado, este resultado es similar al reportado por Riggs en 1970 (17) y aquí se tuvo otro parámetro más para la pérdida de peso en el grano ya procesado, haría falta hacer un estudio más profundo para conocer las repercusiones que la pérdida del contenido de grasa podría ocasionar al nuevo producto.

Contrariamente a lo que había reportado Riggs (17) el contenido de fibra cruda para las variedades en estudio aumentó en una forma altamente significativa de 2.47% en grano crudo a 4.45% en grano procesado. Este aumento de fibra cruda dará al producto mejores características físicas, las cuales vendrán a contribuir con una mejor digestión de los alimentos tomados por el consumidor del producto. Y para finalizar con los parámetros del

análisis proximal, se encontró que el contenido de ceniza disminuyó de 1.51% a 1.45% en grano crudo y reventado respectivamente.

Un resultado muy importante obtenido en este trabajo fue un incremento significativo en el contenido de carbohidratos de grano crudo a procesado, con lo cual se dará una nueva fuente de energía al consumidor, dándole al maicillo un tratamiento rápido y relativamente a bajo costo. Pero también este aumento se debe a la pérdida de humedad y de otros compuestos que ocurrieron en el proceso.

Como se trató anteriormente el contenido de proteína no varió con el proceso térmico que se dió al grano, pero es bien sabido que se de por sí el maicillo es pobre en el contenido de lisina y un tratamiento con calor reduciría aún más la cantidad de este importantísimo aminoácido, y así sucedió, se tuvo que la lisina disminuyó de una manera altamente significativa con lo cual se tiene que se perdió gran parte de la calidad proteínica del grano de sorgo y lo mismo sucedió con los contenidos de triptofano y amilosa, estos últimos resultados concuerdan con el experimento de Jaik Dipp (10) en 1986, en el cual se indica que tratamientos extremos con calor ocasionan daños de pérdidas de componentes proteínicos importantes en la semilla.

Es así que al respecto de los cambios químicos que sufrió el grano de crudo a procesado, se obtuvo que las once variedades estudiadas siguieron el mismo patrón de cambio como se indicó anteriormente, este es un claro índice de que el proceso térmico a que fue sometido el grano actuó igual para todas las variedades.

CUADRO No. 17

COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL.
COMPARACION ENTRE GRANO CRUDO Y REVENTADO

	Humedad %	Proteína %	Extracto etéreo %	Fibra cruda %	Ceniza %	Carbohidratos %*
Crudo	11.69 ** <u>+0.03</u>	9.32 ** <u>+0.63</u>	3.44 ** <u>+0.82</u>	2.47 ** <u>+0.38</u>	1.51 ** <u>+0.13</u>	71.56 **
Reventado	8.30 <u>+1.46</u>	9.18 <u>+0.70</u>	2.76 <u>+0.50</u>	4.45 <u>+0.68</u>	1.45 <u>+0.18</u>	73.87

* Carbohidratos por diferencia.

** Media + Desviación Estándar.

CUADRO No. 18

CONTENIDO DE LISINA, TRIPTOFANO Y AMILOSA.
COMPARACION ENTRE GRANO CRUDO Y REVENTADO

	Lisina Disponible %	Triptofano %	Amilosa %	Amilosa por 100 g de carbohidratos
Crudo	0.227* <u>+0.03</u>	0.047 * <u>+0.006</u>	13.54* <u>+0.96</u>	18.30 * <u>+1.30</u>
Reventado	0.169 <u>+0.04</u>	0.026 <u>+0.006</u>	9.11 <u>+0.77</u>	11.64 <u>+1.06</u>

* Media + Desviación Estándar.

6. Correlación entre Características Físicas y Químicas en Grano Crudo

Existe una correlación positiva entre la cantidad de fibra cruda y la densidad del grano (g/ml).

Existe una correlación positiva entre la cantidad de proteína en grano crudo y la porción vítrea (dura) del grano. A mayor peso de grano habrá mayor humedad residual.

Existen correlaciones negativas entre humedad residual y número de granos en 40 granos, así como entre H.R. y densidad del grano.

Con respecto al extracto etéreo, existe correlación positiva contra peso de 100 granos y negativa contra número de granos en 40 granos.

También existe una correlación positiva entre lisina disponible y la textura vítrea del endospermo, y lo mismo sucede comparando la amilosa en 100 gramos de carbohidratos con la textura vítrea del endospermo. El triptofano tiene correlación positiva contra el peso de 100 granos y negativa contra el número de granos en 40 granos (ver Cuadro No. 19).

7. Correlación entre las Variables de Prueba de Reventado

Existe una correlación negativa entre el volumen inicial y el volumen final, o sea que a mayor cantidad de grano al inicio del proceso habrá menor cantidad de grano reventado, y lo mismo sucede comparando el volumen inicial con el cambio en volumen. También a mayor volumen inicial habrá mayor cantidad de granos no reventados y por consiguiente, bajará el porcentaje de granos reventados.

CUADRO No. 19

MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS EN GRANO CRUDO

	Prot.	H.R.	E.E.	Cen.	Lis. Disp.	Am. %	g A/100g Carbohi- dratos	Tript.	Tex.	Peso 100 grano	No. granos	Dens. g/ml.
Fibra cruda	0.2481/ 0.266	-0.013 0.953	0.179 0.425	0.342 0.119	0.224 0.317	-0.164 0.464	-0.115 0.611	0.341 0.121	0.190 0.398	0.180 0.423	-0.160 0.477	0.550 0.008
Proteína	----- -----	0.282 0.203	0.161 0.475	-0.032 0.888	0.256 0.250	-0.103 0.649	0.036 0.872	0.417 0.054	0.583 0.004	0.187 0.404	-0.178 0.429	0.398 0.066
Humedad Residual		----- -----	0.287 0.196	-0.230 0.304	-0.363 0.097	-0.328 0.136	-0.199 0.386	0.033 0.884	-0.331 0.133	0.524 0.012	-0.465 0.030	-0.514 0.014
Extracto			----- -----	-0.066 0.770	0.336 0.126	0.045 0.842	0.231 0.300	0.311 0.158	0.207 0.356	0.643 0.001	-0.563 0.006	-0.241 0.279
Ceniza				----- -----	0.576 0.005	0.418 0.053	0.409 0.059	0.142 0.527	0.149 0.509	0.192 0.391	-0.281 0.205	0.209 0.349
Lisina Disponibile					----- -----	0.219 0.329	0.297 0.179	0.247 0.267	0.462 0.030	0.314 0.155	-0.330 0.134	0.339 0.122
Amilosa, %						----- -----	0.973 0.0001	0.203 0.365	0.415 0.055	-0.044 0.847	-0.052 0.819	-0.115 0.609
Amilosa, g/ 10 g carbo- hidratos.							----- -----	0.288 0.194	0.476 0.025	0.125 0.580	-0.205 0.360	-0.152 0.500
Triptofano								----- -----	0.306 0.165	0.493 0.020	-0.513 0.015	0.279 0.209
Textura Endospermo									----- -----	0.226 0.312	0.233 0.297	0.567 0.006
Peso 100 granos										----- -----	-0.985 0.0001	-0.337 0.125
No. granos en 40 granos											----- -----	0.333 0.130

1/ Coeficiente de correlación de Pearson y nivel de significancia.

CUADRO No. 20

MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DE LA PRUEBA DE REVENTADO

	Volumen Final	Cambio en Volumen	Tiempo de Inicio	Tiempo de Exposición	Granos no Reventados	% de Granos Reventados
Volumen Inicial	-0.482 ^{1/} 0.0001	-0.491 0.0001	-0.138 0.242	-0.160 0.174	0.381 0.0008	-0.499 0.0001
Volumen Final	---	0.999 0.0001	-0.337 0.003	0.190 0.106	-0.826 0.0001	0.823 0.0001
Cambio de Volumen		---	-0.333 0.004	0.191 0.104	-0.826 0.0001	0.824 0.0001
Tiempo de Inicio			---	-0.256 0.028	0.189 0.108	-0.067 0.570
Tiempo de Exposición				---	0.155 0.187	-0.119 0.311
Granos no Reventados					---	-0.962 0.0001

^{1/} Coeficiente de correlación de Pearson y nivel de significancia.

El aumento del tiempo de inicio del reventado del grano en la máquina disminuye en forma significativa el cambio en volumen y por lo tanto, el volumen final de la carga después del proceso.

El tiempo de exposición de la carga hasta que termina de reventar está en función del tiempo del inicio del reventado, esto quiere decir que a un tiempo mayor del inicio del reventado el tiempo de exposición se reducirá.

Con el incremento en el número de granos no reventados, disminuirá el cambio en volumen y por lo tanto, el volumen final. Un volumen final mayor dará un mayor porcentaje de granos reventados (ver Cuadro No. 20).

8. Correlación entre las Características Físicas y Químicas en Grano Crudo y las Variables de la Prueba de Reventado

En cuanto a proteína existe una correlación en la que a mayor cantidad de proteína habrá un incremento en el cambio de volumen entre el grano crudo y el reventado.

Un mayor contenido de grasa hará que el grano comience a reventar en menor tiempo.

El volumen inicial del grano en crudo, aumentará con el incremento de peso de 100 granos, y disminuirá con el incremento del número de granos en 40 gramos y con el aumento de la densidad en gramos por ml. (ver Cuadro No. 21).

CUADRO No. 21

MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LA PRUEBA DE REVENTADO Y CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS EN GRANO CRUDO

	Volumen Inicial	Volumen Final	Cambio de Volumen	Tiempo de Inicio	Tiempo de Exposición	Granos no Reventados	% Granos Reventados
Fibra Cruda	-0.144 ^{1/} 0.673	0.300 0.370	0.300 0.370	-0.056 0.869	-0.133 0.696	-0.362 0.274	0.367 0.268
Proteína	-0.281 0.403	0.612 0.046	0.611 0.046	-0.286 0.394	-0.031 0.927	-0.596 0.053	0.485 0.131
Humedad Residual	0.402 0.220	0.281 0.403	0.275 0.414	-0.476 0.139	-0.246 0.466	-0.429 0.188	0.224 0.508
Extracto Etéreo	0.421 0.197	-0.025 0.942	-0.030 0.931	-0.607 0.048	0.228 0.500	-0.020 0.954	-0.171 0.615
Ceniza	-0.104 0.762	-0.303 0.364	-0.301 0.369	0.207 0.541	-0.452 0.162	0.177 0.602	-0.155 0.650
Lisina Disponible	0.072 0.832	-0.200 0.555	-0.200 0.555	-0.076 0.824	-0.051 0.881	0.249 0.460	-0.271 0.420
% Amilosa	-0.294 0.380	-0.300 0.371	-0.295 0.379	0.318 0.341	-0.049 0.887	0.182 0.592	-0.183 0.590
Amilosa g/100 g Carbohidratos	-0.214 0.529	-0.242 0.474	-0.238 0.481	0.156 0.648	-0.036 0.916	0.117 0.732	-0.174 0.608
Triptofano	0.139 0.684	-0.145 0.671	-0.146 0.669	0.346 0.301	-0.467 0.148	-0.212 0.532	0.124 0.716
Textura Endospermo	-0.600 0.052	0.496 0.121	0.500 0.118	-0.156 0.647	0.338 0.309	-0.430 0.188	0.441 0.175
Peso de 100 granos	0.668 0.025	-0.354 0.285	-0.360 0.277	-0.185 0.587	-0.412 0.208	0.140 0.681	-0.358 0.279
Granos en 40 g	-0.620 0.042	0.434 0.182	0.438 0.177	0.085 0.804	0.478 0.137	-0.211 0.534	0.421 0.197
Densidad g/ml	-0.628 0.039	0.384 0.244	0.388 0.238	0.207 0.541	0.041 0.905	-0.343 0.301	0.476 0.138

^{1/} Coeficiente de correlación de Pearson y nivel de significancia.

Pero por otro lado en cada dieta, con el incremento en el porcentaje de soya, esta iba dando un aumento en la cantidad de proteína de la dieta, es así que para la dieta sin soya tenía un valor de 7.48%, la dieta con 5% de soya 9.15%, la de 10% de soya 11.09% de proteína y por último, la dieta suplementada con 15% de soya, tenía una cantidad de proteína de 12.86%. Es así que aunque la razón proteínica neta no variara en nada entre las dietas como se puede observar en la Gráfica No.3, el aumento en la cantidad de proteína debido a mayores porcentajes de soya se reflejó en un aumento considerable en el peso de las ratas, así como en el alimento consumido, este último en menor proporción, pero siempre significativo.

Se tiene que si únicamente se hubiera estudiado la razón proteínica neta en dietas isoproteicas, aún con suplementación de soya no se habrían obtenido resultados tan satisfactorios con la suplementación, de aquí que un agregado de soya de 15% se considera como muy eficiente para suplementar el maicillo reventado, y obtener un producto con buenas características nutricionales, ya que la soya vendrá a suplir las deficiencias de aminoácidos esenciales que de por sí tiene el maicillo, especialmente en lisina y triptofano.

IX. CONCLUSIONES

1. La composición química de las muestras de este estudio son similares a las que han sido informadas en otros estudios de cultivares de maicillo centroamericanos.
2. Los 11 materiales de este estudio contenían diferente grosor de pericarpio. La mayor parte con testa con un endospermo de color amarillo en su mayoría, con otros estándares físicos similares a los maicillos blancos, con una textura del endosperma que variaba desde 20 a 70% de grano vítreo.
3. Los contenidos de lisina, triptofano y amilosa fueron similares a los informados en otros estudios para maicillos de América Central.
4. Para fines de reventado se estableció que una carga de 62 g con un volumen de 72 ml (con una exposición de 88 seg. a una temperatura de 275 C), fue la que rindió el mayor cambio de volumen y el mayor número de granos reventados.
5. El remojo del grano por 45 minutos favoreció el proceso de reventado, usando las condiciones óptimas de reventado se encontró variabilidad en el cambio de volumen reventado que fluctuó de 230 a 720 ml, de un volumen inicial entre 72 a 78 ml con porcentajes de grano reventado que variaron desde 59.3% hasta 89.3%.
6. El proceso de reventado básicamente no indujo cambios en la composición proximal pero sí redujo el contenido de lisina, triptofano y amilosa.

7. El proceso de reventado se tradujo en una pérdida en la calidad de la proteína establecida por el Índice de Eficiencia Proteica, la Razón Proteica Neta y las digestibilidades aparentes y verdaderas.
8. La adición de 15% de soya tostada a 85% de maicillo reventado da origen a un alimento de sabor agradable y de mejor calidad nutritiva.
9. Se encontró una correlación positiva y significativa entre amilosa y carbohidratos y entre número de granos y peso de 100 granos.
10. Correlaciones significativas al 5% se detectaron entre cenizas y lisina disponible, proteína y textura y amilosa y textura.
11. El peso de 100 granos está correlacionado al 5% con la humedad residual, el extracto etéreo y el triptofano.
12. El número de granos en 40 gramos se encontró estar asociado a la humedad residual, extracto etéreo y triptofano, finalmente la densidad de los granos estaban asociados a la fibra cruda, a la humedad residual y a la textura del endospermo.
13. No se encontraron correlaciones entre las características físicas y químicas con el porcentaje de granos reventados, sin embargo, los dos materiales con testa fueron los que dieron los menores porcentajes de grano reventado al proceso estandarizado.
14. Parece ser que el porcentaje de humedad en el grano es un factor importante para inducir mayor eficiencia en granos reventados.

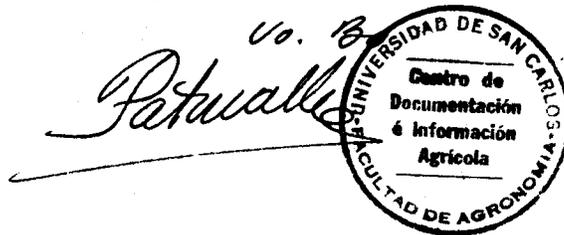
X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar estudios que asocien la calidad del grano de sorgo y el desarrollo de productos con el propósito de incrementar su producción y por consiguiente, favorecer a los productores de este cereal.
2. Se considera importante determinar el nivel de agua en el grano para obtener un mayor porcentaje de grano reventado.
3. A pesar de que el proceso reduce la calidad nutricional del producto se recomienda continuar con estudios en el desarrollo de productos en los cuales las pérdidas nutricionales sean corregidas a través de la combinación con productos como soya, maní, pepitoria y otros productos de esta naturaleza.

XI. BIBLIOGRAFIA

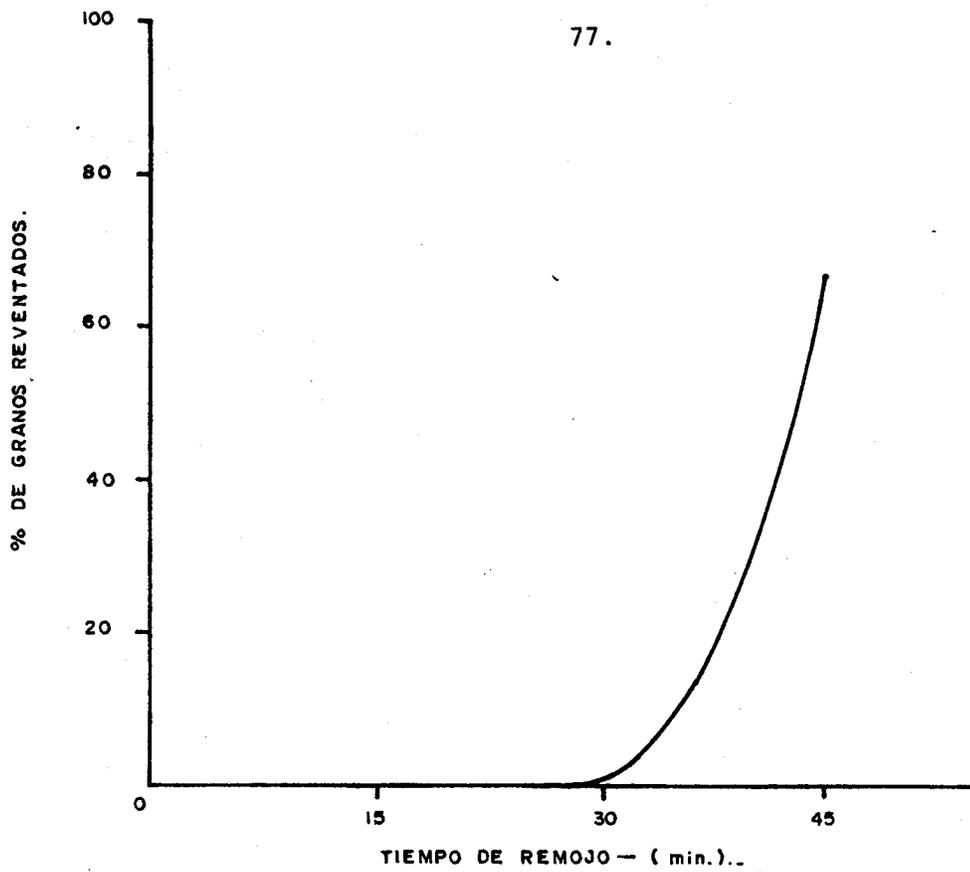
1. AOAC (EE.UU.). 1970. Official methods of analysis of the Association of Agricultural Chemists. 11 ed. Washington, D.C. 126 p.
2. ARBOLEDA, F. 1985. El programa de investigaciones en sorgo: en Colombia. In El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Ed. Compton, L.P. y De-Walt, B.R. México, International Sorghum Millet/Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. p. 136-149.
3. BRESSANI, R. 1985. El sorgo en alimentación humana. In Reunión Anual de la Comisión Latinoamericana de Investigaciones de Sorgo (4., 1985, Guatemala). Memorias. Guatemala, Comisión Anual Latinoamericana de Investigaciones de Sorgo. p. 1-37.
4. CASTILLO DE AREVALO, Y. 1986. Producción agrícola en Centroamérica y Panamá, con énfasis en granos y otros alimentos básicos. In Simposio sobre Necesidades Actuales y Futuras de Alimentos Básicos en Centroamérica y Panamá (1., 1986, Guatemala). Memorias. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. p. 17-43.
5. DE-WALT, K.M. 1985. El lugar de la investigación en sistemas de cultivos en el tratamiento de asuntos del sorgo como alimento humano. In El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Ed. Compton, L.P. y De-Walt, B.R. México, International Sorghum Millet/Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. p. 168-177.
6. DE-WALT, B.R.; DE-WALT, K.M. 1985. El contexto socioeconómico para la investigación sobre el sorgo en el sur de Honduras. In El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Ed. Compton, L.P. y De-Walt, B.R. México, International Sorghum Millet/Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. p. 57-67.
7. HAWKINS, R. 1985. El sorgo en Latinoamérica: una revisión general. In El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Ed. Compton, L.P. y De-Walt, B.R. México, International Sorghum Millet/Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. p. 5-20.

8. HUELSEN, W.A.; BEMIS, W.P. 1954. Temperature of popper in relation to volumetric expansion of popcorn. Food Tech (EE.UU.) 8:394-397.
9. HURRELL, P. et al 1979. Reactive lysine on foodstuffs as measured by a rapid method. Food Science (EE.UU.) 44:1221.
10. JAIK DIPP, A.; TENA FLORES, J. 1986. Optimización del proceso de tostado de la semilla de alegría (Amaranthus hypochondriacus) y diseño de un prototipo de tostadora. In Seminario Nacional de Amaranto (I., 1986, Chapingo, México). Memorias: Chapingo, s.n. p. 347-405.
11. JULIANO, B.O. 1971. A simplified assay for milled rise amilose. Cereal Science Today (EE.UU.) 16:334-360.
12. MACLAUGHLIN, J.; et al 1987. Sorghum quality laboratory manual for use in west Africa. Nebraska, University of Nebraska. p. 15-25.
13. MATZ, S.A. 1959. The chemistry and technology of cereals as food and feed. Connecticut, The AVI Publishing. p. 48-49.
14. _____. 1976. Snack food technology. Connecticut, The AVI Publishing. p. 2-3, 117-119, 123-124.
15. FAO (Roma). 1988. Producción 1987. Anuario de Producción FAO (Roma) 41:1-351.
16. REEVE, R.M.; WALKER, H.G. 1969. The microscopic structure of popped cereals. Cereal Chemistry (EE.UU.) 46(3):227-241.
17. RIGGS, D.K. et al 1970. Popped sorghum grain for finishing beef cattle. J. Animal Sci. (EE.UU.) 30:634-638.
18. TAPIA, D.A. 1985. Sorgo granífero blanco: otra alternativa alimentaria en Nicaragua. In El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Ed. Compton, L.P. y De-Walt, B.R. México, International Sorghum Millet/Centro Internacional para el Mejoramiento del Maíz y el Trigo. p. 178-182.
19. UNIVERSIDAD DE LAS NACIONES UNIDAS (Japón). 1980. Evaluación nutricional de alimentos proteínicos. Tokio, Japón. p. 175.

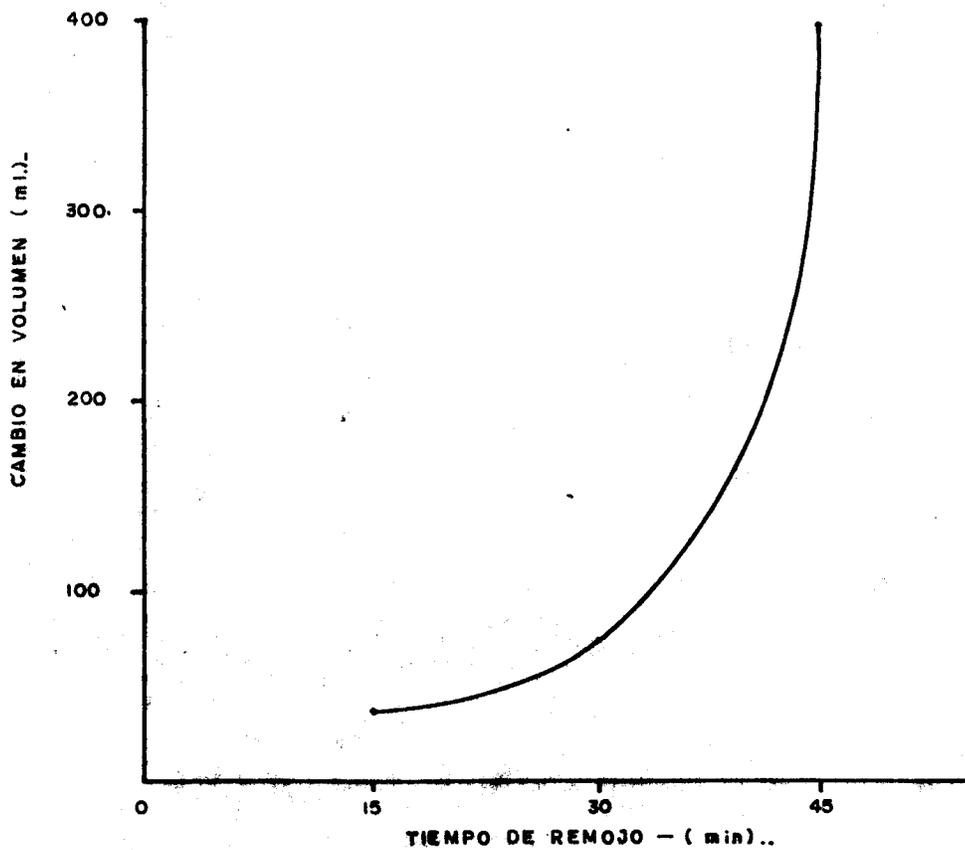


XII. GRAFICAS

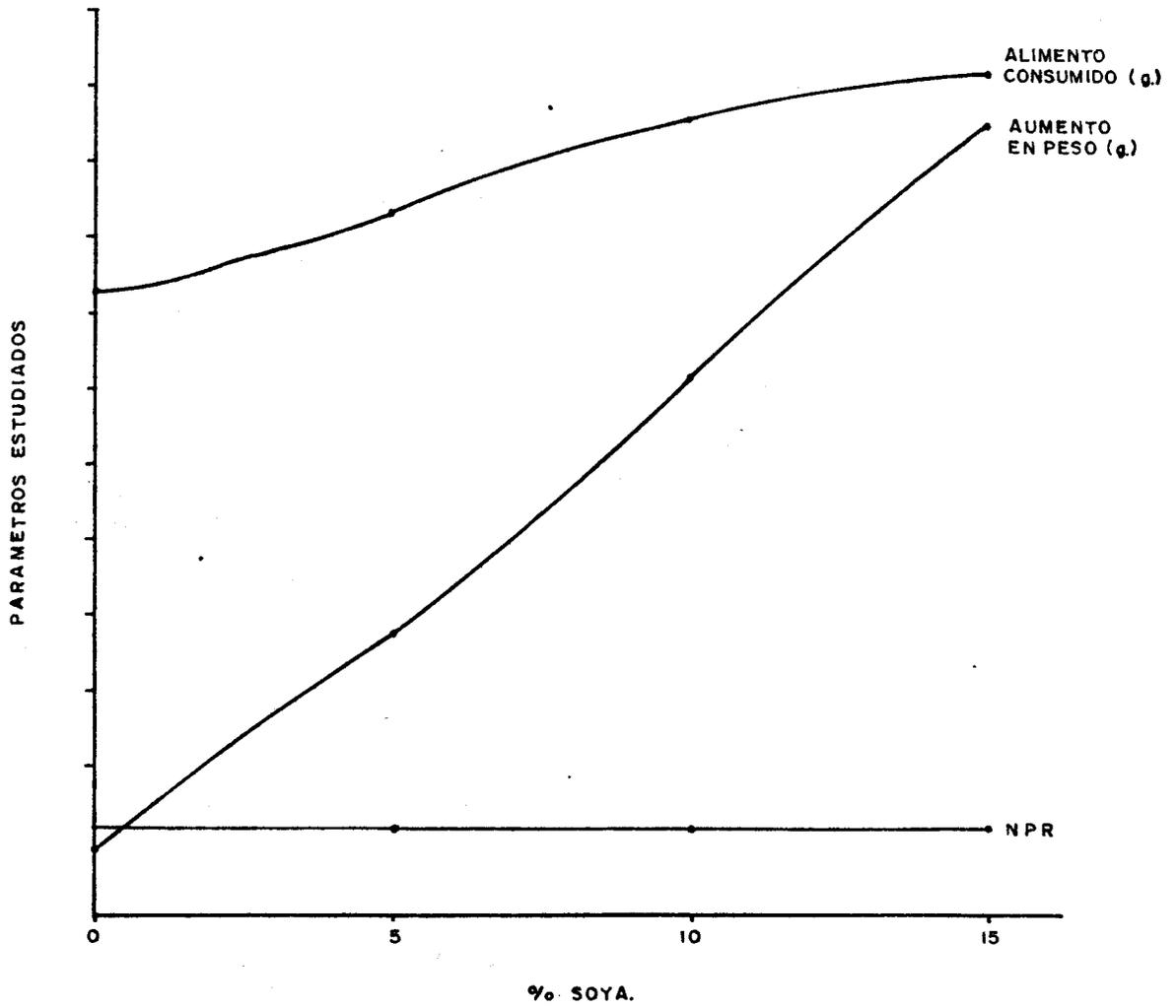
PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
1957



GRAFICA No. 1.- EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL REVENTADO..



GRAFICA No. 2.- EFECTO DE LA HUMEDAD SOBRE EL REVENTADO..



GRAFICA No.3.. EVALUACION BIOLOGICA MAICILLO + SOYA..

A N E X O

CUADROS RESUMEN DE AGRUPACION DE TUCKEY PARA LOS PARAMETROS ESTUDIADOS

1. GRANO SIN PROCESAR

Fibra Cruda

(Diferencia mínima significativa= 0.5603)

Muestra

11	A
2	A B
6	A B C
9	A B C
4	B C D
10	C D
7	C D
8	D
3	D
1	D
5	D

Proteína

(DMS= 0.5374)

Muestra

8	A
9	A B
11	A B
2	A B
3	A B
10	B C
4	C D
1	D E
5	D E
6	E
7	E

Humedad Residual

(DMS= 0.3872)

Muestra

11	A
8	A B
9	A B
10	B C
5	B C D
4	B C D
7	B C D
3	B C D
6	C D
1	D E
2	E

Extracto Etéreo

(DMS= 1.1119)

Muestra

11	A
5	A B
10	B C
1	B C
2	B C D
9	B C D
4	C D
3	C D
6	C D
8	D
7	D

Ceniza

(DMS= 0.1643)

Muestra

4	A
3	A B
6	A B
2	A B
11	A B C
9	B C D
5	B C D
7	C D
1	D E
8	D E
10	E

Lisina Disponible

(DMS)= 0.3569)

Muestra

2	A
3	A B
11	A B C
5	A B C
4	B C D
1	C D
9	C D
6	C D
7	C D
10	D
8	D

Amilosa (%)
(DMS= 1.3066)

Muestra

6	A
3	A
4	A B
1	A B C
5	A B C D
2	B C D
8	B C D
10	C D
9	D E
11	D E
7	E

Triptofano
(DMS= 0.0107)

Muestra

11	A
8	A B
1	A B
2	A B
6	A B C
3	A B C
9	B C
5	B C
4	B C
10	C
7	C

Peso de 100 granos
(DMS= 0.0849)

Muestra

11	A
5	B
8	C
4	D
6	E
2	E F
3	F G
9	G
1	H
7	H
10	I

Amilosa/100 g Carbohidratos
(DMS= 1.773)

Muestra

3	A
4	A B
6	A B
1	A B C
5	A B C
2	B C
11	B C
8	B C
10	B C
9	C
7	D

Textura de Endospermo
(DMS= 0)

Muestra

3	A
2	A
1	B
10	B
9	C
4	C
11	C
8	D
6	D
5	E
7	F

Número de granos en 40 g
(DMS= 31.381)

Muestra

10	A
7	B
1	C
9	D
3	D
2	E
6	F
4	F
8	G
5	H
11	I

2. GRANO PROCESADO

Fibra Cruda
(DMS= 1.1416)

Muestra

11	A
10	A B
2	A B C
1	A B C D
7	A B C D
6	B C D E
5	B C D E
4	C D E
8	C D E
3	D E
9	E

Proteína
(DMS= 1.404)

Muestra

11	A
6	A B
8	A B C
9	A B C
3	A B C D
4	A B C D
5	A B C D
1	A B C D
2	B C D
10	C D
7	D

Humedad Residual
(DMS= 0.7652)

Muestra

10	A
11	A B
4	B C
6	C
8	D
3	D E
7	E F
9	F G
5	G
2	G
1	G

Extracto Etéreo
(DMS= 0.5934)

Muestra

2	A
3	B
4	B C
11	B C
5	B C
9	C
7	C
10	C
8	C
6	C
1	C

Ceniza
(DMS= 0.5135)

Muestra

3	A
8	A
6	A
11	A
5	A
4	A
7	A
10	A
2	A
1	A
9	A

Lisina Disponible
(DMS= 0.2126)

Muestra

3	A
11	A B
4	A B C
7	B C D
9	C D
5	C D
1	C D
10	D E
2	E F
8	F
6	G

Amilosa (%)
(DMS= 1.6922)

Muestra

3	A
1	A B
11	A B
2	A B
10	A B C
7	A B C
9	A B C
8	A B C
4	A B C
6	B C
5	C

Amilosa/100 g Carbohidratos
(DMS= 2.1375)

Muestra

3	A
11	A B
10	A B
1	A B
2	A B
8	A B C
4	A B C
9	B C
7	B C
6	B C
5	C

3. PRUEBA DE REVENTADO

Volumen InicialMuestra

5	A
11	A
7	B
1	C
6	C
8	C
9	C
3	C
2	D
10	D
4	D

Volumen FinalMuestra

10	A
9	B
3	C
11	C
8	D
2	D
4	E
7	E
1	F
6	G
5	H

Cambio en VolumenMuestra

10	A
9	B
3	C
11	C
2	D
8	D
4	E
7	E
1	F
6	G
5	H

Tiempo de InicioMuestra

6	A
8	A B
1	A B C
7	A B C D
3	B C D
2	C D E
4	D E
5	E
9	E
11	E
10	E

Tiempo de ExposiciónMuestra

10	A
2	B
5	B
1	B C
9	B C
3	B C
6	B C
7	B C
4	C
11	C
8	C

Granos no ReventadosMuestra

5	A
6	B
2	B
7	B
1	C
3	C
4	C
8	C
10	D
9	D
11	D

Porcentaje de Granos ReventadosMuestra

9	A
10	A B
11	B
1	C
3	C
4	C
8	C
7	D
2	E
6	E
5	F

4. COMPARACION NO PROCESADO (1) VRS. PROCESADO (2)

Fibra Cruda
(DMS= 0.1419)

Tratamiento

2	A
1	B

Proteína
(DMS= 0.1677)

Tratamiento

1	A
2	A

Amilosa (%)
(DMS= 0.2385)

Tratamiento

1	A
2	B

Amilosa/100 g carbohidratos
(DMS= 0.3098)

Tratamiento

1	A
2	B

Humedad Residual
(DMS= 0.0957)

Tratamiento

1	A
2	B

Extracto Etéreo
(DMS= 0.1406)

Tratamiento

1	A
2	B

Lisina
(DMS= 0.0463)

Tratamiento

1	A
2	B

Triptofano
(DMS= 0.0017)

Tratamiento

1	A
2	B

Ceniza
(DMS= 0.0601)

Tratamiento

1	A
2	B

5. EVALUACION BIOLOGICA NO REVENTADO VRS. REVENTADO

Eficiencia Proteica

Dieta

Caseína	A
Crudo	B
Reventado	C

Digestibilidad Real

Dieta

Caseína	A
Crudo	B
Reventado	C

Razon Proteica Neta

Dieta

Caseína	A
Crudo	B
Reventado	C

Digestibilidad Aparente

Dieta

Caseína	A
Crudo	B
Reventado	C



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1845

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia

Asunto

Guatemala, 19 de marzo de 1990

"IMPRIMASE"


ING. AGR. ANIBAL MARTINEZ M.
DECANO

