

Relación entre algunas características físicas de variedades de sorgo (*Sorghum vulgare*) y su capacidad de reventado

Ricardo Bressani¹ y Edgar Tuna²

RESUMEN. El presente estudio tuvo como propósito establecer si existe una relación entre las características físicas del grano de sorgo y la capacidad de reventado. Se estudiaron 11 variedades nacionales de sorgo y se caracterizaron por color, grosor del pericarpio, presencia de testa, color del endospermo, peso de 100 gramos y número de granos en 40 gramos, densidad y textura. Antes de someter las muestras al proceso de reventado se estandarizó el método de expansión con respecto a la carga experimental del grano, lo que permitió seleccionar cargas de 62 g. Asimismo, se estudió el efecto de la humedad a través de tiempo de remojo, y se logró establecer que 45 minutos daba la mejor expansión. Se encontraron diferencias estadísticas significativas en las características físicas entre las 11 variedades, así como en el cambio de volumen, granos reventados y porcentaje de granos reventados que fluctuó entre 7.42 y 89.29%. Se encontró que el volumen inicial del grano estaba correlacionado negativamente con el volumen final, el cambio en volumen y el porcentaje de granos reventados. El volumen inicial presentó una correlación significativamente positiva con el cambio en volumen y por ciento de granos reventados, no así con los granos no reventados que dio una correlación negativa. Las variables de expansión estaban correlacionadas significativamente con el número de granos en 40 gramos, con la textura del endospermo y la densidad del grano. Se concluyó que aunque la estructura física del grano juega un papel en su expansión, otros factores como la composición química podrían también ser importantes.

INTRODUCCION

En varias regiones de América Central, particularmente en las zonas agrícolas con poca precipitación pluvial, se cultiva el sorgo blanco. Este cereal lo utiliza el agricultor para extender el maíz en la preparación de la tortilla (1-3), sin embargo, le dan otros usos como harina en la panificación o como grano reventado en la preparación de lo que se conoce como "alboroto". Esta preparación se hace con el grano de sorgo reventado al cual se le mezcla miel o sirope de azúcar, con lo cual se logra unir

SUMMARY. Relationship among some physical characteristics of sorghum (*Sorghum vulgare*) varieties and their popping capacity. The purpose of this study was to attempt to establish a possible relationship between the physical characteristics of grain sorghum and its capacity to expand. Eleven national varieties of sorghum were studied and were characterized for color, weight of 100 grains, number of grains in 40 grams, grain density and texture. Before subjecting the samples to the popping process, the method was standardized with respect to the experimental load. These tests helped to select a 62-gram load. Likewise, the effect of grain moisture content was studied. Results indicated that a soaking time of 45 minutes gave the best percent expansion. Highly statistical significant differences were found in the physical characteristics among the eleven sorghum varieties, as was also the case with respect to change in volume, popped grains and percentage of popped grains, which varied between 7.42 to 89.29%. The initial volume of the grain was negatively associated to the percentage of expanded grains. The initial grain volume was significantly negatively related to the nonpopped grain. The final volume significantly correlated with the number of grain in 40 grams, with endosperm texture and grain density. Even though physical structure is important in grain expansion, other factors like chemical composition may also be of significance.

los granos y darle forma al producto. Frecuentemente se le agregan pequeñas cantidades de maní, semillas de ayote (*Cucurbita*) o ajonjolí, lo cual lo hace más atractivo y agradable al paladar. Asimismo, la adición de estos productos al sorgo aumenta su valor nutritivo.

A pesar de que en Guatemala se han realizado estudios sobre la composición química y valor nutritivo del sorgo (4) no hay estudios que establezcan si de hecho existe algún parámetro físico en el grano que esté asociado a su grado de expansión.

El presente trabajo tuvo por objeto estudiar las diferencias en capacidad de reventado de 11 variedades de sorgo y asociarlas con varias características físicas del grano.

1 Coordinador de la Investigación en Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP

2 Estudiante de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Este estudio fue parte del trabajo de tesis previo a optar a una Licenciatura.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se llevó a cabo con 11 selecciones de sorgo blanco también conocido como maicillo blanco, producidas en la zona oriental de Guatemala y proporcionadas al INCAP por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA). Se recibieron 10 Kg de cada variedad, los cuales fueron almacenadas a 4°C hasta el momento en que se inició el estudio.

Análisis físicos

En el grano se determinaron las siguientes características: color del grano, grosor del pericarpio, presencia o ausencia de testa, color del endospermo, textura del endospermo, peso de 100 granos, número de granos en 40 gramos y densidad del grano (g/ml). Para estos análisis se siguieron las metodologías descritas en Sorghum Quality Laboratory Manual for use in West Africa (5).

La textura del endospermo se evaluó del corte longitudinal del grano en dos partes iguales y simétricas. El corte muestra una parte vítrea y la otra harinosa. Cuando la parte vítrea forma entre 80 a 100% del total, se le denomina textura vítrea y de 0 a 20% textura harinosa, de acuerdo a figuras de grano de sorgo previamente estandarizadas. La densidad del grano se midió por el desplazamiento de un volumen de 96% etanol por 20 gramos de grana.

Desarrollo del método de expansión

Para llevar a cabo el proceso de reventado se utilizó un reventador de uso doméstico marca Kenmore, el cual genera aire caliente a 225 °C con un flujo de aire de 1.08 m³/min. De esta manera el grano que se ha reventado es acarreado por la corriente de aire y así se evita el sobrecalentamiento.

El equipo recomienda reventar el maíz en lotes de 150 g, sin embargo, siendo el sorgo un grano mucho más pequeño que el maíz, fue necesario establecer la eficiencia del equipo para procesar el peso de sorgo equivalente al volumen del 150 g de maíz. Para este fin se estudió el efecto sobre el reventado de 20, 41, 62 y 83 gramos de una mezcla de peso igual de las 11 variedades de sorgo, equivalentes a 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 del volumen de 150 g de maíz, repitiendo cada carga cuatro veces.

Para el proceso propiamente dicho, se conectó el

equipo precalentándolo durante 90 segundos antes de verter el sorgo a la cámara de aire caliente. Se tomaron lecturas del volumen inicial y final por medio de un cilindro calibrado en ml. Además se tomó el tiempo del inicio y de la finalización del reventado. La muestra fue luego vertida sobre una malla con aberturas de 4 mm para separar los granos no reventados de los reventados. Este procedimiento fue repetido cuatro veces con cada peso de grano.

Efecto del aumento de la humedad sobre el reventado.

Se sometieron a deshidratación lotes de sorgo con aire a 60 °C hasta alcanzar un peso constante. Este grano se sumergió en agua usando una relación de tres partes agua por una de grano. 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 un papel secante. A cada muestra se le dejó dos horas en reposo a temperatura ambiente, con el fin de que el agua absorbida se distribuyera 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.

Evaluación de la capacidad de reventado de los 11 cultivos de maicillo

Una vez establecida la carga óptima para el reventador se procedió a evaluar la capacidad de reventado de los 11 cultivares de maicillo usados en este estudio. Para este fin se procedió como ya se describió anteriormente.

Análisis de la información

Para el análisis de la información se contó con el Centro de Cómputo de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP y se utilizó el paquete estadístico SAS para hacer el análisis de varianza, prueba de Tukey y correlaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

Características físicas

Los resultados de la caracterización física de los materiales se presentan en la Tabla 1. De las 11 muestras, las variedades 1, 6 y 10 presentaron granos blancos, mientras que las variedades 5 y 7 presentaron granos bicolorados de blanco y rojo, y el resto fue de varieda-

RELACION ENTRE ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE VARIEDADES DE SORGO

des amarillas. Las variedades 1, 2, 5, 7, 8 y 11 mostraron tener pericarpios de un grosor medio, mientras que las demás presentaron pericarpios más bien delgados. De todas las variedades, únicamente la 5 y la 7 presentaron testa fuertemente pigmentada de color café-rojizo. El color del endospermo de estas dos variedades fue gris, mientras que las otras variedades presentaron endospermo de color amarillo.

La variedad que presentó el mayor peso fue la número 11 con 4.59 g por 100 g y la que presentó el menor fue la variedad 10 con 2.42 g. Las diferencias fueron estadísticamente significativas entre todas las variedades y de acuerdo a la prueba de Tukey, la variedad 11 fue la de mayor peso Diferencia Mínima Significativa (DMS=0.0849).

Con respecto al número de granos en 40 gramos, la variedad 1 presentó el menor número de granos, con 865 y la que presentó el mayor número fue la 10 con 1.647 granos. Estadísticamente existen diferencias altamente significativas entre variedades teniendo el mayor contenido de granos la 10 según la prueba de Tukey (DMS=31.381). Asimismo, se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre las variedades estudiadas, con respecto a densidad (g/ml). Según la prueba de Tukey la más densa fue la 2 con 1.43 g/ml y la menos densa la 5 con 1.25 g/ml. Estadísticamente también se encontró que existen diferencias altamente significativas

entre variedades, con respecto a la textura del endospermo. La prueba de Tukey demostró resultados similares para las variedades 3 y 2 con 20%, de textura dura o vítreo (DMS=0).

Optimización de la carga para reventado

Los datos para la optimización de la carga para reventado se presentan en la Tabla 2.

En el análisis de varianza del porcentaje de reventado, la prueba 2 (62.64 g) resultó en 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 correlación entre peso y porcentaje de reventado indicó que a menor peso, mayor fue el porcentaje de los granos reventados. Así se seleccionó la carga de 63.64 g aproximadamente como la más práctica para reventado, ya que la carga mayor (83.56 g) no proporcionaba el mejor porcentaje de grano reventado y en la 3 (41.78 g) y la 4 (20.27 g) aunque se incrementaba el porcentaje de granos reventados, la cantidad de grano reventado al final de cada repetición era muy poca.

Efecto de la humedad sobre el reventado

Los datos sobre el efecto de la humedad en el grano se presentan en la Tabla 3. Los datos consignados en dicha Tabla indican que a medida que iba aumentando el

TABLA 1
CARACTERISTICAS FISICAS

| Variedad | Color del grano | Grosor del pericarpio | Testa | Color del endospermo | 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 ^{H**} | 1529.5 ± 14.85 ^C | 1.33 ± 0.00 ^B | 60.0 ± 0.00 ^A |
| 2 | Amarillo | Mediano | no | Amarillo | 2.88 ± 0.04 ^{EF} | 1397.0 ± 9.89 ^E | 1.43 ± 0.00 ^A | 70.0 ± 0.00 ^A |
| 3 | Amarillo | Delgado | no | Amarillo | 2.81 ± 0.01 ^{FG} | 1431.5 ± 4.95 ^D | 1.43 ± 0.00 ^B | 70.0 ± 0.00 ^A |
| 4 | Amarillo | Delgado | no | Amarillo | 3.04 ± 0.01 ^D | 1318.0 ± 7.07 ^F | 1.33 ± 0.00 ^B | 50.0 ± 0.00 ^C |
| 5 | Blanco/Rojo | Mediano | sí | Gris | 3.94 ± 0.01 ^E | 1010.5 ± 4.95 ^H | 1.25 ± 0.00 ^C | 30.0 ± 0.00 ^E |
| 6 | Blanco | Delgado | no | Amarillo | 2.95 ± 0.01 ^E | 1342.5 ± 9.19 ^F | 1.33 ± 0.00 ^B | 40.0 ± 0.00 ^D |
| 7 | Blanco/Rojo | Mediano | sí | Gris | 2.54 ± 0.01 ^H | 1577.5 ± 6.36 ^B | 1.33 ± 0.00 ^B | 20.0 ± 0.00 ^F |
| 8 | Amarillo | Mediano | sí | Gris | 3.35 ± 0.03 ^C | 1207.5 ± 7.78 ^G | 1.33 ± 0.00 ^B | 40.0 ± 0.00 ^D |
| 9 | Amarillo | Delgado | no | Amarillo | 2.74 ± 0.02 ^G | 1459.9 ± 7.78 ^D | 1.33 ± 0.00 ^B | 50.0 ± 0.00 ^C |
| 10 | Blanco | Delgado | no | Amarillo | 2.42 ± 0.01 ^I | 1647.0 ± 2.83 ^A | 1.33 ± 0.00 ^B | 60.0 ± 0.00 ^B |
| 11 | Amarillo | Mediano | no | Amarillo | 4.59 ± 0.03 ^A | 869.0 ± 4.24 ^I | 1.33 ± 0.00 ^B | 50.0 ± 0.00 ^C |

* Media ± Desviación estándar.

** Letra mayúscula - Prueba de Tukey.

TABLA 2
OPTIMIZACION DE LA CARGA PARA REVENTAR

| Prueba de carga | Peso g | Vol. inicial ml | Vol. final ml | Cambio vol. ml | Tiempo inic. reventado | Tiempo exposición | No. granos no reventados | % 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 ± 71.82 | 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 |

* Media y desviación estándar de cuatro repeticiones/carga

TABLA 3
EFECTO DE HUMEDAD SOBRE REVENTADO

| Tiempo de remojo min | Volumen inicial ml | Cambio de volumen ml | Tiempo de inicio de reventado | Tiempo de exposición, seg | No. de granos reventados | % de granos reventados |
|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|
| 15 | 60.00 ± 11.31* | 36.0 ± 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 |

* Media de tres repeticiones ± desviación estándar.

RELACION ENTRE ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE VARIEDADES DE SORGO

TABLA 4
PRUEBAS DE REVENTADO

| Variedad | Volumen inicial, ml | Volumen final, ml | Cambio de volumen, ml | Tiempo de inicio de seg | Tiempo de exposición, seg | Granos no reventados | % granos |
|----------|---------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|----------------|
| 1 | 74.28 ± 0.756C* | 344.29 ± 9.76F | 270.00 ± 9.93F | 51.00 ± 4.28 | 58.43 ± 6.82BC | 558.573 ± 48.72C | 76.54 ± 2.05C |
| 2 | 72.28 ± 0.756D | 460.00 ± 17.32D | 387.71 ± 17.34 | 49.86 ± 1.68CDE | 64.071 ± 5.35B | 814.71 ± 83.17B | 62.95 ± 3.78E |
| 3 | 74.00 ± 0.00C | 525.71 ± 32.07C | 451.71 ± 32.07C | 50.00 ± 4.08ACD | 56.46 ± 13.10BC | 527.86 ± 70.58C | 76.46 ± 3.21C |
| 4 | 72.00 ± 0.00D | 415.71 ± 12.72E | 343.71 ± 12.72E | 46.86 ± 1.95DE | 48.071 ± 8.77C | 520.00 ± 48.52C | 74.71 ± 2.36C |
| 5 | 78.00 ± 0.00A | 117.43 ± 2.51H | 39.43 ± 2.51H | 46.14 ± 1.86E | 63.29 ± 7.27B | 1471.43 ± 30.99A | 7.42 ± 1.96F |
| 6 | 74.00 ± 0.00A | 304.29 ± 5.35 | 230.20 ± 5.35G | 55.00 ± 4.08A | 53.06 ± 11.42BC | 860.00 ± 52.03B | 59.31 ± 2.46E |
| 7 | 76.00 ± 0.00B | 390.00 ± 6.45E | 314.00 ± 6.45E | 50.29 ± 2.14ABCD | 52.44 ± 5.09BC | 767.14 ± 61.36B | 68.89 ± 2.49D |
| 8 | 74.00 ± 0.00C | 460.71 ± 8.38D | 386.71 ± 8.38D | 53.14 ± 1.86AB | 44.66 ± 2.75C | 477.86 ± 67.39C | 74.63 ± 3.57C |
| 9 | 74.00 ± 0.00C | 652.86 ± 7.56B | 578.86 ± 7.56B | 44.86 ± 0.38E | 57.13 ± 3.26BC | 279.57 ± 28.25D | 89.29 ± 4.71A |
| 10 | 72.25 ± 1.2D | 792.50 ± 71.82A | 720.50 ± 72.76A | 42.50 ± 2.89E | 87.62 ± 8.34A | 339.75 ± 118.24D | 86.84 ± 4.58AB |
| 11 | 77.14 ± 1.07A | 508.57 ± 17.73C | 431.43 ± 17.65C | 44.86 ± 1.57E | 47.03 ± 7.26C | 232.43 ± 12.42D | 82.92 ± 0.91B |

* Media ± desviación estándar y letras mayúsculas Prueba de Tukey.

TABLA 5
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 ± 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 ± 0.100 | -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 | | | | | 0.155 ± 0.187 | -0.962 ± 0.001* |

* Coeficiente de correlación de Pearson y nivel de significancia

TABLA 6
 MATRIZ DE CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES DE LA PRUEBA DE REVENTADO
 Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL GRANO DE MAICILLO CRUDO

| | Textura endospermo | Peso de 100 g | Granos en 40 g | Densidad del grano, g/ml |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------|
| Volumen inicial | -0.600 ± 0.052 ¹ | 0.668 ± 0.025* | -0.620 ± 0.042* | -0.628 ± 0.039* |
| Volumen final | 0.496 ± 0.121 | -0.354 ± 0.285 | 0.434 ± 0.182 | 0.384 ± 0.204 |
| Cambio de volumen | 0.500 ± 0.118 | -0.360 ± 0.277 | 0.438 ± 0.171 | 0.388 ± 0.238 |
| Tiempo inicio de reventado | -0.156 ± 0.647 | -0.185 ± 0.587 | 0.085 ± 0.804 | 0.207 ± 0.541 |
| Tiempo de exposición | 0.338 ± 0.309 | -0.412 ± 0.208 | 0.478 ± 0.137 | 0.441 ± 0.905 |
| Granos no reventados | -0.430 ± 0.188 | 0.140 ± 0.681 | -0.211 ± 0.534 | -0.343 ± 0.301 |
| Granos reventados (%) | 0.041 ± 0.175 | -0.358 ± 0.279 | 0.921 ± 0.197 | 0.476 ± 0.138 |

¹ Coeficiente de correlación de Pearson y nivel de significancia.

* Significancia estadística.

RELACION ENTRE ALGUNAS CARACTERISTICAS FISICAS DE VARIEDADES DE SORGO

tiempo de remojo, el valor de cambio de volumen fue aumentando hasta un máximo de 399.33 ml, con un tiempo de remojo del grano de 45 minutos. 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. En la muestra que estuvo durante 45 minutos en remojo, tanto el inicio de reventado como el tiempo de exposición, fueron mayores que para las muestras con tiempos de remojo de 15 y 30 minutos. Estos dos factores tienen importancia económica ya que se necesitará un mayor tiempo para el proceso, incrementándose los costos del mismo. Por el contrario, el cambio de volumen es altamente significativo, lo que incrementa la eficiencia del proceso, ya que como claramente se observa, el porcentaje de granos reventados se incrementó de 9% hasta valores de 67.14% y a incrementos de volumen que van desde 36 hasta 399.33 ml.

El efecto de la influencia de la humedad sobre el grado de reventado del maicillo ya había sido evaluado por Huelsen y Bemis (6) para maíz, en donde se obtuvieron resultados similares a los del presente estudio. Parece ser también que el tiempo de remojo del grano necesita ser más prolongado con el objeto de que la humedad penetre más adentro del grano, ya que con un remojo de poco tiempo (15 min.), la humedad no penetra al grano y esto hace que el grano no reviente o reviente muy pobremente, no pudiéndose generar la suficiente presión de vapor dentro del grano. Hosney y col. (7) indicaron que el pericarpio del maíz actúa como un recipiente de presión, permitiendo que el agua interna se sobrecaliente, siendo esto la fuerza que expande el grano para romper el pericarpio. Esta prueba indicó que la humedad en el grano es uno de los factores que pueden ser controlados, lo que favorece su reventado.

Pruebas de reventado entre variedades de maicillo

Los resultados de la prueba de reventado repetida 7 veces por variedad se presentan en la Tabla 4, en la cual también se presenta el resultado de la prueba de Tukey.

Volumen inicial (ml): Existen diferencias altamente significativas ($p > 0.001$) de volumen antes de reventar, entre las diferentes variedades, utilizando el mismo peso de carga óptimo para todas las pruebas. Según la prueba de Tukey el mayor volumen inicial lo tienen las variedades 5 y 11 con valores de 78 y 77.14 ml y el menor lo tienen las variedades 2, 4 y 10 con valores que oscilan entre 72.29 y 72 ml.

Volumen final (ml): Existen diferencias altamente significativas ($P > 0.001$) de volumen final entre variedades, después del proceso de reventado. La prueba de Tukey mostró a la variedad 10 como la de mayor volumen final (792.5 ml) y la variedad 5 presentó el valor menor (117.43 ml).

Cambio de volumen (ml): Existen diferencias altamente significativas ($P > 0.002$) entre variedades, en cuanto al cambio de volumen ocurrido antes y después del reventado. Según la prueba de Tukey el mayor valor es el de 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 (segundos): Existen diferencias altamente significativas ($P > 0.001$) entre variedades en cuanto al tiempo de inicio de reventado. Según la prueba de Tukey las selecciones 4, 5, 6, 10 y 11 comenzaron a reventar primero con tiempos que estuvieron entre 46.85 y 42.50 segundos y las variedades 1, 6, 7 y 8 fueron las que se tomaron mayor tiempo para empezar a reventar, con los valores entre 55.0 y 50.29 segundos.

Tiempo de exposición (segundos): Existen diferencias altamente significativas ($P > 0.001$) entre variedades en cuanto al tiempo necesario de exposición desde que se inicia el reventado hasta el final del proceso. Según la prueba de Tukey, la variedad que necesitó mayor tiempo de exposición al proceso para terminar de reventar fue la 10, con 87.63 segundos y las que necesitaron un menor tiempo fueron las variedades 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9 y 11 con tiempos que variaron desde 58.43 a 44.65 segundos.

Número de granos no reventados: Estadísticamente existen diferencias altamente significativas ($P > 0.001$) entre variedades en cuanto al número de granos no reventados. Según la prueba de Tukey las variedades con el mejor porcentaje de reventado fueron la 9 y la 10 con 89.29 y 86.84% y la que dió el menor reventado fue la 5, con 7.42%.

Correlación entre las variables de prueba de reventado y características físicas del grano

Las correlaciones entre las variables de la prueba de reventado se indican en la Tabla 5. Existe una correlación negativa entre el volumen inicial del grano y el volumen final reventado, o sea que a mayor cantidad de grano al inicio del proceso, habrá menor cantidad de grano reven-

tado, y lo mismo sucede al comparar 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.

El aumento del tiempo de inicio de reventado del grano en la máquina disminuye en forma significativamente 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 de reventado, esto quiere decir que a un tiempo mayor del inicio de reventado, se reducirá el tiempo de exposición.

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.

El volumen inicial del grano en crudo aumentará con el incremento de peso de 100 gramos y disminuirá con el incremento del número de granos en 40 gramos y con el aumento de la densidad en gramos por ml (Tabla 6).

La muestra 10 presentó el menor peso de 100 granos (2.42 g) y esto parece ser que estuvo íntimamente relacionado con el tiempo máximo de exposición para reventar que necesitó cualquier muestra, que en el caso de la misma muestra 10, fue de 87.63 segundos. Esto se debe a que el grano pesa poco y el flujo de aire caliente que emite la máquina hace que los granos sean impulsados hacia arriba más de lo necesario, y se pierda la energía calórica antes de que este calor caliente el grano y haga que se genere la suficiente presión de vapor dentro de él antes que se reviente adecuadamente.

Una observación muy importante en este estudio fue el hecho que la muestra 5 de color blanco y rojo, con un grosor del pericarpio mediano, con testa y únicamente 30% de la textura del endospermo vítreo, se vio que obtuvo el menor porcentaje de granos reventados (7.42%) (Tablas 1 y 4) y también otra muestra con testa, pericarpio de mediano grosor y un bajo porcentaje vítreo en su endospermo (20%) tuvo uno de los valores más bajos de porcentaje de granos reventados. De esta manera se puede observar que una de las características negativas cuando se revienta el sorgo es un bajo porcentaje vítreo en el grano, así como la presencia de testa y un pericarpio de

mediano grosor. Aunque se necesita una evaluación más detallada, se deduce que el porcentaje de granos reventado está influido por la textura del endospermo y la densidad del grano.

Estos datos sugieren que además de las características físicas, existen otras propiedades del grano, como su composición química, que juegan un papel importante en el grado de reventado del grano. Probablemente, la interacción entre las características físicas y químicas en la presencia de cierta cantidad de agua en el grano son las responsables de la eficiencia de expansión del mismo.

REFERENCIAS

1. Bressani, R. El sorgo en alimentación humana. En: Reunión Anual de la Comisión Latinoamericana de Investigaciones de Sorgo. Guatemala, Comisión Latinoamericana de Investigaciones de Sorgo, 1985, p 1-37.
2. Serna-Saldivar, S. O., D. A. Knobe, L. W. Rooney, T. D. Tanksley, Jr. & A. M. Sproule. Nutritional value of sorghum and maize tortillas. *J. Cereal Sci.*, 7:83-94, 1988.
3. Gómez, M. H. H., C. M. McDonough, L. W. Rooney & R. D. Waniska. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. *J. Food Sci.*, 54:330-336, 1989.
4. Bressani, R. & B. J. Rios. The chemical and essential amino acid composition of twenty-five selections of grain sorghum. *Cereal Chem.*, 39:50-58, 1962.
5. McLaughlin Shull, J., M. Oumarou, A. W. Kirleis & J. W. Clark. Sorghum Quality Laboratory Manual for Use in West Africa. West Lafayette, Indiana, Purdue Research Foundation, 1987.
6. Huelsen, W. A. & W. P. Bemis. Temperature of popper in relation to volumetric expansion of popcorn. *Food Technol.*, 8:394-397, 1954.
7. Hosney, R. C., K. Zeleznak & A. Abdelrahman. Mechanism of popcorn popping. *J. Cereal Sci.*, 1:43-52, 1983.