

Método para evaluar reventado de grano en amaranto

Ana Rosa Ramírez-Pérez¹
Enrique Ortiz-Torres^{1§}
Adrián Argumedo-Macías¹
Micaela De la O-Olán²
Carmen Jacinto-Hernández²
Ignacio Ocampo-Fletes¹
Ramón Díaz-Ruiz¹

¹Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. Tel: 01(222) 2851442, 2851445. (anarosa.rmz@yahoo.com.mx; aadrian@colpos.mx; ocampoif@colpos.mx; dramon@colpos.mx) ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchan, Texcoco, México. AP. 10. (micad@colpos.mx; carmenjh9@yahoo.com).

§Autor para correspondencia: enriqueortiz@colpos.mx.

Resumen

Para definir un procedimiento para evaluar expansión de grano de amaranto, se establecieron tres experimentos. El primero, para optimizar el método de determinación de humedad en grano en estufa de secado. El segundo para definir la factibilidad de modificar el contenido de humedad a 12, 14 y 16%, por efecto de cantidad de agua y tiempo de acondicionamiento. El tercero fue determinar el volumen de expansión del grano por tamaño de muestra (15 y 30 g) y humedad (10, 12, 14 y 16%). El tratamiento que mejor funcionó para la determinación de humedad de grano fue el de 2 g de muestra, 2 h de secado a 130 °C. Es posible modificar y ajustar el contenido de humedad de grano adicionando agua. No se observó efecto en el contenido de humedad por los diferentes tiempos de acondicionamiento. Los contenidos de humedad con los que se obtuvo mayor volumen de reventado fue de 12 y 14%. No existieron diferencias significativas en el volumen de reventado de grano en muestras de 15 y 30 gramos.

Palabras clave: acondicionamiento, humedad de grano, volumen de expansión.

Recibido: febrero de 2018

Aceptado: abril de 2018

El reventado del grano de amaranto confiere al grano mejor sabor, color, aroma e incrementa la calidad de proteína (Zapotoczny *et al.*, 2006; Morales *et al.*, 2014). El grano se revienta comúnmente con un sistema de lecho fluidizado con aire caliente. En este sistema los factores que afectan el volumen de reventado del grano son principalmente el contenido de humedad del grano, la temperatura y la velocidad de flujo de aire caliente (Lara y Ruales, 2002). También, afectan el volumen de expansión de grano en los cereales el ambiente de cultivo y la variedad (Mishra *et al.*, 2014). No hay un método común para la determinación de humedad en el grano de amaranto.

Para estudiar el efecto de las variedades y ambiente del cultivo sobre el reventado de grano es necesario homogenizar las condiciones de operación del sistema de reventado debido a la variación en el contenido de humedad del grano. Humedad que está en función del lugar de producción, manejo y almacenamiento.

El objetivo del presente estudio fue definir un procedimiento para evaluar accesiones de amaranto por volumen de reventado, se evaluaron diversas recomendaciones de determinación de humedad por el método de la estufa, eficacia de la adición de agua en la modificación del contenido de humedad de la semilla, el efecto de tiempo de acondicionamiento (adición de agua) en el contenido de humedad de la semilla, el efecto del contenido de humedad del grano en el volumen de reventado y el efecto de tamaño de muestra en la evaluación del volumen de reventado de grano. Se realizaron tres experimentos de febrero a marzo de 2015 en las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla, en Cholula, Puebla, México.

Experimento I. Determinación de humedad en grano de amaranto por efecto de temperatura de estufa, variedad, peso de muestra y horas de secado en estufa.

Se utilizaron dos variedades (VAR) mejoradas ‘Nutrisol’ y ‘Laura’. Ambas cosechadas de lotes de producción comercial del 2014. Se manejaron dos pesos de muestras (PMUES) de 2 y 5 g. Las muestras se secaron en estufa de convección a dos temperaturas (TEMP), 103 y 130 °C. Se aplicaron tres niveles de tiempo de secado (TSEC), 1, 2, y 4 h. La variable medida fue contenido de humedad de grano (CHUM) en porcentaje en base seca. Se usó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial con tres repeticiones. Cada observación se realizó por duplicado.

Experimento II. Humedad de grano de amaranto por efecto de acondicionamiento por balance de masas y horas de acondicionamiento.

Los factores de estudio fueron humedad de grano inicial y tiempo de acondicionamiento (TACOND). Se utilizaron los niveles de humedad de 10, 12, 14 y 16% y TACOND de 4, 8, 12 y 24 h. Se utilizó ‘Laura’, con humedad inicial de 10%. El CHUM se modificó al 12, 14 y 16%, adicionando agua destilada. Para modificar a la humedad deseada u objetivo se calculó con la fórmula de balance de masas siguiente:

$$A = \frac{(1-X1) S1}{1-X2} - S1$$

Donde: S1= peso seco de semilla sin acondicionar; X1= contenido de humedad de la semilla sin acondicionar (fracción); X2= contenido de humedad de la semilla después del acondicionamiento (fracción); A= masa de agua a adicionar para alcanzar humedad deseada.

Para calcular el volumen de agua a adicionar se usó la siguiente expresión:

Volumen de agua a adicionar= masa de agua a agregar/densidad del agua a 20 °C. (0.99823).

Se calculó la cantidad de agua a adicionar por muestra para alcanzar 12% de humedad; el agua destilada se agregó con una jeringa de 1 mL. El acondicionamiento de una muestra de 35 g de grano se realizó 4, 8, 12 y 24 h antes de determinar la humedad de cada muestra por el método de la estufa. Para determinar la humedad se usaron 2 g de grano, 130° C en la estufa de convención por 2 h, cada determinación se realizó por duplicado. La variable que se midió fue contenido de humedad de grano en base seca.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con factorial con cuatro repeticiones.

Experimento III. Volumen de expansión de grano de amaranto por efecto de tamaño de muestra y humedad de grano.

Se estudiaron los factores contenido de humedad de grano (CHUM) y peso de la muestra (PMUES) en la variedad 'Laura'. El CHUM se modificó con la fórmula de balance de masas a 10, 12, 14 y 16%, en muestras de 15 y 30 g de semilla. El reventado del grano se realizó con una máquina portátil de reventado de amaranto de lecho fluidizado de aire caliente del Colegio de Postgraduados. La temperatura para el reventado fue de 232 °C. Después del reventado, el grano se cribó con un tamiz de pruebas físicas número 16 (Montiel inoxidable, México), de apertura de 1.19 mm. El grano retenido en el tamiz se consideró grano reventado y lo que pasó como grano no reventado. Se cuantificó el peso (g) y el volumen (mL) de ambas porciones. El volumen de grano se midió con una probeta graduada de 250 mL.

Las variables que se midieron en cada muestra fueron 1) volumen de expansión, dividiendo el volumen del grano reventado sobre el peso original de la muestra y se expresó en mL g⁻¹; 2) rendimiento de grano reventado, expresado como porcentaje de peso el cual se calculó dividiendo el peso de grano reventado sobre el peso de la muestra y multiplicado por cien; y 3) porcentaje de grano no reventado, se calculó dividiendo el peso del grano no reventado sobre el peso de la muestra y multiplicado por cien. Se usó un diseño experimental factorial completamente al azar con tres repeticiones. Cada observación se determinó por duplicado.

En todos los experimentos se realizó un análisis de varianza para determinar diferencias entre tratamientos. Las medias ajustadas de mínimos cuadrados para los efectos principales y las interacciones se compararon con la prueba de Tukey. Para el cálculo se usó el procedimiento GLM y el enunciado LSMEANS del programa SAS (SAS Institute, 2004).

Experimento I. El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró que los efectos principales de todas las variables evaluadas fueron altamente significativas ($p \leq 0.01$). En las interacciones dobles TEMP x PMUES no fue significativa, TEMP x PMUES fue significativa ($p \leq 0.05$) y el resto fue altamente significativas ($p \leq 0.01$). En las interacciones triples y cuádruples no hubo efectos significativos.

Cuadro 1. Cuadrados medios del análisis de varianza de la variable humedad de grano de amaranto por efecto de temperatura de estufa, variedad, peso de muestra y tiempo de secado en estufa.

Fuente de variación	Cuadrado medio
Temperatura (°C)	44.5253 **
Variedad	127.3608 **
Peso de muestra (g)	3.2682 **
Tiempo de secado (h)	11.2497 **
Temperatura × variedad	0.3444 **
Temperatura × peso de muestra	0.0008 ns
Temperatura × tiempo de secado	0.2593 **
Variedad × peso de muestra	2.1286 **
Peso de muestra × tiempo de secado	0.0102 ns
Temperatura × variedad × peso de muestra	0.045 ns
Temperatura × variedad × tiempo de secado	0.0961 ns
Variedad × peso de muestra × tiempo de secado	0.0021 ns
Temperatura × peso de muestra × tiempo de secado	0.0226 ns
Temperatura × variedad × peso de muestra × tiempo de secado	0.0599 ns

Cuadrado medio del error 0.0765014; coeficiente de variación= 2.6; * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$; ns= no significativo; $R^2=0.982$.

En todas las pruebas de comparación de medias de los factores principales se observaron diferencias significativas entre tratamientos ($p \leq 0.05$). En TEMP la humedad de grano obtenida a 130 °C fue mayor. El CHUM fue de 11.4 y 9.88% con 130 y 103 °C, respectivamente. En el factor variedades (VAR), 'Nutrisol' tuvo mayor CHUM (11.93%) que 'Laura' (9.35%). Las humedades de grano determinadas en cada tamaño de muestra fueron diferentes. En la muestra de 2 g fue mayor el CHUM que en 5 g, con 10.87 y 10.44%, respectivamente.

En TSEC hubo diferencias significativas, a mayor TSEC fue mayor el CHUM del grano. El tiempo de 4, 2 y 1 h tuvieron 10.95, 10.32 y 9.58% de humedad, respectivamente. En el tratamiento de 4 horas de secado extrajeron más humedad, pero puede haber pérdida de otros elementos demás de agua.

En la interacción de VAR x TEMP se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. El CHUM en cada variedad cambió dependiendo de la temperatura usada, siendo mayor a 130 que a 103 °C. El CHUM de 'Laura' fue mayor que de 'Nutrisol'. No se encontró interacción significativa entre TEMP y PMUES (Cuadro 2), los PMUES se modificaron de forma similar en cada TEMP. El análisis de medias mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre todos los tratamientos. La combinación 2 g de tamaño de muestra y 130 °C fue la más eficiente en extraer humedad del grano al establecerse ésta 11.28%.

Cuadro 2. Promedios de humedad de grano en las combinaciones temperatura y peso de muestra.

Temperatura (°C)	Peso de muestra (g)	Humedad (%)	
130	2	11.28	a
130	5	10.85	b
103	2	9.7	c
103	5	9.28	d

Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente ($p < 0.05$).

En la combinación de TEMP y TSEC (Cuadro 3) hubo significancia estadística, la humedad de grano determinada en cada TSEC cambió en función de la TEMP. En la comparación de medias el tratamiento que extrajo más agua fue el de 4 h y 130 °C ($p \leq 0.05$). El tratamiento que obtuvo el menor CHUM fue el de una hora a 103 °C. Los tratamientos de 1 h a 130 °C con el de 4 h a 103 °C fueron iguales estadísticamente. El tratamiento de 4 h a 130 °C fue el más eficiente en extraer agua del grano. El tratamiento que sigue en eficiencia es de 2 h a 130 °C. Por lo cual es más eficiente el uso 130 °C y 2 h de secado. Este último también lo recomiendan Zapotocizn (2006) e ISTA (1993).

Cuadro 3. Promedios de humedad de grano en la combinación temperaturas y tiempos de secado.

Temperatura (°C)	Tiempo de secado (h)	Humedad (%)	
130	4	11.68	a
130	2	11.22	b
130	1	10.3	c
103	4	10.22	d
103	2	9.41	e
103	1	8.86	f

Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente ($p < 0.05$).

El análisis de varianza indicó efectos interactivos entre VAR \times PMUES, el CHUM de grano de las variedades fue distinta en tamaños de muestra diferentes. En 'Nutrisol' no hubo diferencias entre tamaños de muestra ($p \leq 0.05$), pero en 'Laura' se determinó mayor humedad en 2 g (9.72%) que en 5 g (9.97%). En la interacción VAR \times TSEC hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre todas las combinaciones (Cuadro 4). Se observaron dos grupos, uno formado por la variedad 'Nutrisol' y otro por 'Laura'. En cada variedad un mayor TSEC produjo mayor CHUM del grano.

Cuadro 4. Promedios de humedad del grano en la interacción variedades \times tiempos de secado.

Variedad	Tiempo de secado (h)	Humedad (%)	
'Nutrisol'	4	12.22	a
'Nutrisol'	2	11.67	b
'Nutrisol'	1	10.95	c
'Laura'	4	9.68	d
'Laura'	2	8.97	e
'Laura'	1	8.21	f

Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente ($p < 0.05$).

En la interacción PMUES \times TSEC la prueba de comparación de medias (Cuadro 5) mostró que el mejor tratamiento fue el de 2 g y 4 h ($p \leq 0.05$), el segundo fue 5 g y 4 h y el tercero fue el de 2 g y 2 h. En los tratamientos de 4 h de secado se observó un cambio de coloración en el grano. El tratamiento con humedad de grano más bajo fue el de 5 g y 1 h.

Cuadro 5. Promedios de humedad de grano en la interacción pesos de muestra \times tiempos de secado.

Peso de muestra (g)	Tiempo de secado	Humedad (%)	
2	4	11.14	a
5	4	10.76	b
2	2	10.53	b
5	2	10.1	c
2	1	9.81	c
5	1	9.35	d

Medias con la misma letra en columnas son iguales estadísticamente ($p < 0.05$).

Experimento II. En el Cuadro 6 se observa que hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en la fuente de variación humedad objetivo, pero no hubo diferencias significativas para TACOND y la interacción humedad objetivo \times TACOND.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de varianza de la humedad de grano de amaranto por efecto de acondicionamiento por balance de masas y horas de acondicionamiento.

Fuente de variación	Cuadrado medio
Humedad objetivo (%)	65.9553 **
Tiempo después del acondicionamiento (h)	0.0337186 ns
Humedad objetivo \times tiempo después del acondicionamiento	0.1299017 ns

Cuadrado medio del error 0.1295524; CV=2.61674. * = $p \leq 0.05$; ** = $p \leq 0.01$; ns = no significativo.

El acondicionamiento modificó la humedad del grano. Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. Los tratamientos para modificar la humedad de 12, 14 y 16% indujeron una humedad de 12.3, 13.79 y 15.17%, respectivamente. Al calcular un intervalo de confianza al 95% se obtuvo que para la media de 12.3% éste fue de 12.17 a 12.43%, para 13.79% de 13.66 a 13.92% y para 15.17% de 15.04 a 15.3%. Se observa que las humedades de grano obtenidas de 12.3, 13.79 y 15.17% difieren de 12, 14 y 16%, respectivamente, lo que indica el procedimiento funcionó, pero se debe ajustar el procedimiento.

En el factor TACOND no hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos en la humedad de grano, la humedad de grano determinada para los tratamientos 4, 8, 12 y 24 h fue de 13.81, 13.72, 13.74 y 13.75%, respectivamente; es decir, los tiempos evaluados después del acondicionamiento no afectaron el contenido de humedad de grano, lo que puede deberse a que la difusión del agua dentro del grano ocurre dentro de las primeras cuatro horas. Balmaceda *et al.* (2015) encontraron que la humedad de equilibrio se alcanzó aproximadamente a las 4 h a 35 y 40 °C. Entonces, con al menos cuatro horas previas al reventado de grano se puede modificar y homogenizar la humedad de grano con el tamaño de muestra empleado.

Experimento III. El análisis de varianza sobre reventado de amaranto por efecto de PMUES a y CHUM (Cuadro 7) sólo mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.05$) en la fuente de variación CHUM en la variable volumen de expansión. En el resto de las variables evaluadas no hubo diferencias significativas. El factor de variación PMUES y la interacción PMUES \times CHUM no mostraron diferencias significativas en ninguna de las variables medidas.

Cuadro 7. Cuadrados medios del análisis de varianza de volumen de expansión de grano, rendimiento, porcentaje de grano no reventado por efecto de tamaño de muestra y humedad del grano de amaranto.

Fuente de variación	Cuadrado medio		
	Volumen de expansión (mL g ⁻¹)	Rendimiento (%)	Porcentaje de grano no reventado (%)
Peso de muestra (g)	0.00113 ns	1.4743 ns	1.4743 ns
Humedad de grano (%)	1.92551 **	2.7102 ns	2.7102 ns
Peso de muestra \times humedad	0.16801 ns	1.3749 ns	1.3749 ns
Coefficiente de variación	4.99	1.33	18.85

*= $p \leq 0.05$; **= $p \leq 0.01$; ns= no significativo.

Sólo hubo cambios significativos en el volumen de expansión, pero no en el rendimiento de grano reventado al cambiar el CHUM del grano. En la prueba de comparación de medias, el mayor volumen de expansión (7.05 mL g⁻¹) se obtuvo con 12 y 14% de humedad. Este mismo resultado lo reportan Zapotoczny *et al.* (2006); Lara y Ruales (2002). En las variables rendimiento de grano reventado y porcentaje de grano no reventado no hubo cambios al modificar la humedad del grano, debido posiblemente a que la falta de agua en el grano a 10% de humedad no permite gelatinizar todo el almidón y a 16% hay exceso de agua, lo que provoca una ruptura prematura del pericarpio (Lara y Ruales, 2002; Zapotoczny *et al.*, 2006).

En el factor de variación PMUES no se encontró diferencias ($p < 0.05$) entre 15 y 30 g para las variables volumen de expansión, rendimiento y porcentaje de grano no reventado. Por lo tanto, para evaluar volumen de expansión se puede usar como tamaño de muestra 15 g.

Conclusiones

La combinación de factores que mejor funcionó para determinación de humedad de grano de amaranto en estufa fue de 2 g de muestra, 2 h de secado a 130 °C.

Es posible modificar el contenido de humedad adicionando agua con la fórmula de balance de masas.

No se encontraron diferencias en el contenido de humedad de grano por efecto de diferentes tiempos de rehumectación evaluados previos a la determinación de humedad.

El contenido de humedad afectó el reventado de grano, siendo 12 y 14% las humedades que resultaron en un mayor volumen de reventado.

No hubo diferencias el volumen de reventado grano obtenido para los tamaños de muestra de 15 y 30 g, por lo que es posible usar una muestra de 15 g para evaluar el reventado de grano.

Literatura citada

- Balmaceda, M. L.; Bochetto, A. N.; Zaniolo, S. M.; Fernandez, O. N.; Bomben, R. M. y Malka, M. T. 2015. Determinación del coeficiente de difusión del agua en semillas de *Amaranthus cruentus* rehumectadas. *Avances en Ciencias e Ingeniería*. 6(2):49-56.
- (ISTA). 1993. International Rules for Seed Testing Seed. *Science and technoly*. 21(suppl):43-46.
- Lara, N. and J. Ruales. 2002. Popping of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. *J. Sci. Food Agric*. 82(8):797-805.
- Metzger, D. D.; Hsu, K. H.; Ziegler, K. E. and Bern, C. J. 1989. Effect of moisture content on popcorn popping volume for oil and hot-air popping. *Cereal Chem*. 66(3):247-248
- Mishra, G.; Joshi, D. C. and Panda, B. K. 2014. Popping and puffing of cereal grains: a review. *J. Grain Processing Storage*. 1(2):34-46.
- Morales, G. J. C.; Vázquez, M. N. y Bressani, C. R. 2014. El amaranto: características y aporte nutricional. 2^a (Ed.). Trillas. 131 p.
- SAS Institute 2004. SAS/SATA 9.9. User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, NC. 1731-1900 pp.
- Zapotoczny, P.; M. Markowski; K. Majewska; A. Ratajski and H. Konopko. 2006. Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *J. Food Eng*. 76(4):469-476.