

EFFECTO DEL TAMAÑO DE GRANO Y GENOTIPO SOBRE EL VOLUMEN DE REVENTADO EN AMARANTO

EFFECT OF GRAIN SIZE AND GENOTYPE ON THE POPPING VOLUME IN AMARANTH

Enrique Ortiz-Torres* y Adrián Argumedo-Macías

¹Colegio de Postgraduados, Campus Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México.

*Autor de correspondencia (enriqueortiz@colpos.mx)

RESUMEN

En México el amaranto se consume principalmente como grano expandido o reventado. Sin embargo, no hay suficiente información para comprender la relación entre las características del grano y el volumen de reventado. Por ello, en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L) se determinó la influencia del tamaño de grano sobre el volumen de reventado y su relación con la humedad de grano, el genotipo y el ambiente de producción. Los factores de estudio fueron tres tamaños de grano (1.00, 0.84 y 0.71 mm), dos líneas (LS-29 y LS-30), tres lotes comerciales y dos niveles de humedad del grano (9 y 13 %). La expansión del grano se realizó en julio de 2022 en instalaciones del Campus Puebla del Colegio de Postgraduados. El diseño experimental fue un completamente al azar, tratamientos con arreglo factorial y tres repeticiones. En el análisis estadístico se realizó un análisis de varianza y prueba de medias (Tukey, 0.05 %). Los resultados muestran diferencias significativas ($P \leq 0.5$) en los factores de variación principales y en todas las interacciones dobles. Entre los tamaños de grano de 1.0 y 0.841 mm no hubo diferencias en volumen de reventado (VREV) y ambos superaron al tamaño 0.707 mm. Sin embargo, en la interacción tamaño de grano x genotipo se observó respuesta diferencial entre los genotipos. En LS29 el mejor fue el tamaño 0.84 mm y en el genotipo LS30 el tamaño 1.0 mm, con 193 y 172.7 ml, respectivamente. Se encontró que el VREV es afectado por la interacción del tamaño de grano con el genotipo, el sitio de producción y la humedad de grano.

Palabras Clave: *Amaranthus hypochondriacus*, ambiente, humedad de grano, México.

SUMMARY

In Mexico, amaranth is consumed mainly as expanded or popped grain. However, there is not enough information to understand the relationship between grain characteristics and popping volume. Therefore, in amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L), the influence of grain size on popping volume and its relationship with grain moisture, genotype and production environment was determined. The study factors were three kernel sizes (1.00, 0.84 and 0.71 mm), two lines (LS-29 and LS-30), three commercial lots and two levels of kernel moisture (9 and 13 %). Grain expansion was carried out in July 2022 at the Puebla Campus of the Colegio de Postgraduados. The experimental design was a completely randomized, treatments with factorial arrangement and three replications. In the statistical analysis, an analysis of variance and mean test (Tukey, 0.05 %) were performed. The results show significant differences ($P \leq 0.5$) in the main variation factors and in all double interactions. Between the 1.0 and 0.841 mm grain sizes there was

no difference in popping volume (VREV) and both exceeded the 0.707 mm size. However, in the grain size x genotype interaction, differential response was observed between genotypes. In LS29 the best was size 0.84 mm and in genotype LS30 size 1.0 mm, with 193 and 172.7 ml, respectively. VREV was found to be affected by the interaction of grain size with genotype, production site and grain moisture.

Index words: *Amaranthus hypochondriacus*, environment, grain moisture, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El grano de amaranto tiene excelentes características nutricionales, de las que destacan el contenido de proteína (16%) y la calidad de los aminoácidos (Venskutonis y Kraujalis, 2013). En México, el principal y más conocido uso del amaranto es como grano reventado (Escobedo-López *et al.*, 2012). En la industria el sistema común de reventado es el de lecho fluidizado con aire caliente. En esta técnica, los factores que afectan el volumen de reventado son: el contenido de humedad del grano, la temperatura y la velocidad de flujo de aire (Lara y Ruales, 2002; Ramírez-Pérez, 2018). También, se ha reportado que el ambiente de producción y la variedad (Mishra *et al.*, 2014; Ortiz-Torres *et al.*, 2018) modifican la expansión. Por otro lado, en grano crudo se ha descrito que son importantes las características físicas como el grosor del pericarpio y contenido de salvado (Mishra *et al.*, 2014), además de la composición química (Aguilar *et al.*, 2022; Swarnakar *et al.*, 2022; Castro-Giráldez *et al.*, 2012).

Los estudios en México sobre las características del grano de amaranto y su relación con el volumen de reventado son escasos. De ellos, Vázquez *et al.*, (1988), quienes estudiaron el reventado de amaranto en 30 líneas de dos especies, encontraron que los mejores volúmenes de reventado los obtuvieron semillas pequeñas, pero bien desarrolladas. Aguilar *et al.* (2022) compararon la

capacidad de reventado de genotipos con perispermo opaco y cristalino en el tipo de almidón y concluyeron que los genotipos con perispermo opaco presentaron mayor contenido de amilopectina y volumen de reventado. Ramírez-Pérez *et al.* (2022) estudiaron un grupo de materiales locales de Puebla y encontraron una asociación positiva ($r= 0.41$) entre peso hectolítrico y volumen de reventado y que el peso de mil semillas no se relacionó con el volumen de reventado, pero sí con mayor proporción de grano expandido de tamaño grande.

El mejoramiento genético se ha enfocado en incrementar el rendimiento de grano y en mejorar adaptación de las plantas a los ambientes de producción; sin embargo, la selección para obtener variedades con mayor volumen de reventado no ha sido considerada. Para aumentar esta característica es necesario primero conocer los factores genéticos, físicos y de producción que están involucrados en este factor. Entender cómo las condiciones físicas de la semilla afectan la obtención de mejores volúmenes de reventado podría ser útil para contar con mejores criterios de selección y así lograr variedades con las características adecuadas. Con base en lo anterior, el objetivo fue determinar la influencia de tres tamaños de grano sobre el volumen de reventado y su relación con la humedad de grano, el genotipo y el ambiente de producción.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el ensayo se evaluaron tres tamaños de grano (1.0, 0.8 y 0.7 mm) de dos genotipos (LS-29 y LS-30), tres sitios de producción (San Juan Tlautla, Santiago Tochimizolco y San Lorenzo Chiautzingo) y dos humedades de grano (9 y 13 %). Los genotipos de amaranto pertenecen a la especie *Amaranthus hypochondriacus* L. y fueron dos líneas sobresalientes del programa de mejoramiento de amaranto del Colegio de Postgraduados, *Campus* Puebla, las cuales se identificaron como LS29 y LS30. El grano utilizado fue de cosechas de lotes comerciales establecidos en 2021 en San Juan Tlautla, San Pedro Cholula (19° 05' 20.7" LN, 98° 22' 20.4" LO, 2,199 msnm), Santiago

Tochimizolco, Tochimilco (18° 51' 49.91" LN, 98° 37' 17.87" LO, 2273 msnm) y San Lorenzo Chiautzingo, Chiautzingo (19° 13' 0.7" LN, 98° 27' 21.37" LO, 2344 msnm). Todas las localidades son del estado de Puebla, México. El clima en todas las localidades es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2017).

El cultivo fue en condiciones de temporal y siembra directa, excepto en la localidad de Chiautzingo, en donde se produjo la plántula, que trasplantada a los 30 días después de un riego de auxilio. Las fechas de siembra, densidad de población, tipo de suelo y precipitación de los sitios de producción se muestran en el Cuadro 1. La fórmula de fertilización fue 80N-40P-00K, las fuentes fueron urea y fosfato diamónico. La fertilización se aplicó en la primera escarda, a los 30-35 días después de la siembra o trasplante.

La humedad del grano se determinó con un medidor de humedad de granos de la marca Draminski® modelo MMG mini. La humedad inicial fue de 9 % y se llevó a 13 %, con la adición de agua destilada. La cantidad de agua a adicionar se determinó con la fórmula de balance de masas y el método descrito por Ramírez-Pérez *et al.* (2018).

Para separar por tamaño se utilizaron los tamices de pruebas físicas números 18, 20 y 24 (Montinox, México) que tienen una abertura de 1.00, 0.841 y 0.707 mm, respectivamente. Los tamaños obtenidos fueron 1.0 (T1.0), 0.8 (T0.8) y 0.7 (T0.7), que es el grano que quedó sobre el tamiz 18, 20 y 24, respectivamente.

Para la realización y evaluación de la expansión de grano se usó la metodología propuesta por Ramírez-Pérez *et al.* (2018). El tamaño de muestra fue de 20 g de grano. El reventado de las muestras se realizó en una reventadora de amaranto (Módulo reventador de semilla de amaranto, modelo REVCP-1, Colegio de Postgraduados), la cual funciona por medio de lecho fluidizado con aire caliente (Argumedo-Macías, 2019). La temperatura del aire utilizada fue de 230-235 °C. El reventado se realizó en

Cuadro 1. Densidad de población, fecha de siembra, suelo y precipitación de los sitios de producción de dos genotipos de amaranto en 2021 en Puebla, México.

Localidad	Densidad de población (plantas)	Fecha de siembra	Precipitación (mm)	Tipo de suelo
Tochimizolco	96 000	10 de julio	800-1300	Regosol
Tlautla	80 000	2 de julio	800- 1000	Phaeozem
Chiautzingo	60 000	10 de mayo	900- 1100	Andosol

Fuente: INEGI (2017).

las instalaciones del Colegio de Postgraduados *Campus* Puebla en el mes de julio de 2022.

Las variables medidas para evaluar el reventado de grano fueron las siguientes. Volumen de grano reventado (VREV), que fue el volumen de grano reventado que permaneció sobre el tamiz de pruebas físicas número 16 (Montinox, México), que tiene una abertura de 1.19 mm, al cual se le determinó el volumen con una probeta de 250 ml y se reportó en mililitros. La variable peso de grano no reventado (PGNRV) fue el peso del grano que atravesó el tamiz 16 y se expresó en gramos.

En los lotes de producción se determinaron variables de planta y grano. Se muestreó un grupo de 50 plantas y se determinó en madurez fisiológica las variables altura de la planta (AP) y días a floración masculina (DFM). La AP es la distancia en centímetros, desde la superficie del suelo hasta la máxima altura del tallo principal. Los DFM son el número de días desde la siembra hasta que el 50 % de las plantas presentaron antesis. En grano crudo se midió peso hectolítrico (PH) y peso de mil semillas (PMS). El PH se estableció con un recipiente de capacidad de 100 mL, en donde se colocó la semilla hasta el enrase del envase previamente tarado y se pesó en una balanza (Ohaus) y se reportó en kilogramos hectolitro⁻¹. El PMS es el peso de 1000 granos sanos, el cual se determinó en una balanza analítica (Shimadzu modelo AUW220). Además, en cada lote y genotipo se muestrearon dos parcelas de 10 m, donde se estimó el rendimiento de grano y se reportó como kilogramos por hectárea a 10 % de humedad.

En el experimento de reventado se utilizó un diseño completamente al azar con un arreglo factorial y tres repeticiones. Los factores fueron localidad, genotipo, tamaño y contenido de humedad del grano. En total fueron 36 tratamientos. El análisis estadístico empleado fue un análisis de varianza para detectar diferencias entre tratamientos y una prueba de medias para definir los mejores tratamientos (Tukey, 0.05 %). A las variables de grano crudo localidad, genotipo y tamaño de grano se le realizó un análisis de varianza (considerando a las localidades como repeticiones) y prueba de medias (Tukey, 0.05 %). Los análisis estadísticos se realizaron en R-UCA versión 4.1.1 (R Core Team, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento de cada sitio de producción fue diferente en las tres localidades (Cuadro 2). El rendimiento más alto de grano se obtuvo en la localidad de Chiautzingo, con un promedio de 5844 kg ha⁻¹; seguido de Tochimizolco y de Tlautla con 3887 y 1684 kg ha⁻¹, respectivamente. Se sugiere que esta diferencia fue debido a la mejor humedad y mayor

tiempo de crecimiento en la localidad de Chiautzingo, ya que éste fue diferente en cada localidad. En relación a DFM, en el Cuadro 2 se observa que en Chiautzingo hubo un promedio de 120.5 días, mientras que en Tochimizolco y Tlautla fue de 86.5 y 83 días, respectivamente. En los dos genotipos se observaron diferencias entre las variables DFM, AP y Rendimiento. El promedio de los tres sitios de DFM en el genotipo LS29 fue de 99 días y en la LS30 de 94 días. El genotipo LS29 tuvo mayor altura de planta y rendimiento (146.4 cm y 4,040 kg ha⁻¹) que LS30 (105.8 cm y 3,571 kg ha⁻¹).

El análisis de varianza (Cuadro 3) realizado en características de grano crudo mostró que entre tamaño de grano hubo diferencias ($P \leq 0.05$) en PMS y PH; entre localidades solo hubo diferencias en PH y entre genotipos no hubo diferencias en ninguna variable.

La prueba de medias en PMS (Cuadro 4) mostró diferencias entre los tres tamaños de grano ($P \leq 0.05$). El peso fue de 1.031, 0.795 y 0.503 g para los tamaños T1.0, T0.8 y T0.7, respectivamente. En PH los tamaños de T0.7 y T0.8 tuvieron el valor mayor ($P \leq 0.05$), con 8.5 y 84.8 kg hL⁻¹ y el tamaño T1.0 el valor más bajo, con 83.5 kg hL⁻¹, debido a que hay mayor cantidad de semilla en los tamaños T0.7 y T0.8 por unidad de volumen. Los anteriores resultados muestran que hubo diferencias en peso entre los tres tratamientos de tamaño de grano sometidos a reventado.

El análisis de varianza de variables medidas en grano reventado (Cuadro 5) mostró en VREV diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en los factores de estudio tamaño de grano, humedad y genotipo, pero diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el factor localidad. También, se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.05$) en todas las interacciones dobles; mientras que en las interacciones triples sólo se encontraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en Localidad x Genotipo x Humedad y Genotipo x Tamaño x Humedad (Cuadro 5). La diferencia significativa entre los tratamientos de los factores de variación muestra diferencias en los niveles evaluados, pero las diferencias observadas en las interacciones de los factores principales indicaron que el volumen de reventado en los niveles de un factor no se comporta igual dentro de los niveles de otro factor. En la variable PGNRV hubo diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) en todos efectos principales Localidad, Genotipo, Tamaño y Humedad de grano y en las interacciones dobles Localidad x Tamaño y Genotipo x Tamaño.

Localidades

El análisis de medias por localidades mostró que el mayor volumen de reventado ($P \leq 0.05$) lo obtuvieron las

Cuadro 2. Características de plantas de amaranto medidas en dos genotipos en los lotes de producción de amaranto en 2021 en Puebla, México.

Localidad	Genotipo	Días a Floración Masculina	Altura de planta (cm)	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Tlautla	LS-30	80	103.4	1694
Tlautla	LS-29	86	157.8	1675
Tochimizolco	LS-30	85	84.5	3825
Tochimizolco	LS-29	88	111.0	3950
Chiautzingo	LS-30	118	129.5	5194
Chiautzingo	LS-29	123	170.5	6494

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia del análisis de varianza de las variables evaluadas en localidades, genotipos y tamaño de grano.

	Grados de libertad	Cuadrados medios	
		Peso de mil semillas (g)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)
Localidades	2	0.0003	5.91 *
Genotipos	1	0.0013	0.53
Tamaño	2	0.4191 *	8.31 **
Error	12	0.8564	39.52

** : significativo al 0.01, * : significativo al 0.5 de probabilidad.

Cuadro 4. Promedios de las variables evaluadas por localidad, tamaño de grano y genotipo.

Localidad	Chiautzingo	Peso de mil semillas (g)	Peso hectolítrico (kg hL ⁻¹)
		0.7721 a	85.5 a
	Tlautla	0.7730 a	84.9 ab
	Tochimizolco	0.7845 a	83.6 b
Tamaño	T1.0	1.031 a	83.5 b
	T0.84	0.7953 b	84.8 ab
	T0.70	0.5034 c	85.8 a
Genotipo	LS29	0.7679 a	84.8 a
	LS30	0.7851 a	84.5 a

Las medias con letras iguales entre factores de variación y columnas son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 5. Cuadros medios y significancia del análisis de varianza de las variables evaluadas en tres tamaños de grano, dos genotipos, tres localidades y dos humedades de grano.

Factor de variación	G. l.	Cuadros medios	
		VREV	PGRNV
Localidad	2	186 *	23.2 **
Genotipo	1	2363 **	34.3 **
Tamaño	2	71712 **	1335 **
Humedad	1	42103 **	3.8 **
Localidad*Genotipo	2	539 **	0.4
Localidad*Tamaño	4	1154 **	35.8 **
Genotipo*Tamaño	2	3395 **	64.3 **
Localidad*Humedad	2	3812 **	2.0
Genotipo*Humedad	1	1621 **	0.01
Tamaño*Humedad	2	222 **	3.3
Localidad*Genotipo*Tamaño	4	19	0.7
Localidad*Genotipo*Humedad	2	1260 **	1.3
Localidad*Tamaño*Humedad	4	52	3.0
Genotipo*Tamaño*Humedad	2	274 **	0.03
Localidad*Genotipo*Tamaño*Humedad	4	16	1.6
Error	70	42	37.2

** : significativo al 0.01, * : significativo al 0.5 de probabilidad, G. l.: grados de libertad, VREV: volumen de grano reventado, PGRNV: peso de grano no reventado.

localidades de Chiautzingo y Tochimizolco con 155 y 152 mL (Cuadro 6). Esto puede deberse a que estas localidades tuvieron mejores condiciones para el desarrollo del cultivo, principalmente, mayor tiempo para el crecimiento de las plantas (Cuadro 2). También se puede apreciar que el sitio de Tlautla obtuvo el mayor peso (3.31g) en PGRNV, comportamiento que se ha asociado con granos menos desarrollados (Vázquez *et al.*, 1988). Otros autores (Ortiz-Torres *et al.*, 2018; Moreno *et al.*, 2015) han encontrado efecto del ambiente de producción sobre el volumen de expansión del amaranto. También, se ha demostrado que las variables ambientales juegan un papel fundamental en la producción de los cultivos agrícolas. Al respecto, Espitia *et al.* (2010) refieren que la luz, humedad, temperatura, tipo de suelo y cantidad de precipitación, entre otros, afectan directamente la producción del grano de amaranto.

Tamaño de grano

La comparación de medias de volumen de reventado entre los diferentes tamaños de grano evaluados (Cuadro 6) mostró que los tamaños T1.0 y T0.8 generaron un mayor volumen de reventado en comparación con T0.7 ($P \leq 0.05$). Pero entre T1.0 y T0.8 no hubo diferencias. Se esperaba que el tamaño más grande presentara el mayor volumen en los genotipos, como lo observaron Mishra *et al.* (2015) en sorgo. Esta falta de igualdad entre T1.0 y T0.8 se explica con lo encontrado en maíz palomero por Dofing *et al.* (1990). Estos autores evaluaron el efecto sobre el volumen de expansión de tamaños de grano y variedades, pero no detectaron diferencias entre tamaños de grano; sin embargo, advirtieron que en muestras de igual peso hubo más granos en una muestra de granos chicos que en la muestra de granos grandes y que los granos chicos en conjunto dieron un volumen alto de reventado. Otros

estudios han observado la misma respuesta, como Soyly y Tekkanat (2007), Song y Eckhoff (1994) y Song *et al.* (1991). Por otro lado, el tamaño T0.7 obtuvo el peso mayor (7.8 g) en PGNREV, lo que afectó el volumen final logrado (Cuadro 6). Esto se explica por qué los granos deben de estar bien desarrollados y con cantidad de almidón suficiente para reventar, por lo que en semillas no desarrolladas no ocurre el reventado (Vázquez *et al.*, 1988).

Genotipos

Entre los dos genotipos evaluados se encontraron diferencias en el volumen de reventado y PGNRV (Cuadro 7). En este caso, el genotipo LS29 mostró mayor volumen de reventado y menor PGNRV ($P \leq 0.05$) que LS30. En amaranto se han reportado diferencias entre variedades en el potencial de reventado (Ortiz *et al.*, 2018; Barrales-Domínguez y Torres-Hernández, 1998). A pesar de que tengan el mismo tamaño de semilla, la composición diferencial del perispermo puede modificar el volumen de reventado, como lo describieron Aguilar *et al.* (2022), quienes reportan que el mayor contenido de amilopectina en el perispermo mejora el volumen de reventado obtenido, porque su estructura permite mayor flujo, retención de agua y expansión del almidón (Castro-Giráldez *et al.*, 2012).

Contenido de humedad

En el Cuadro 7 se aprecia que el nivel de contenido de humedad del 9 % presentó menor VREV, comparado con el 13 % ($P \leq 0.05$). Se conoce que entre el 12 y 14 % se presenta el máximo volumen de reventado (Ramírez-Pérez

et al., 2018), debido a que la evaporación de agua que ocurre en el interior del grano permite la ruptura del pericarpio y el aumento del volumen en el endospermo (Lara y Ruales 2002; Zapotoczny *et al.*, 2006). En el Cuadro 7 se observa en PGNREV que el nivel de 9 % tiene mayor cantidad de granos que no reventaron ($P \leq 0.05$).

Localidad x Tamaño

En el Cuadro 8 se muestra que en Tochimizolco los tamaños T1.0 y T0.8 obtuvieron el mayor volumen de reventado ($P \leq 0.05$). Un segundo grupo se formó con los tamaños T1.0 y T0.8 en Chiautzingo y Tlautla. Con esto se reafirma la carencia de diferencias entre tamaño de grano T1.0 y T0.8 en cada localidad. Por otro lado, el comportamiento del tamaño de grano T0.7 fue diferente en las tres localidades evaluadas, con los mejores resultados en Chiautzingo, después en Tlautla y al final en Tochimizolco. En el tamaño T0.07 la diferencia en el contenido de almidón de la semilla comparado con T01 y T0.8 se advierte en el PGNREV. Vázquez *et al.* (1988) comentan que los mejores volúmenes se observan con semillas pesadas y maduras.

Localidad x Genotipo

En el Cuadro 9 se observa que el genotipo LS29 obtuvo los mayores valores ($P \leq 0.05$) de VREV en las tres localidades, junto con el genotipo L30 en Chiautzingo. En un segundo grupo están el genotipo LS30 en Tochimizolco y Tlautla. Lo anterior muestra que el rendimiento del genotipo LS30 cambió de acuerdo con la localidad de evaluación.

Cuadro 6. Promedios de las variables evaluadas por localidad y tamaño de grano.

Localidad	VREV (mL)	PGNRV (g)	Tamaño	VREV (mL)	PGNRV (g)
Chiautzingo	155 a	2.2 b	T0.8	179 a	0.533 b
Tochimizolco	152 ab	2.99 b	T1.0	178 a	0.167 b
Tlautla	151 b	3.31 a	T0.7	101 b	7.803 a

Las medias con letras iguales entre localidades y tamaños no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: Volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

Cuadro 7. Promedios de las variables evaluadas por humedad de grano y genotipo.

Humedad	VREV (ml)	PGNRV (g)	Genotipo	VREV (mL)	PGNRV (g)
13%	172 a	2.6 b	LS29	157 a	3.4 a
9%	133 b	3.0 a	LS30	148 b	2.3 b

Las medias con letras iguales entre niveles de humedad y genotipos no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

Cuadro 8. Promedios de las variables evaluadas en la combinación localidad x tamaño de grano.

Localidad x Tamaño	VREV (mL)	PGNRV (g)
Tochimizolco x T0.8	185.6 a	0.657 c
Tochimizolco x T1.0	182.0 ab	0.156 c
Tlautla x T0.8	176.8 b	0.598 c
Chiautzingo x T1.0	176.4 b	0.192 c
Tlautla x T1.0	175.6 b	0.152 c
Chiautzingo x T0.8	174.5 b	0.344 c
Chiautzingo x T0.7	114.6 c	6.075 b
Tlautla x T0.7	99.7 d	8.224 a
Tochimizolco x T0.7	89.3 e	9.108 a

Las medias con letras iguales entre localidades y tamaños no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: Volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

Cuadro 9. Promedios de volumen de reventado en las interacciones localidad x genotipo y humedad de grano x genotipo.

Localidad x Genotipo	VREV (mL)	Humedad x Genotipo	VREV (mL)
Tlautla x LS29	159 a	H13 x LS29	181 a
Tochimizolco x LS29	157 a	H13 x LS30	164 b
Chiautzingo x SL29	156 a	H9 x LS29	134 c
Chiautzingo x LS30	154 a	H9 x LS30	132 c
Tochimizolco x LS30	148 b		
Tlautla x LS30	142 b		

Las medias con letras iguales entre localidades y tamaños no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: Volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

El genotipo LS29 tuvo el mejor comportamiento en las tres localidades y no hubo diferencias entre localidades, mientras que L30 mostró el mejor volumen de reventado en Chiautzingo e igualó al de LS29. Lo anterior da evidencia que existen diferencias en el tipo de endospermo en los genotipos evaluados. Aguilar *et al.*, (2022) comentan que los genotipos pueden diferir en el tipo de perispermo y en especial en el contenido de amilopectina. Por lo que la LS29 puede tener un almidón con mejores características para el reventado que la LS30, pero se puede compensar con un buen ambiente de producción, como el de Chiautzingo, que mejoró el comportamiento de la LS30.

ml y superó ($P \leq 0.05$) al obtenido por el genotipo LS30 a 13 %. Por otro lado, en los granos con humedad al 9 % no se encontraron diferencias estadísticas entre los dos genotipos. Es notorio que el incremento de humedad de 9 a 13 % acrecentó el volumen de reventado logrado; sin embargo, esta tendencia fue diferente entre genotipos. El aumento en el genotipo L30 fue de 47 ml, mientras que en el genotipo LS30 fue de 32 ml. Lo anterior sugiere que existen diferencias en la composición química de los genotipos. Aguilar *et al.* (2022) mostraron que almidones con mayor contenido de amilopectina favorece el flujo de agua dentro del grano.

Genotipo x Humedad

El Cuadro 9 muestra que el tratamiento compuesto por 13 % y LS29 tuvo un volumen de reventado de 181

Localidad x Humedad

Se encontró que con 13 % de humedad se obtuvo el mayor volumen de reventado en todas las localidades, en

Cuadro 10. Promedios de volumen de reventado en las interacciones localidad x humedad de grano y tamaño de grano x humedad de grano.

Localidad x Humedad	VREV (ml)	Tamaño x Humedad	VREV (ml)
Chiautzingo x H13	183 a	T0.8 x H13	201 a
Tlautla x H13	174 b	T1.0 x H13	198 a
Tochimizolco x H13	161 c	T1.0 x H 9	158 b
Tochimizolco x H9	144 d	T0.8 x H 9	157 b
Tlautla x H9	128 e	T0.7 x H13	118 c
Chiautzingo x H9	127 e	T0.7 x H 9	84 d

Las medias con letras iguales entre localidades y tamaños no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: Volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

Cuadro 11. Promedios de volumen de reventado en la interacción tamaño de grano x genotipo.

Tamaño x Genotipo	VREV (ml)	PGNRV (g)
T0.8 x SL29	193.0 a	0.525 c
T1.0 x LS29	183.3 b	0.211 c
T1.0 x LS30	172.7 c	0.123 c
T0.8 x LS30	164.9 d	0.541 c
T0.7 x LS30	106.5 e	6.148 b
T0.7 x LS29	95.8 f	9.457 a

Las medias con letras iguales entre localidades y tamaños no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). VREV: Volumen de grano reventado, PGNRV: Peso de grano no reventado.

comparación con el 9 % de humedad (Cuadro 10). La mejor combinación fue Chiautzingo y H13 ($P \leq 0.05$). Al nivel de 13 % hubo diferencias en el volumen de expansión obtenido en el siguiente orden Chiautzingo > Tlautla > Tochimizolco. Esta da evidencia de un efecto del sitio de producción. En el contenido de humedad del 9 %, la localidad sobresaliente fue Tochimizolco, con mayor volumen de reventado. Estas discrepancias pueden ser porque la semilla tuvo diferencias en la cantidad de almidón, por la condición ambiental donde fue producida. Se observó que Chiautzingo fue la localidad con mejor rendimiento (Cuadro 2), por lo que con el contenido de agua adecuado pudo incrementar el volumen.

Tamaño x Humedad

El Cuadro 10 muestra que el aumento de humedad en el grano mejoró el volumen de reventado en todos los tamaños de grano. Los tratamientos con mayor volumen ($P \leq 0.05$) fueron los de 13 % de humedad en el tamaño T0.8 y T1.0, con 201 y 198 ml, respectivamente. Un segundo

grupo lo formaron los tamaños T0.8 y T1.0 a la humedad del 9 %. Pero el tamaño T0.7 fue el que menor volumen de reventado obtuvo en ambas humedades. De nuevo se observó igualdad en volumen de expansión entre tamaños de grano T0.8 y T1.0 a un mismo contenido de humedad.

Genotipo x Tamaño de grano

La mejor combinación fue LS29 y T0.84 y el volumen más bajo lo obtuvo la LS29 y tamaño T0.7 (Cuadro 11). Destaca que entre todos los binomios genotipo y tamaño hubo diferencias ($P \leq 0.05$). También resalta que entre genotipos hubo diferencias en el tamaño de grano. En el genotipo LS29 el mejor tamaño fue T0.8 con 193 ml, en el genotipo LS30 fue el tamaño T1.0 con 164.9 ml. Lo anterior muestra un comportamiento diferente de los genotipos en el tamaño de grano con el cual se obtiene el mayor volumen de expansión. Esto puede ser ocasionado por la composición diferente en el endospermo de los genotipos estudiados. Se ha propuesto que diferencias en el contenido de amilosa y amilopectina muestran un

comportamiento diferente en el volumen de reventado obtenido (Aguilar *et al.*, 2022). En PGNRV el tamaño T0.7 tuvo el mayor peso en ambos genotipos y fue aún mejor en la combinación T0.7 y LS29, lo que muestra que el volumen de reventado se redujo porque una buena proporción de la semilla no reventó.

Localidad x Genotipo x Humedad

Las mejores combinaciones en VREV fueron Chiautzingo x LS29 x H13, Chiautzingo x LS30 x H13, Tlautla x LS29 x H13 y Tochimizolco x LS29 x H13. Dentro de esta triple combinación y con el análisis por duplas, las localidades con mayor VREV en LS29 x H9 fueron Tochimizolco y Chiautzingo y en LS29 x H13 fueron Chiautzingo y Tlautla. Por otro lado, en LS30 x H9 la mejor localidad fue Tochimizolco y en LS30 x H13 fue Chiautzingo. Lo anterior muestra que el volumen de reventado, en los genotipos es afectado por la localidad y la humedad del grano de forma diferente. Esto lo ha reportado también Ramírez-Pérez *et al.* (2018) y Moreno *et al.* (2015).

Tamaño x Genotipo x Humedad

La mejor combinación triple fue T0.8 x H13 x L29. El análisis por separado de los dos factores mostró que el tamaño que dio el mayor VREV en LS29 x H13 fue el T0.8, mientras que en LS29 x H9 fueron T1.0 y T0.8. En LS30 x H13 el tamaño con mejor VREV fue T1.0 y en LS30 H9 fueron T1.0 y T0.8. Lo anterior muestra que los tamaños de grano más grandes responden mejor a la adición de humedad; sin embargo, se presentaron diferencias entre genotipos. En la línea LS29 el mejor volumen lo presentó el tamaño T0.8 y en la línea LS30 el T1.0. Lo anterior se explica por las discrepancias en las variedades en el tipo y cantidad de almidón (Aguilar *et al.*, 2022). Lo anterior muestra que el volumen de reventado es una característica determinada por varios factores, como la localidad de producción, el genotipo, el contenido de humedad y el tamaño de grano.

CONCLUSIONES

Entre los tamaños T1.0 y T0.8 no se observaron diferencias estadísticamente significativas en volumen de reventado. Se detectó interacción del tamaño de grano con el genotipo y el sitio de producción, las cuales modificaron el volumen de reventado. El tamaño de grano no es un factor determinante para obtener altos volúmenes de reventado. El tamaño de grano adecuado es de al menos 0.8 mm en la selección de variedades por su capacidad de reventado y no deben descuidarse otras propiedades del grano, como tipo de endospermo. Una forma de mejorar el volumen de reventado inmediata es utilizar grano con 13 % de humedad.

BIBLIOGRAFIA

- Aguilar D. M. J., E. Espitia R., A. Lozano G., M. G. Valverde R., L. F. Sesma H. y Y. G. López R. (2022) Capacidad de reventado de grano de amaranto (*Amaranthus* spp.) con perispermo contrastante. *Revista Fitotecnia Mexicana* 45: 429-429, <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.4.429>
- Argumedo-Macias A. (2019) Reventadora de semilla de amaranto (*Amaranthus* sp). *Agroproductividad* 12:111-113, <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1541>
- Barrales-Domínguez J. S. y L. Torres-Hernández (1998) Capacidad de reventado del grano de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) producido en dos ambientes de temporal. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 4:63-66.
- Castro-Giráldez M., P. J. Fito S., J. M. Prieto, A. M. Andrés G. and P. Fito M. (2012) Study of the puffing process of amaranth seeds by dielectric spectroscopy. *Journal of Food Engineering* 110:298-304, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.012>
- Dofing S. M., M. A. Thomas-Compton and J. S. Buck (1990) Genotype x popping method interaction for expansion volume in popcorn. *Crop Science* 30:62-65, <https://dl.sciencesocieties.org/publications/cs/pdfs/30/1/CS0300010062>
- Escobedo-López D. A., V. Ayala G. y G. Campos S. (2012) Formas de consumo del amaranto en México. *In: Espitia Rangel E.* (Ed) Amaranto: Ciencia y Tecnología. Libro Científico No 2. INIFAP/SINAREFI. México. pp 341-354.
- Espitia R. E., C. Mapes S., D. Escobedo L., M. de la O O., P. Rivas V., G. Martínez T., ... y J. M. Hernández C. (2010) Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México. SINAREFI-INIFAP-UNAM. Celaya, Guanajuato, México. 101 p.
- INEGI, Instituto Nacional de Geografía e Informática (2017) Anuario estadístico y geográfico de Puebla 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes. México. 943 p.
- Lara N. and J. Ruales (2002) Popping of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) and its effect on the functional, nutritional and sensory properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82:797-805, <https://doi.org/10.1002/jsfa.1069>
- Mishra G., D. C. Joshi and B. K. Panda (2014) Popping and puffing of cereal grain: a review. *Journal of Grain Processing Storage* 1:34-46, http://www.jakraya.com/journal/pdf/2-jgpsArticle_1.pdf
- Mishra G., D. C. Joshi, D. Mohapatra and V. B. Babu (2015) Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum. *Journal of Cereal Science* 65:19-24, <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.001>
- Moreno C. M. G., T. S. Herrera F., E. M. Licea de A. y M. de la O. Olán (2015) Comparación entre el uso de aire caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (*Amaranthus* sp). *Revista Ingeniantes* 1:40-44.
- Ortiz-Torres E., A. Argumedo-Macias, H. García-Perea, R. Meza-Varela, R. Bernal-Muñoz y O. R. Taboada-Gaytán (2018) Rendimiento y volumen de expansión de grano de variedades mejoradas de amaranto para valles altos de Puebla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 41:291-300, <https://www.redalyc.org/jatsRepo/610/61059021009/61059021009.pdf>
- Ramírez-Pérez A., E. Ortiz-Torres, A. Argumedo-Macias, M. de la O-Olán, C. Jacinto-Hernández, I. Ocampo-Fletes y R. Díaz-Ruiz (2018) Método para evaluar reventado de grano en amaranto. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:675-682, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1224>
- Ramírez-Pérez A., E. Ortiz-Torres, A. Argumedo-Macias, M. de la O-Olán, C. Jacinto-Hernández, e I. Ocampo-Fletes (2022) Volumen de expansión de grano de amaranto en poblaciones locales y variedades mejoradas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13: 1091-1102, <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i6.2454>
- R Core Team (2020) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/> (Febrero 2024).
- Swarnakar A. K., M. Mohapatra and S. K. Das (2022) A review on processes, mechanisms, and quality influencing parameters for puffing and popping of grains. *Journal of Food Process and Preservation* 46: 1-18, <https://doi.org/10.1111/jfpp.16891>
- Song A., S. R. Eckhoff, M. Paulsen and J. B. Litchfield (1991) Effects of kernel

- size and genotype on popcorn popping volume and number of unpopped kernels. *Cereal Chemistry* 68:464-467.
- Song A. and S. R. Eckhoff (1994)** Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. *Cereal Chemistry* 71:458-460, https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1994/Documents/71_458.pdf
- Soylu S. and A. Tekkanat (2007)** Interaction amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. *Journal of Food Engineering* 80:336-341, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.001>
- Vázquez C. M. G., E. Espitia R. y A. R. Márquez S. (1988)** Potencial de reventado y calidad protéinica del amaranto. In: Investigaciones Recientes sobre Amaranto. T. Reyna Trujillo (coord.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. pp:79-86.
- Venskutonis P. R. and P. Kraujalis (2013)** Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12: 381-412, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12021>
- Zapotoczny P., M. Markowski, M. Majewska, A. Ratajski and H. Konopko (2006)** Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. *Journal of Food Engineering* 76:469-476, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.045>