

## Peso hectolítrico y peso de semilla predicen el volumen de reventado en amaranto

---

Enrique Ortiz-Torres<sup>1,§</sup>  
Adrián Argumedo-Macías<sup>1</sup>  
Roberto Bernal-Muñoz<sup>2</sup>  
Verónica Cepeda-Cornejo<sup>3</sup>  
Oswaldo Rey Taboada-Gaytán<sup>1</sup>

1 Campus Puebla-Colegio de Postgraduados. Boulevard Forjadores de Puebla núm. 205, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. CP. 72760. Tel. 222 2851442. (aadrian@colpos.mx; toswaldo@colpos.mx).

2 Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala. Carretera Federal San Martín-Tlaxcala, San Diego Xocoyucan km 7.5, Tlaxcala, México. CP. 90122. (bernaltlax@yahoo.com.mx).

3 Facultad de Ciencias Biológicas-Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Blvd. Valsequillo y Av. San Claudio, Edificio 1BIO1, Ciudad Universitaria, Col. Jardines de San Manuel, Puebla, México. CP. 72570. Tel. 222 2295500, ext. 3978. (veronica.cepeda@correo.buap.mx).

Autor para correspondencia: [enriqueortiz@colpos.mx](mailto:enriqueortiz@colpos.mx)

---

### Resumen

Los estudios asociados con el volumen de reventado de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) son prácticamente inexistentes. El objetivo fue evaluar la relación entre características de planta y grano crudo con el volumen de reventado del grano reventado. Entre 2018 y 2019 se establecieron cinco ensayos en Puebla, México para evaluar las variedades Nutrisol, Revancha, Gabriela, Laura, Diego, Areli y PQ2 y tres poblaciones locales. Se midieron características de planta, grano crudo y reventado. Se observaron correlaciones positivas y estadísticamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre volumen de reventado (VLRV) con peso hectolítrico (PHL) ( $r = 0.56^{**}$ ) y peso de mil semillas (PMS) ( $r = 0.3^{**}$ ). Asimismo, se halló que PMS y diámetro geométrico de semilla correlacionaron positivamente con volumen de grano reventado con tamaño de 2.38 y 2 mm. Por lo cual PHL y PMS podrían ser usadas para ayudar a predecir el comportamiento del volumen de reventado en genotipos de amaranto.

### Palabras clave:

*Amaranthus hypochondriacus*, peso de grano, peso hectolítrico, volumen de expansión.

---



El amaranto en México es consumido principalmente como grano expandido o reventado (Escobedo-López *et al.*, 2012). El reventado es el aumento del volumen del grano al ser sometido a altas temperaturas (Castro-Giráldez *et al.*, 2012), lo que le confiere mejor sabor, color, aroma e incrementa la calidad de la proteína (Morales *et al.*, 2014). En productos elaborados para su venta por volumen es importante obtener el máximo volumen de grano reventado para incrementar las ganancias económicas, al contar con mayor producto para comercializar.

Sin embargo, poca atención se ha puesto en entender las características de la semilla y del proceso de reventado, que influyen en la obtención de mayores volúmenes de reventado en amaranto. Se conoce que diversas variables influyen en el volumen de expansión y en el tamaño del grano reventado obtenido en amaranto. Entre los factores se encuentran: el ambiente de producción, genotipo (Ortiz-Torres *et al.*, 2018), características físicas de grano (Mishra *et al.*, 2015), composición química del grano (Castro-Giráldez *et al.*, 2012; Mishra *et al.*, 2014) y método de reventado (Mishra *et al.*, 2014; Ramírez-Pérez *et al.*, 2018).

Conocer el grado de asociación entre volumen de reventado con diferentes tipos de grano crudo y de planta, podría ayudar a identificar propiedades altamente relacionadas entre sí. Características como dimensiones de grano, peso de grano, precocidad de plantas o altura de planta serían más fáciles de medir en planta o grano crudo y permitirían la evaluación rápida de un gran número de genotipos. Lo que aumenta las probabilidades de seleccionar genotipos con características de alto volumen de reventado.

Por esta razón, el objetivo del estudio fue evaluar la relación de las características de la planta en campo y de grano crudo con el volumen de expansión y el tamaño del grano reventado de amaranto. Se evaluaron las variedades mejoradas Nutrisol, Revancha, Gabriela, Laura, Diego, Areli y PQ2 y las poblaciones C30 y C2 de la zona de Tochimilco, Puebla, México, y la población del productor local (CrPr) en cuyo sitio se estableció cada experimento.

Los cinco sitios de evaluación fueron Santiago Tochimilco (18° 51' 49.91" latitud norte, 98°37' 17.87" longitud oeste, 2 273 msnm), San Jerónimo Tecuanipan (19° 0' 19.17" latitud norte, 98° 25' 24.21" longitud oeste, 2 167 msnm), San Andrés Calpan (19° 6' 44.6", 98° 24' 12.82" longitud oeste, 2 260 msnm), San Lorenzo Chiautzingo (19° 13' 0.7" latitud norte, 98° 27' 21.37" longitud oeste, 2 344 msnm) y Ciudad Serdán (19° 00' 07.451" latitud norte, 97° 27' 51.689" longitud oeste, 2 520 msnm). Todas en el estado de Puebla, México. En todos los sitios el clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2017).

La parcela experimental consistió de dos surcos de 5 m y 0.8 m entre surcos. El diseño experimental fue bloques al azar con tres repeticiones. En 2018 el establecimiento del cultivo se realizó el 3, 6 y 23 de junio en Tochimilco, Tecuanipan y Calpan, respectivamente. En 2019 la siembra fue el 27 de mayo y 3 de junio en Ciudad Serdán y Chiautzingo, respectivamente. La densidad de población fue 125 000 plantas ha<sup>-1</sup>. La fórmula de fertilización utilizada fue 80N-40P-00K y como fuentes urea y fosfato diamónico.

La fertilización se aplicó en la primera escarda, esto fue a los 30-35 días después de la siembra. La segunda escarda se realizó a los 40-45 días después de la siembra. Todos los ensayos fueron bajo condiciones de temporal. En campo las variables que se midieron fueron: rendimiento de grano (REN), que fue el peso de grano limpio al 10% de humedad y expresado en kg ha<sup>-1</sup>; días a floración masculina (DFM) fue el número de días entre la siembra y cuando 50% de la población presentó antesis. En cinco plantas de cada parcela se determinó altura de planta (APT), que fue la distancia en centímetros del suelo a la punta de la inflorescencia.

Peso hectolítrico (PHL), se determinó con una báscula digital Ohaus YS601, con precisión de 0.1 g, se pesó el grano colocado hasta el enraste en un envase metálico (100 ml<sup>-1</sup>) previamente tarado y se registró en kg hl<sup>-1</sup>. Peso de mil semillas (PMS), reportado en gramos, para lo cual se utilizó una báscula analítica con precisión de 0.1mg (Shimadzu modelo AUW220). En grano se determinó el diámetro y esfericidad. De cada muestra se eligieron diez granos al azar y cada uno fue fijado a un portaobjetos con silicón líquido transparente, fueron visualizadas con un

microscopio óptico de contraste de fases (Motic, BA410E) y se tomaron fotografías con una cámara digital (Jenoptik ProgRes C14 plus).

Posteriormente, cada fotografía se analizó con el programa Progres Grypahx (versión 1.1.10.6 Jenoptik Optical Systems) para determinar: alto de semilla (ALS), ancho de semilla (ANS) y espesor de semilla (ESS), todas expresadas en mm. Con estas variables se definió el diámetro geométrico (Dg), el cual se calculó con la siguiente expresión  $Dg: (ALS \cdot ANS \cdot ESS)^{1/3}$ , en mm. Finalmente, la esfericidad de semilla (ESFE) se calculó al dividir Dg sobre ALS. El resultado es una medida adimensional (Arapa y Padrón-Pereida, 2014).

El reventado se efectuó en una muestra de semillas con peso de 15 g y se realizó por duplicado. Primero, el contenido de humedad del grano se ajustó a 12% (Ramírez-Pérez *et al.*, 2018). Posteriormente, la muestra se sometió a altas temperaturas para obtener el reventado, mediante un secador de lecho fluidizado (Modulo reventador de semilla de amaranto, modelo REVCP-1, Colegio de Postgraduados) con aire caliente a 232 °C (Argumedo-Macias, 2019). Las muestras de 2018 se reventaron en febrero de 2019 y las de 2019 en febrero de 2020. Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Campus Puebla del Colegio de Postgraduados ubicado en Cholula, Puebla, México.

El grano reventado obtenido se pasó por el tamiz de pruebas físicas número 16 con 1.19 mm de apertura (Montinox, México) y se determinaron las siguientes variables: peso de grano no reventado (PNRV) es el peso (g) del grano reventado y no reventado que paso por el tamiz 16, volumen de grano reventado (VLRV) es volumen (ml) del grano reventado que quedó sobre el tamiz 16. Para determinar el tamaño del grano reventado (conocido en México como 'palomita'), la muestra se pasó por los tamices de pruebas físicas (Montinox, México) número 8, 10 y 16 que tienen una abertura de 2.38, 2 y 1.19 mm, respectivamente.

Con lo cual se obtuvieron las variables: volumen de grano reventado del tamiz 8 (VLT8), volumen de grano reventado del tamiz 10 (VLT10) y volumen de grano reventado del tamiz 16 (VLC16) que es el volumen (ml) del grano reventado que quedó sobre el tamiz 8, 10 y 16, respectivamente. Para determinar el grado de asociación entre las variables de grano crudo, grano reventado y agronómico se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r). En el análisis se utilizó el programa SAS versión 9.0 (SAS Institute, 2004).

Los resultados del análisis de correlación entre las variables evaluadas se presentan en el Cuadro 1. Se observa que el VLRV correlacionó de forma positiva y estadísticamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) con variables agronómicas, como son DFM ( $r = 0.56^{**}$ ), PHL ( $r = 0.56^{**}$ ) y PMS ( $r = 0.3$ ). Lo que significa que variedades más tardías, con alto PHL y PMS presentaron mayor volumen de expansión. En maíz palomero (Pordesimo *et al.*, 1990) y sorgo (Mishra *et al.*, 2015) se ha reportado que granos de mayor peso producen mayores volúmenes de expansión. Por su asociación con el volumen de expansión de grano reventado ( $r = 0.56$  y  $0.3$ ), las variables PHL y PMS pudieran ser una forma de evaluar el potencial de reventado de genotipos de amaranto en forma indirecta.



**Cuadro 1. Coeficientes de correlación lineal entre las variables evaluadas.**

	PNRV	VLC8	VLC10	VLC16	Dg	ESFE	DFM	APT	PHL	PMS	REN
VLRV	-0.58**	0.48**	0.78**	-0.35**	0.21*	-0.05	0.56**	0.2*	0.56**	0.3**	0.21**
PNRV	1	-0.15	-0.35**	0.01	-0.01	-0.1	-0.56**	-0.17*	-0.78**	-0.19*	-0.29**
VLC8		1	0.46**	-0.72**	0.55**	-0.05	-0.08	0.12	0.16	0.666**	-0.176*
VLC10			1	-0.76**	0.53**	-0.11	0.42**	0.1	0.42**	0.66**	0.06
VLC16				1	-0.75**	0.11	0.04	-0.02	-0.11	-0.89**	0.21*
Dg					1	-0.01	-0.06	-0.12	0.01	0.8**	-0.28**
ESFE						1	0.19*	0.08	-0.11	0	0.14
DFM							1	-0.2*	0.55**	0.02	0.13
APT								1	0.02	-0.05	0.74**
PHL									1	0.16*	0.15
PMS										1	-0.25**

\*\* = significativo al 0.01 de probabilidad; \* = significativo al 0.05 de probabilidad; VLRV= volumen de grano reventado; PNRV= peso de grano no reventado; VLC8= volumen de grano reventado retenido en tamiz 8; VLC10= volumen de grano reventado retenido en tamiz 10; VLC16= volumen de grano reventado retenido en tamiz 16; Dg= diámetro geométrico; ESFE= esfericidad de semilla; DFM= días a floración media masculina, APT= altura de planta; PHL= peso hectolítrico; PMS= peso de mil semillas; REN= rendimiento de grano.

El VLRV correlacionó negativamente ( $r = -0.58^{**}$ ) con PNRV. Esta relación se explica porque los volúmenes máximos de reventado se obtuvieron de muestras con mayor cantidad de granos reventados y por ende, menor porcentaje de granos no reventados. Este mismo comportamiento se ha reportado también en maíz palomero (Dofing *et al.*, 1990; Soyly y Tekkanut, 2007). Asimismo, VLRV correlacionó positivamente con VLT8 ( $r = 0.45^{**}$ ), VLT10 ( $r = 0.78^{**}$ ) y de manera negativa con VLT16 ( $r = -0.35^{*}$ ), por lo cual se asoció un valor alto en volumen de expansión con mayores cantidades de grano reventado de tamaño mediano y grande. Esto mismo ha sido observado en maíz palomero por Dofing *et al.*, (1990); Soyly y Tekkanut (2007).

Referente a las variables de tamaño de grano reventado y variables agronómicas se observa (Cuadro 1) que PHL correlacionó positivamente con VLT10 ( $r = 0.42^{**}$ ) y correlacionó negativamente con PNRV ( $r = -0.78^{**}$ ). Lo que representa que en variedades con alto PHL se observan más granos que revientan en tamaño mediano de palomita y menos de tamaño chico, por lo tanto, muestran un mayor volumen de grano reventado.

La variable agronómica DFM correlacionó positivamente con VLT10 ( $r = 0.42^{**}$ ) y negativamente con PNRV ( $r = -0.56^{**}$ ), lo que muestra que variedades más tardías presentaron mayor cantidad de granos que revientan y mayor volumen de grano reventado de tamaño mediano. También DFM correlacionó con PHL ( $r = 0.55^{**}$ ). Este comportamiento se explica porque las plantas más tardías presentan granos más grandes y de mayor peso, porque tuvieron más hojas y tiempo para el llenado de grano en comparación con las plantas más precoces, como lo mostraron en maíz Capristo *et al.* (2007).

La variable que mejor se relacionó con el volumen de los diferentes tamaños de grano reventado fue el PMS, debido a que PMS correlacionó de forma positiva y estadísticamente significativa ( $p \# 0.01$ ) con VLT8 ( $r = 0.67^{**}$ ) y VLT10 ( $r = 0.66^{**}$ ) y de forma negativa y significativa con VLT 16 ( $r = -0.89^{**}$ ). Este comportamiento significa que, con grano de mayor peso se obtuvieron mayores rendimientos de grano expandido de tamaño mediano y grande. Algo similar se ha encontrado en maíz palomero por Dofing *et al.* (1990); Pordesimo *et al.* (1990); Song y Eckhoff (1994).

Sin embargo, Dofing *et al.* (1990) resalta que no siempre existe un incremento en volumen de expansión en grano de tamaño grande debido a que observó decremento en número de granos crudos en un mismo peso. Entonces concluyen que el tamaño de grano *per se* no es el único

factor asociado a un alto volumen de expansión. Sin embargo, el PMS puede ser una forma indirecta de evaluar la calidad del grano reventado en diferentes genotipos de amaranto, esto es así porque el grano crudo de mayor tamaño proporciona una alta proporción de palomita grande.

Por otro lado, el PMS presentó un índice de correlación positivo y estadísticamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) con Dg ( $r = 0.8^{**}$ ). Al mismo tiempo, la variable Dg correlacionó de modo positivo y significativo ( $p \leq 0.01$ ) con VLT8 ( $r = 0.55^{**}$ ) y VLT10 ( $r = 0.53^{**}$ ) y de forma negativa y significativa ( $p \leq 0.01$ ) con VLT16 ( $r = -0.75^{**}$ ). Con base en lo anterior, otro modo indirecto de predecir el tamaño del grano reventado a conseguir, puede ser la medición de cualquiera de las dimensiones del grano, debido a que muestran una buena relación con el tamaño de la 'palomita' obtenida.

Se ha reportado en maíz que la esfericidad de la semilla influye en el volumen de expansión (Pordesimo *et al.*, 1990). Sin embargo, en este trabajo no se observó correlación entre esfericidad y volumen de expansión. Este comportamiento puede deberse a que la forma de la semilla de amaranto es más esférica que el grano de maíz y no hay muchas diferencias entre variedades.

## Conclusiones

Las características de la semilla que se asociaron con volumen de reventado y específicamente al tamaño del grano reventado fueron diámetro geométrico y peso de mil semillas. Las características agronómicas relacionadas con el volumen de reventado fueron peso hectolítrico y días a floración masculina. Peso hectolítrico y peso de mil semillas, pueden ser usadas para predecir el comportamiento del volumen de expansión en genotipos de amaranto, dado que a mayor peso de semilla y peso hectolitro hay un mejor volumen de reventado.

## Bibliografía

- 1 Arapa, C. P. y Padrón-Pereira, C. A. 2014. Determinación de características físicas en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) mediante procesamiento digital de imágenes. Rev. Venez. Cienc. Tecnol. Alim. 5(2):148-165.
- 2 Argumedo-Macías, A. 2019. Reventadora de semilla de amaranto (*Amaranthus* sp.). Agroproductividad. 12(11):111-113. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1541>.
- 3 Capristo, P. R.; Rizzalli, R. H. and Andrade, F. H. 2007. Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity. Agron. J. 99(4):1111-1118. doi:10.2134/agronj2006.0360.
- 4 Castro-Giráldez, M.; Fito, P. J.; Prieto, J. M.; Andrés, A. M. and Fito, A. P. 2012. Study of the puffing process of amaranth seeds by dielectric spectroscopy. J. Food Eng. 110(2):298-304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.04.012>.
- 5 Dofing, S. M.; Tomas-Compton, M. A. and Buck, J. S. 1990. Genotype X popping method interaction for expansion volume in popcorn. Crop Sci. 30(1):62-65. <https://dl.sciencesocieties.org/publicatio/cs/pdfs/30/1/CS0300010062>.
- 6 Escobedo-López, D.; Ayala-Garay, A. V. y Campos-Silva, G. 2012. Formas de consumo del amaranto en México. Ed. Amaranto: Ciencia y Tecnología. INIFAO/SINAREFI. México, DF. 341-354.
- 7 INEGI. 2017. Instituto Nacional de Geografía e Informática. Anuario estadístico y geográfico de Puebla. Aguascalientes, México. 943 p.
- 8 Mishra, G.; Joshi, D. C. and Panda, B. K. 2014. Popping and puffing of cereal grain: a review. J. Grain processing storage. 1(2):34-46. <http://www.jakraya.com/journal/pdf/2-jgpsArticle-1.pdf>.

- 9 Mishra, G.; Joshi, D. C.; Mohapatra, S. and Babu, V. B. 2015. Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum. *J. Cereal Sci.* 65(1):19-24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.00>.
- 10 Morales, G. J. C.; Vázquez, M. N. y Bressani, C. R. 2014 *El amaranto: características y aporte nutricio*. 2<sup>da</sup> Ed. Trillas. 131 p.
- 11 Ortiz-Torres, E.; Argumedo-Macías, A.; García-Perea H.; Meza-Varela, R.; Bernal-Muñoz, R. y Taboada-Gaytán, O. R. 2018. Rendimiento y volumen de expansión de grano de variedades mejoradas de amaranto para Valles Altos de Puebla. *Rev. Fitotec. Mex.* 41(3):291-300. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61059021009>.
- 12 Pordesimo, L. O.; Anantheswaran, R. C.; Fleischmann, A. M.; Lin, Y. E. and Hanna, M. A. 1990. Physical properties as indicators of popping characteristics of microwave popcorn. *J. Food Sci.* 55(5):1352-1355. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03934.x>.
- 13 Ramírez-Pérez, A. R.; Ortiz-Torres, E.; Argumedo-Macías, A.; O-Olán, M.; Jacinto-Hernández, C.; Ocampo-Fletes, I. y Díaz-Ruiz, R. 2018. Método para evaluar reventado de grano en amaranto. *Rev. Mex. Cien. Agri.* 9(3):675-682. <http://dx.doi.org/10.29312/remexca.v9i3.1224>.
- 14 SAS Institute. 2004. *SAS/SATA 9.9. User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC. 1731-1900 pp.
- 15 Song, A. and Eckhoff, S. R. 1994 Optimum popping moisture content for popcorn kernels of different sizes. *Cereal Chem.* 71(5):458-460. <https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1994/Documents/71-458.pdf>.
- 16 Soyulu, S. and Tekkanat, A. 2007. Interaction amongst kernel properties and expansion volume in various popcorn genotypes. *J. Food Eng.* 80(1):336-341. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.001>.



## Peso hectolítrico y peso de semilla predicen el volumen de reventado en amaranto

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 July 2023
Date accepted: 01 August 2023
Publication date: 01 September 2023
Publication date: August 2023
Volume: 14
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e3025
DOI: 10.29312/remexca.v14i6.3025

### Categories

Subject: Nota de investigación

### Palabras clave:

**Palabras clave:**

Amaranthus hypochondriacus

peso de grano

peso hectolítrico

volumen de expansión

### Counts

Figures: 0

Tables: 1

Equations: 0

References: 16

Pages: 0