

Evaluación de la capacidad de reventado de genotipos de amaranto y parámetros genéticos

Eduardo Espitia-Rangel¹

Azalia Lozano-Grande^{2,§}

Miriam J. Aguilar-Delgado³

Miriam G. Valverde-Ramos¹

Lucila González-Molina¹

Eliel Martínez-Cruz¹

1 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250.

2 Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez. Av. Universidad Tecnológica # 1000, Col. Tierra Negra, Xicotepec de Juárez, Puebla. CP. 73080.

3 Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-Universidad Autónoma de Chihuahua. Calle La Presa de la Amistad núm. 2015, Barrio La presa, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. CP. 31510.

Autor para correspondencia: mariaazalia.lozano@utxicotepec.edu.mx.

Resumen

Actualmente existe el interés a nivel mundial por aprovechar las características agronómicas y nutritivas de super alimentos como el amaranto, en México se consume reventado por lo que es importante dilucidar los factores que influyen en esta capacidad para su mejor aprovechamiento. Por lo que el objetivo fue evaluar la capacidad de reventado de 12 genotipos de amaranto, la variabilidad genética, heredabilidad y la asociación de variables de calidad industrial con el volumen de reventado. El experimento se desarrolló en las localidades de Santa Lucía de Prías y Boyeros, Estado de México y Cuapixtla, Tlaxcala en los años 2019 y 2020. El genotipo más destacado en volumen de reventado fue Tlahuicole, seguido por AGIM ambos tuvieron el mayor incremento (6 y 5.93) respectivamente. Se observó que la variación debida a efectos ambientales fue la principal fuente en 4 de las 5 variables estudiadas, tal variación no es capitalizable en esquemas de selección; por otro lado, peso de mil granos fue la variable que presentó la variación más alta debida a efectos genéticos (65.96%), la cual es capitalizable en un esquema de selección. Las variables diámetro de semilla, volumen de reventado e incremento de volumen, presentaron una variación debida a efectos genéticos entre 4.46 y 6.5%, si se quiere iniciar un esquema de selección se deberá incluir germoplasma con mayor variabilidad en estos caracteres. La asociación significativa entre diámetro de semilla y peso semilla sin reventar indica que estos caracteres que pueden utilizarse como criterios de selección el volumen de reventado.

Palabras clave:

Amaranthus, correlaciones, heredabilidad, reventado, variabilidad genética.

Introducción

Dado que la demanda mundial de alimentos aumenta constantemente, los cereales menores y las proteínas de pseudocereales ganan cada vez más atención (Guerrieri y Cavaletto, 2018). El amaranto es un pseudocereal de cultivo multipropósito con buen potencial de explotación de grano, verdura y forraje, el cultivo tiene altos niveles de proteínas (14-17%) y minerales, comparado con otros cereales como sorgo, arroz, trigo y maíz (Mustafa *et al.*, 2011).

Actualmente se han documentadas 70 especies de *Amaranthus*, entre estas se encuentran *Amaranthus hypochondriacus* L., *Amaranthus cruentus* L. y *Amaranthus caudatus* L., las cuales son las principales especies productoras de grano (Trucco y Tranel, 2011). El grano de amaranto es de amplio uso alimenticio en el país, el más conocido es como grano reventado para la elaboración de dulces tradicionales conocidos como 'alegría', palanquetas, granola, galletas y hojuelas.

Es rico en aminoácidos esenciales como la lisina y metionina (Januszewska y Synowiecki, 2008), no contiene gluten (Aderibigbe *et al.*, 2022) y contiene escualeno, un terpenoide que ayuda a reducir los niveles de colesterol en el cuerpo (Shin *et al.*, 2004). El reventado es un proceso que se lleva a cabo bajo presión de vapor. Los microporos presentes en la estructura del grano hacen que el vapor se expulse a alta presión debido a que estos se expanden o inflan. El inflado del grano da como resultado una estructura porosa que aumenta su sabor y aroma (Nath *et al.*, 2007).

Sin embargo, la calidad del reventado está en riesgo cuando durante el proceso se trabaja con temperaturas inadecuadas y con semillas inmaduras derivadas de inflorescencias indeterminadas y plantas susceptibles al acame. Por lo que es necesario realizar investigaciones enfocadas a estudiar el efecto del genotipo y el ambiente en el reventado de grano de amaranto, con la finalidad de determinar los mejores genotipos para dichos ambientes y las respectivas características de calidad del grano cosechado y su procesamiento.

El reventado está influenciado por el genotipo, por el tamaño de semilla y por el método de reventado (Vázquez *et al.*, 1988), dentro del genotipo se tiene la variante de variedades con almidón aglutinante y no aglutinante, determinado por tipo de perispermo, el cual está en función de la composición del almidón e influye en las propiedades fisicoquímicas del mismo y en la capacidad de reventado de la semilla de amaranto, genotipos de perispermo opaco revientan mejor que los cristalinos (Aguilar *et al.*, 2022).

Los métodos convencionales de mejoramiento de autógamias, de una manera general, llevan a una reducción progresiva e intensa de las oportunidades de recombinación genética, lo que da como resultado una reducción de la variabilidad genética y restricción de las ganancias de selección. Además de esto, se ha verificado, un estrechamiento excesivo de la base genética de las poblaciones utilizadas (Servellón, 1996). La heredabilidad y el avance genético son parámetros de selección importantes, que al estudiarlos permiten la evaluación e identificación de genotipos superiores (Tasiguano *et al.*, 2019).

Los valores de heredabilidad ayudan en la selección de genotipos destacados de diversas poblaciones genéticas. El avance genético mide la cantidad de progreso que se podría esperar con la selección. En la mejora de poblaciones solo el componente genético aditivo se transmite a la siguiente generación. El nivel de mejoramiento depende también del rigor de la selección y el avance genético obtenido de la población (Lovely y Vijayaraghava, 2017).

En contraste, la selección de variedades adecuadas se dificulta debido a los diferentes niveles de respuesta de estas al ambiente (Ferreira *et al.*, 2006). Sin embargo, es necesario identificar cuales variedades presentan alto rendimiento de grano, características agronómicas idóneas para cierto ambiente y alto volumen de expansión de grano reventado (Ortiz *et al.*, 2018). Por lo que el objetivo de la presente investigación fue evaluar genotipos de amaranto por su capacidad de reventado, además de la variabilidad genética, heredabilidad y la asociación de variables de calidad que favorezcan el volumen de reventado.

Materiales y métodos

Material biológico

En la investigación se utilizaron los genotipos tardíos Tlahuicole, L-4, Areli, Determinada y L-145, los genotipos intermedios Nutrisol y AGIM y los genotipos precoces Revancha, Chichiltic de *A. hypochondriacus*; los genotipos Benito y Amaranteca de la especie *A. cruentus*, además del genotipo precoz Huitzilín obtenido de la cruce *hypochondriacus/ hybridus/ hypochondriacus*.

Ambientes de evaluación

El experimento fue evaluado en las localidades de Santa Lucía de Prías y Boyeros en el Estado de México, así como en Cuapiaxtla Tlaxcala. En la primera localidad se estableció en dos años (2019 y 2020) y dos fechas de siembra, lo que da un total de seis ambientes (Cuadro 1). Las siembras se realizaron con las recomendaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para el cultivo. Una vez alcanzada la madurez fisiológica se cortaron las plantas y se engavillaron hasta que se secaron. Posteriormente se cosecharon con una trilladora Pulman. La semilla de cada parcela útil se guardó en bolsa de papel hasta su utilización en las pruebas de reventado en 2021.

Cuadro 1. Ambientes de evaluación de 12 genotipos de amaranto.

Ambiente	Fecha de siembra	Altitud (m)	Tipo de suelo	Precipitación (mm)
Santa Lucía 16 1F, Edo. Méx.	7 de junio	2 259	Franco-arenoso	344.5
Santa Lucía 16 2F, Edo. Méx.	29 de junio	2 259	Franco-arenoso	270.4
Cuapiaxtla, Tlax.	18 de mayo	2 466	Franco-arenoso	446.3
Santa Lucía 17 1F, Edo. Méx.	28 de mayo	2 259	Franco-arenoso	352.4
Santa Lucía 17 2F, Edo. Méx.	30 de junio	2 259	Franco-arenoso	299.8
Boyeros, Edo. Méx.	29 de junio	2 250	Franco-arcilloso	350.2

Limpieza y acondicionamiento de muestras

Para la limpieza del grano se utilizaron dos cribas No. 10 y 12) y después por una sopladora, la cual a través de flujo de aire elimina las impurezas de menor peso, así las semillas de amaranto quedaron casi limpias, posteriormente se pasan por la criba No.16 para eliminar las impurezas sobrantes. Para el acondicionamiento del grano, se tomaron 30 g de semilla de amaranto de cada unidad experimental, se midió el volumen y se colocaron en un frasco de vidrio con tapa. Se determinó el contenido de humedad y se agregó el agua suficiente para llevar el grano a 14%de humedad. Se reposaron por 14 h, pasado este tiempo se dejaron al aire por dos horas para retirar el exceso de humedad y evitar aglomeraciones en el reventador.

Proceso de reventado

Para realizar este proceso se utilizó un mini- reventador eléctrico para grano de amaranto de la marca Amaranta[®] M15 (San Miguel de Proyectos Agropecuarios, Huichapan, Hgo.), ubicado en la sala de estufas de los laboratorios de calidad del Campo Experimental Valle de México. Este equipo tiene como principio de operación un sistema de lecho fluidizado con una corriente de aire a alta temperatura. El grano de amaranto se dosificó directamente a la corriente de aire caliente.

Inicialmente se enciende el motor del mini-reventador en la caja de control, se dejó encendido de 15-30 s para verificar que no existiera fuga de aire, posteriormente se giró el potenciómetro al 7.5% de flujo de aire, a continuación, se programó la temperatura en el pirómetro a 240 °C, y se encendió la resistencia para llegar a la temperatura deseada. A continuación, se agregaron los granos en la tolva de grano y se abrió la válvula de dosificación a 65%, hasta que terminó de pasar toda la semilla por los conos de fluidización. Se recogieron las semillas reventadas en un recipiente, se dejaron enfriar en bolsas de papel, para después tomar muestras del volumen y peso del grano reventado, así como el peso de la merma para registrar y obtener los rendimientos de cada unidad experimental.

Variables estudiadas

Las variables estudiadas fueron peso de mil granos, el cual fue evaluado mediante el conteo cinco sets 100 granos y se pesaron en una balanza analítica y el peso se multiplicó por 10. Se determinó el diámetro de semilla a través de la medición en mm de 10 semillas al azar de cada unidad experimental con un vernier digital (Whitworth). Se calculó el peso de semilla sin reventar del grano en g que pasó la criba No. 16 a la salida de la reventadora. El volumen de reventado se midió en una bureta graduada (Kimax Kimble) del grano reventado que se retuvo en una criba No. 16, y se estimó el incremento de volumen, el cual es el número de veces que aumentó el volumen de reventado en comparación con el volumen inicial de 30 g de semilla sin reventar.

Estimación de parámetros genéticos y análisis de datos

En el modelo de los análisis estadísticos se consideró a los genotipos y los ambientes como efectos aleatorios. El análisis de varianza se hizo con el procedimiento GLM del SAS (SAS Institute, 2012) y la comparación de medias por el método de Tukey ($p \leq 0.05$). Las varianzas para la estimación de parámetros genéticos se obtuvieron mediante el procedimiento Varcom del SAS mediante el método REML (SAS, 2012). Se realizó un análisis de correlación del rendimiento y sus componentes a través del procedimiento CORR del SAS (SAS Institute, 2012).

El coeficiente de variación genética se calculó por medio del cociente de la desviación estándar genética entre la media. Coeficientes mayores a 20 se clasificaron como de variabilidad genética alta, de 12 a 20, intermedia y menores de 10, baja (Villaseñor *et al.*, 2017). El amaranto es una planta autógama, por ello la varianza genética del material evaluado fue entre genotipos homogocigóticos. La heredabilidad se calculó en sentido estrecho, la cual se obtuvo al dividir la varianza genética entre la varianza fenotípica.

Resultados y discusión

En el Cuadro 2 se muestran los cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables en estudio. Se detectaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.1$) para ambientes en todas las variables analizadas. Para genotipos solo hubo diferencias altamente significativas ($p \leq 0.1$) en peso de mil granos, volumen de reventado e incremento de volumen. Para la interacción genotipo ambiente las variables peso de mil granos, diámetro de semilla, volumen de reventado e incremento de volumen resultaron altamente significativas ($p \leq 0.1$).

Cuadro 2. Cuadrados medios para 12 genotipos de amaranto evaluados en seis ambientes de los Valles Altos del Centro de México.

Fuente de variación	gl	Peso de mil granos (g)	Diámetro de semilla (mm)	Peso de semilla sin reventar (g)	Volumen de reventado (cm ³)	Incremento de volumen
Ambiente (A)	5	0.015**	0.123**	22.786**	10143.6**	11.935**
REP(A)	15	0.005	0.019	13.365	1292.7	1.177
Genotipo (G)	11	0.108**	0.019 ns	3.594 ns	2999.3**	2.702**

Fuente de variación	gl	Peso de mil granos (g)	Diámetro de semilla (mm)	Peso de semilla sin reventar (g)	Volumen de reventado (cm ³)	Incremento de volumen
A*G	46	0.004**	0.008**	3.495 ns	2016.4	1.894**
Error	140	0.002	0.004	3.225	1290.7	1.022

* , ** = diferencias significativas a $p \leq 0.05$ y $p \leq 0.01$, respectivamente; ns= diferencias no significativas.

El genotipo, el ambiente y su interacción juegan un papel importante en la expresión final del rendimiento de grano y atributos de calidad (Kaya y Akcura, 2014). Dicha interacción indicó que los genotipos se desempeñaron de manera diferente en diferentes ambientes y que los genotipos deben seleccionarse para adaptarse a ambientes específicos.

En el Cuadro 3, se observa la comparación de medias entre localidades en cada uno de los ambientes. Al analizar la influencia del ambiente de las diferentes localidades se observa que éste influyó sobre el peso de mil granos, diámetro de semilla y volumen de reventado. El ambiente que resultó con un mayor peso en mil granos fue el de Cuapiaxtla (0.813 g) y los de menor peso fueron Santa Lucía 2017 en las dos fechas de siembra (0.753 con y 0.746 sin), las semillas con mayor diámetro se encontraron en los ambientes de Santa Lucía 16 2F fecha y Santa Lucía 17.

Cuadro 3. Comparación de medias por ambiente para 12 genotipos de amaranto evaluados en los Valles Altos del centro de México.

Ambiente	Peso de mil granos (g)	Diámetro de semilla (mm)	Peso de semilla sin reventar (g)	Volumen de reventado (cm ³)	Incremento de volumen
Santa Lucía 16 1F	0.771 bc	1.213 cd	4.632 b	210.6 a	6.28 ab
Santa Lucía 16 2F	0.77 bc	1.321 a	6.194 a	169.9 c	5.01 cd
Cuapiaxtla, Tlax.	0.813 a	1.238 bc	6.513 a	168.4 c	4.9 d
Santa Lucía 17 con	0.753 c	1.168 d	4.622 b	214 a	6.45 a
Santa Lucía 17 sin	0.746 c	1.357 a	6.225 a	171.3 c	4.99 cd
Boyeros, Mex	0.786 ab	1.27 b	4.757 b	186.9 bc	5.67 bc
dmh	0.03	0.049	1.32	26.8	0.75

Medias con la misma letra por columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p = 0.05$).

El ambiente que presentó un mayor volumen de reventado fue Santa Lucía 2017 con (214 cm³). La localidad menos propicia para el volumen de reventado de amaranto fueron Cuapiaxtla y Santa Lucía 2017 sin, mientras que Santa Lucía 16 1F fue el ambiente más favorable para incremento de volumen (6.45). Según Guy (2001) los granos reventados generalmente deben contener más de 60% de almidón para asegurar la expansión deseada, de manera que cualquier daño estructural del perispermo afecta al proceso de expansión y esto puede producir dos efectos: el no reventado del grano o la reducción del volumen final del producto expandido (Tandjung *et al.*, 2005), esta información coincide con los resultados de en esta investigación.

Por lo que la relación entre el ambiente y el efecto en las variables estudiadas puede deberse a que se acorta el ciclo de asimilación de carbono y el periodo de llenado de grano (Awasthi *et al.*, 2014), lo que produce semillas más pequeñas. En el Cuadro 4 se observa la comparación de medias por genotipo. Tlahuicole, Revancha, Areli, Determinada y L145 presentaron un mayor peso de mil granos (0.871 a 0.838 g), contrario al genotipo Chichiltic que fue el de menor peso (0.661 g), seguido por AGIM (0.685 g).

Cuadro 4. Comparación de medias por genotipo para 12 genotipos de amaranto.

Genotipo/variable	Peso de mil granos (g)	Diámetro de semilla (mm)	Peso de semilla sin reventar (g)	Volumen de reventado (cm ³)	Incremento de volumen
Tlahuicole	0.838 a	1.293 ab	5.214 a	203.3 a	6.007 a
AGIM	0.685 de	1.246 bc	5.456 a	202.8 a	5.933 a
L-4	0.716 cd	1.279 abc	5.563 a	198 a	5.958 a
Revancha	0.868 a	1.312 ab	4.809 a	194.1 a	5.831 a
Areli	0.879 a	1.347 a	4.124 a	193.4 a	5.841 a
Nutrisol	0.714 cd	1.241 bc	5.618 a	190.2 a	5.651 ab
Huitzilín	0.738 bc	1.287 abc	5.802 a	181.5 a	5.437 ab
Determinada	0.879 a	1.291 abc	5.713 a	181 a	5.365 ab
Chichiltic	0.661 e	1.21 c	6.247 a	177.9 a	5.265 ab
Benito	0.781 b	1.234 bc	5.948 a	173.4 a	5.218 ab
Amaranteca	0.731 bcd	1.255 bc	5.898 a	164.2 a	4.969 ab
L145	0.871 a	1.295 ab	5.62 a	160.6 b	4.507 b
dmh	0.051	0.084	2.26	41	1.288

Medias en hileras con las mismas letras son estadísticamente iguales, dmh diferencia mínima significativa honesta.

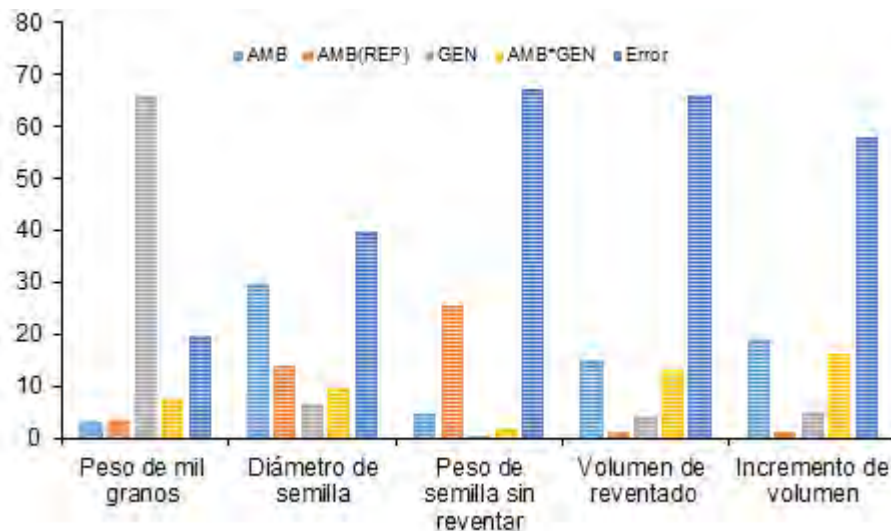
El genotipo de mayor diámetro de semilla fue Areli (1.347 mm) y los de menor diámetro fueron Chichiltic, Benito y Amaranteca. En la variable volumen de reventado todas las variedades mostraron un buen rendimiento, excepto el genotipo L145, aunque todas están dentro del rango aceptable. En incremento de volumen el genotipo más destacado fue Tlahuicole seguido por AGIM ambos tuvieron el mayor incremento en volumen de reventado (6 y 5.93), respectivamente.

El análisis de diferentes genotipos en diferentes ambientes permite determinar el potencial agronómico para cada uno de ellos con la finalidad de obtener los mejores rendimientos y características de industrialización. En este sentido según Bishaw *et al.* (2007), las semillas obtenidas de diferentes áreas geográficas se modifican en su viabilidad por las condiciones presentes al momento de su formación, desarrollo y maduración.

La deficiencia de agua (Dornbos *et al.*, 1989; Ghassemi *et al.*, 1997), de minerales y las temperaturas extremas (Grass y Burris, 1995) son los más comunes y de mayor efecto en la calidad de la semilla. En contraste, no se asocia al genotipo con el diámetro de semilla y peso de semilla sin reventar. Sólo esta última variable no muestra significancia en la interacción genotipo ambiente. Por lo que es importante determinar y cuantificar como influyen los factores ambientales y la interacción genotipo ambiente en la variación en cada parámetro de calidad de granos (Kaya y Akcura, 2014).

En la Figura 1 se presenta el origen de la variación de las características estudiadas. Se puede observar que la variación debida a efectos ambientales fue la principal fuente de 4 de las 5 variables estudiadas; lo anterior coincide con estudios reportados en otros cultivos (Papastilianou *et al.*, 2021). Peso de mil granos fue la que expuso la variación más alta debida a efectos genéticos (65.96%), lo que significa que esta variabilidad genética podría ser capitalizada en un esquema de selección.

Figura 1. Proporción de la variabilidad por fuente de variación en 12 genotipos de amaranto evaluados en seis ambientes de temporal en la Mesa Central. AMB= ambiente; AMB(REP)= repeticiones dentro de ambiente; GEN= genotipos; AMB*GEN= interacción ambiente por genotipo.



Esta variable es importante porque se relaciona con granos más pesados, es decir, granos con mayor almacenamiento de almidón, el cual representa alrededor de 63% del contenido de la semilla, y se asocia con el rendimiento de grano, dicho carácter, está estrechamente vinculado con la radiación solar y acumulación de materia seca en la planta, es decir también existe un efecto ambiental. Por otro lado, algunas investigaciones demuestran que el contenido de almidón tiene conexión con el volumen de reventado, por lo que las características fisicoquímicas tienen una función importante en la calidad del reventado, por lo tanto, esto de igual modo influye en que algunos granos no revienten (Núñez Limón, 2018).

Para las variables diámetro de semilla, volumen de reventado e incremento de volumen, presentaron una variación por efectos, genéticos entre 4.46 y 6.5%, mientras que, la variable peso de grano sin reventar mostró solamente una variación consecuencia de los efectos genéticos del 0.55%. Por ende, la variación de estas cuatro variables fue preponderantemente debida a efectos ambientales; donde la mayor fue a causa de ambientes en diámetro de semilla (29.87%) e incremento de volumen (18.99%).

Es destacable la magnitud de la variación debida al error experimental, esto pudo ocurrir por la baja variabilidad genética en los caracteres estudiados. Lo cual se puede explicar por el alto porcentaje de autopolinización que ocurre en la planta (Agong y Ayiecho, 1991) y porque el flujo génico entre las especies se ve muy limitado (Ruiz *et al.*, 2018).

En relación con los efectos debidos a la interacción genotipo ambiente, esta fue mayor en incremento de volumen (16.4%) y volumen de reventado (13%), para diámetro de semilla fue media (9.8%), mientras que para peso de mil granos (7.3%) y peso de semilla sin reventar (1.9%) fue baja. La variación debida a la interacción fue menor que la de las dos fuentes principales y menor al 20%. La similitud en los ambientes, caracterizado por precipitación similar y la inclusión de sólo dos localidades de Valles Altos de México con poca variación longitudinal, altitud y latitud, podría ser la causa para entender la baja variación de la interacción genotipo ambiente.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos del coeficiente de variación genética y heredabilidad para las variables evaluadas. Las variables diámetro de semilla (0.065), peso de semilla sin reventar (0.006), volumen de reventado (0.045) e incremento de volumen (0.053) presentaron valores bajos de heredabilidad lo que indica que existe una influencia del ambiente

al presentar valores cercanos a cero. Joshi y Rana (1992) encontraron valores altos (0.6 a 0.76) para diferentes genotipos de *A. hypochondriacus*, para variables como altura de planta y longitud de inflorescencia y valores intermedios (0.26 a 0.47) para rendimiento (Pandey, 1982).

Cuadro 5. Medias y rangos para variables por genotipo de 12 variedades de amaranto cultivados en los Valles Altos de México.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Coefficiente de variación genética	Heredabilidad
Peso de mil granos (g)	0.775	0.502	0.98	9.9	0.66
Diámetro de semilla (mm)	1.267	1.058	1.471	2.1	0.065
Peso de semilla sin reventar (g)	5.586	2.01	13.84	2.9	0.006
Volumen de reventado (cm ³)	184.912	68	298	5	0.045
Incremento de volumen	5.48	1.5	8.765	5.5	0.053

Los fitomejoradores utilizan estimaciones de heredabilidad para determinar la influencia de los factores ambientales y genéticos en el rasgo de interés y elegir el procedimiento de selección que debe ser implementado para hacer mejoras a los cultivos (Kaya y Akcura, 2014).

Conocer las correlaciones entre las variables y la heredabilidad de los mismos, permite mejorar la eficiencia de los programas de selección. Frecuentemente las correlaciones dependen de las heredabilidades, de tal modo que, si ambos caracteres correlacionados presentan heredabilidades bajas, la correlación fenotípica estará determinada principalmente por la correlación ambiental; pero si tienen heredabilidades altas entonces la correlación genética es la más importante (Falconer, 1984).

Por lo que para las variables evaluadas solo el peso de mil granos está determinado por el genotipo (Cuadro 5) y el cual se puede aprovechar para realizar mejoramiento genético y aumentar la eficiencia de los programas de selección. En el Cuadro 6 se observaron correlaciones bajas negativas entre las diferentes variables excepto para diámetro de semilla y peso de mil granos, lo que indica que el diámetro influye sobre el peso de mil granos y el volumen de reventado favorece el incremento de volumen.

Cuadro 6. Correlaciones de Pearson para 12 genotipos de amaranto evaluados en los Valles Altos del Centro de México.

Variabes	Diámetro de semilla	Peso de semilla sin reventar	Volumen de reventado (cm ³)	Incremento de volumen
Peso de mil granos (g)	0.214**	-0.05	-0.13	-0.14
Diámetro de semilla		-0.16**	-0.22**	-0.22**
Peso de semilla sin reventar			-0.54**	-0.55**
Volumen de reventado (cm ³)				0.98**

Según Mishra *et al.* (2014) la variedad es un factor que afecta significativamente el volumen de semillas reventadas, esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, lo cual

también fue corroborado por Ortiz *et al.* (2018); asimismo, el tipo de almidón de los genotipos tiene influencia sobre la capacidad de reventado (Aguilar *et al.*, 2022).

Lo anterior puede estar relacionado con el contenido de humedad de la semilla al momento de reventar (Haught *et al.*, 1976) o al método de reventado (Vázquez *et al.*, 1988; Dofing *et al.*, 1990). Es claro que el genotipo tiene un ligero efecto en la capacidad de reventado, el cual no es comparable con el efecto del ambiente; esto que indica que la capacidad de reventado en amaranto no es un carácter fácil de mejorar.

Conclusiones

El componente genotipo fue la principal causa de variación para peso de mil granos, además de presentar el mayor coeficiente de variabilidad genética y la heredabilidad más alta. Peso de mil granos fue la variable que mostró la variación más alta debida a efectos genéticos, por lo que es una característica que se puede aprovechar en el fitomejoramiento.

El factor ambiente fue el componente más importante para diámetro de semilla, peso de semilla sin reventar, volumen de reventado e incremento de volumen por lo que son caracteres difíciles de mejorar al menos para este grupo de genotipos. La correlación positiva entre diámetro de semilla y peso de semilla sin reventar con volumen de reventado e incremento de volumen, indican que se pueden utilizar estas características como criterios de selección para mejorar el volumen de reventado.

Bibliografía

- 1 Aderibigbe, O. R.; Ezekiel, O. O.; Owolade, S. O.; Korese, J. K.; Sturm, B. and Hensel, O. 2022. Exploring the potentials of underutilized grain amaranth (*Amaranthus* spp.) along the value chain for food and nutrition security: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 62(3):656-669. Doi: 10.1080/10408398.2020.1825323.
- 2 Agong, S. G.; and Ayiecho, P. O. 1991. The rate of outcrossing in grain amaranths. *USA. Plant Breed*. 107(2):156-160. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1991.tb00544.x>.
- 3 Aguilar, D. M. J.; Rangel, E. E.; Grande, A. L.; Ramos, M. G. V.; Hernández, L. F. S. y Rodríguez, Y. G. L. 2022. Capacidad de reventado de grano de amaranto (*Amaranthus* spp.) con perispermo contrastante. *Rev. Fitotec. Mex*. 45(4):429-429.
- 4 Awasthi, R.; Kaushal, N.; Vadez, V.; Turner, N. C.; Berger, J.; Siddique, K. H. and Nayyar, H. 2014. Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional Plant Biology*. 41(11):1148-1167. Doi: 10.1071/FP13340.
- 5 Bishaw, Z. A.; Niane, A. and Yantai, G. 2007. Quality seed production. *In: Yadav S. S. et al. (eds.). Lentil: an ancient crop for modern times*. Springer. 349-383 pp. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/71094/1/23.pdf#page=361>.
- 6 Dofing, S. M.; Thomas-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://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010014x>.
- 7 Dornbos, D. L.; Müllen, R. E. and Shibes, R. M. 1989. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. *Crop Sci*. 29(4):476-480. <https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900020047x>.
- 8 Falconer, D. S. 1984. *Introducción a la genética cuantitativa*. Ed. CECSA. 14. México. 430 pp. <https://www.redalyc.org/pdf/610/61025301.pdf>.
- 9 Ferreira, D. F.; Demétrio, C. G. B.; Manly, B. F. J.; Machado, A. A. and Vencovsky, R. 2006. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. *Cerne*. 12(4):373-388. <https://www.redalyc.org/pdf/744/74412409.pdf>.

- 10 Ghassemi, G. K.; Soltani, A. and Atashi, A. 1997. Effect of water limitation in the field on seed quality of maize and sorghum. *Seed Sci. Technol.* 25(2):321-323. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2009/1156-1159.pdf>.
- 11 Grass, L. and Burriss, J. S. 1995. Effect of heat during seed development and maturation on wheat (*Triticum durum*) seed quality. I. Seed germination and seedling vigor. *Can. J. Plant Sci.* 75(4):821-829. <https://doi.org/10.4141/cjps95-138>.
- 12 Guerrieri, N. and Cavaletto, M. 2018. Cereals proteins. *In: proteins in food processing.* 223-244 pp. <http://154.68.126.6/library/Food%20Science%20books/batch1/Proteins%20in%20food%20processing.pdf>.
- 13 Guy, R. 2001. Extrusion cooking technologies and applications. Ed. Woodhead publishing limited and CRC Press LLC. 5-27 pp. <https://www.studmed.ru/view/guy-r-extrusion-cooking-technologies-and-applications-0c262cbd934.html>.
- 14 Haught, C. G.; Lien, R. M.; Hanes, R. E. and Ashman, R. B. 1976. Physical properties of popcorn. *Trans. ASAE.* 19(1):0168-0171. Doi: 168. 10.1080/096374800426984.
- 15 Januszewska, J. K. and Synowiecki, K. J. 2008. Characteristic and suitability of amaranth components in food biotechnology. *Biotechnologia.* 3(1):89-102.
- 16 Joshi, B. D. and Rana, R. S. 1992. Grain amaranths: the future food crop. NBPGR, Shimla *Sci. Monogr. Ed. No. 3.* 117-119 pp.
- 17 Kaya, Y. and Akcura, M. 2014. Effects of genotype and environment on grain yield and quality traits in bread wheat (*T. aestivum* L.). *Food Sci. Technol.* 34(2):386-393. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/fst.2014.0041>
- 18 Lovely, B. and Vijayaraghava, K. 2017. Estimates of genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield component traits in ash gourd *Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn. Genotypes, *Agric Sci. Digest.* 37(4):270-274. Doi: 10.18805/ag.D-4676.
- 19 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. <https://www.researchgate.net/profile/gayatri-mishra4/publication/283355236-popping-and-puffing-of-cereal-grains-a-review/links/5637441d08aebc004000e0d6/popping-and-puffing-of-cereal-grains-a-review.pdf> .
- 20 Mustafa, A. F.; Seguin, P. and Gélinas, B. 2011. Chemical composition, dietary fiber, tannins and minerals of grain amaranth genotypes. *Inter. J. Food Sci. Nutr.* 62(7):750-754. <https://doi.org/10.3109/09637486.2011.575770>.
- 21 Nath, A.; Chattopadhyay, P. and Majumdar, G. 2007. High temperature short time air puffed ready-to-eat potato snacks: process parameter. *J. Food Eng.* 80(3):770-78. Doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.07.006.
- 22 Núñez-Limón, D. 2018. Adaptación de índice de flotación para la determinación de la calidad de reventado de amaranto por aire caliente y microondas tesis de maestría. 90 p. <http://hdl.handle.net/10521/3287>.
- 23 Ortiz, T. T.; Argumedo, M. A.; García, P. H.; Meza, V. R.; Bernal, M. R. y Taboada, G. 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://doi.org/10.35196/rfm.2018.3.291-300>.
- 24 Pandey, R. M. 1982. Genetic of agronomic traits in *Amaranthus* . *SABRAO J.* 14(2):121-129.
- 25 Papastylianou, P.; Vlachostergios, D. N.; Dordas, C.; Tigka, E.; Papakaloudis, P.; Kargiotidou, A. and Kostoula, S. 2021. Genotype X environment interaction analysis of faba bean (*Vicia faba* L.) for biomass and seed yield across different environments. *Sustainability.* 13(5):1-18. <https://doi.org/10.3390/su13052586>.

- 26 Ruiz, H. V. C.; Legaría, S. J. P.; Sahagún, C. J. y O-Olan, M. 2018. Variabilidad genética en algunas especies cultivadas y silvestres de amaranto. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 9(2):405-416. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1081>.
- 27 SAS Institute. 2012. SAS/STAT User's Guide, Software versión 9.4. Cary, N. C. USA. 4424 p.
- 28 Servellón, R. E. 1996. Estimación de parámetros genéticos y de respuestas a la selección en la población de arroz irrigado CNA 1. *Agron. Mesoam.* 7(2):50-57. Doi: 10.15517/am.v7i2.24759.
- 29 Shin, D. H.; Heo, H. J.; Lee, Y. J. and Kim, H. K. 2004. Amaranth squalene reduces serum and liver lipid levels in rats fed a cholesterol diet. *British J. Bio. Sci.* 61(1):11-14. <https://doi.org/10.1080/09674845.2004.11732639>.
- 30 Tandjung, A. S.; Janaswamy, S.; Chandrasekaran, R.; Aboubacar, A. and Hamaker, B. R. 2005. Role of the pericarp cellulose matrix as a moisture barrier in microwaveable popcorn. *Biomacromolecules.* 6(3):1654-1660. <https://doi.org/10.1021/bm049220l>.
- 31 Tasiguano, B. L.; Villarreal, C.; Schmiele, M.; y Vernaza, M. G. 2019. Efecto del tiempo de cocción del zapallo (*Cucurbita maxima*) y la adición de glucosa oxidasa en el aumento de almidón resistente del pan de molde. *Información Tecnológica.* 30(3):167-178. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300167>.
- 32 Trucco, F. and Tranel, P. J. 2011. *Amaranthus*. In wild crop relatives: genomic and breeding resources vegetables. Ed. 26. 11-21 pp. Doi: 10.1007/978-3-642-20450-0-2.
- 33 Vázquez, C. M. G.; Espitia, E. R. y Márquez, A. R. S. 1988. Potencial de reventado y calidad proteínica del amaranto. *In: investigaciones recientes sobre amaranto.* Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, DF. 79-86 pp.
- 34 Villaseñor, M. H. E.; Martínez Cruz, E.; Santa-Rosa, R. H.; González-González, M.; Zamudio-Colunga, A.; Huerta-Espino, J. y Espitia-Rangel, E. 2017. Variabilidad genética y criterios de selección para calidad industrial de trigos introducidos en condiciones de temporal. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 8(3):661-672.

Evaluación de la capacidad de reventado de genotipos de amaranto y parámetros genéticos

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 June 2023
Date accepted: 01 August 2023
Publication date: 28 August 2023
Publication date: August 2023
Volume: 14
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e3429
DOI: 10.29312/remexca.v14i6.3429

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Amaranthus
correlaciones
heredabilidad
reventado
variabilidad genética

Counts

Figures: 1
Tables: 06
Equations: 0
References: 34
Pages: 0