

Tiene el amaranto el potencial agronómico para ser un fenómeno mundial como la quinua

Espitia Rangel Eduardo¹
Luisa Fernanda Sesma Hernández¹
Miriam Gabriela Valverde Ramos¹
Lucila González Molina¹
Diana Escobedo López¹
Miriam Jazmín Aguilar Delgado^{2§}

¹Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56250. (espitia.eduardo1957@gmail.com). ²Facultad de Ciencias Agrotecnológicas-Universidad Autónoma de Chihuahua. Calle La Presa de la Amistad núm. 2015, Barrio La presa, Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, México. CP. 31510.

§Autora para correspondencia: mjaguilar@uach.mx.

Resumen

El Amaranto y la quinua pertenecen a la familia *Amaranthaceae* caracterizada por tener especies que crecen en condiciones adversas, además de presentar altos contenidos de proteínas, ácidos grasos insaturados y vitaminas, además propiedades funcionales, que podrían ser una excelente opción para hacerle frente a los grandes problemas que aquejan al mundo. Debido a estas características la quinua se ha convertido en un fenómeno a nivel mundial y ya se cultiva en más de 100 países. La investigación fue planteada con el fin de determinar si el amaranto tiene el potencial agronómico para incrementar la superficie cultivada como sucedió con la quinua. Se estableció un experimento con tres variedades de quinua y tres variedades de amaranto en tres ambientes de los Valles Altos de México, bajo un diseño de bloques completos al azar con arreglo de tratamientos en parcelas divididas. Se evaluaron variables agronómicas, así como el rendimiento. Los resultados encontrados mostraron que el amaranto superó a la quinua en longitud de inflorescencia, ancho de inflorescencia, diámetro de tallo, peso hectolítrico y rendimiento, mientras que la quinua presentó valores más altos para diámetro de semilla y peso de mil semillas. Los genotipos Tlahuicole y L-145 de amaranto fueron los que observaron mejor comportamiento, seguidos por la variedad Suyana de quinua. El amaranto presenta características para ser un fenómeno a nivel mundial, tal como ha sucedido con la quinua.

Palabras clave: *Amaranthus* spp., *Chenopodium quinoa*, rendimiento, variedades.

Recibido: septiembre de 2021

Aceptado: noviembre de 2021

Introducción

Para hacer frente a las grandes fuerzas que están moviendo a la sociedad como la desnutrición, problemas de salud pública y al cambio climático, es necesario utilizar especies vegetales con características que coadyuven a la solución de estos temas. Asimismo, en los programas de mejoramiento genético se deberá buscar variedades inteligentes que respondan a las condiciones ambientales que se presenten en la estación de crecimiento. Generalmente este tipo de variedades pueden crearse utilizando especies que por naturaleza puedan crecer en condiciones agroclimáticas adversas, tal es caso de las *Cariophyllales* conocidas por contener varias especies extremófilas.

Dentro de este grupo se tiene la familia *Amaranthaceae* que comprende entre otros los géneros *Amaranthus* y *Chenopodium*, caracterizados por tener especies que crecen en condiciones adversas, además de presentar altos contenidos de proteínas, ácidos grasos insaturados y vitaminas, además de propiedades funcionales, por tan podrían ser una excelente opción para hacerle frente a estos grandes problemas de salud, alimentación y ambientales que atraviesa el mundo. El amaranto es una planta herbácea anual que pertenece al género *Amaranthus*, predominantemente tropical, incluye cerca de 70 especies nativas de los trópicos y de las regiones templadas de todo el mundo; de las cuales 40 son de América y el resto pertenece a Australia, África, Asia y Europa.

Dentro del género se encuentran las especies *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* que son las más importantes para la producción de grano de amaranto (Espitia, 1992). La quinua es una planta del género *Chenopodium*, tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (Zurita-Silva *et al.*, 2014).

El cultivo del amaranto en México está poco desarrollado, pues se siembran de 3000 a 7 000 ha anuales, fluctuando de acuerdo con la oferta y la demanda. Son muchas las limitantes que enfrenta este cultivo, tales como el bajo nivel tecnológico con el que se realiza. La mayoría de las siembras se realizan con variedades criollas de bajo rendimiento y características agronómicas desventajosas, como maduración tardía y plantas altas, variación en color de planta y semilla, entre otras. No existe tecnología de producción bien fundamentada para dosis de fertilización, fechas de siembra, densidades, control de plagas y enfermedades. Recientemente el amaranto fue incluido en la canasta básica, por lo tanto, para poder incrementar la superficie de siembra y de cosecha se hace necesario mejorar la tecnología utilizada hasta estos momentos.

El amaranto y la quinua además de su potencial agronómico de crecer en condiciones adversas son súper granos reconocidos dentro de los cultivos más prometedores para coadyuvar a conseguir la seguridad alimentaria y combatir la malnutrición (Präger *et al.*, 2018). En los últimos años se ha incrementado el interés por estos granos, ricos en proteína y como fuente de compuestos nutraceuticos (Venskutonis y Kraujalis, 2013; Rastogi y Shuklam, 2013). Este interés obedece a la gran problemática actual asociada a enfermedades crónicas degenerativas, enfermedades isquémicas del corazón, cerebrovasculares y las crónicas del hígado, que se encuentran estrechamente ligadas a factores como malnutrición, sobrepeso y obesidad.

Por su lado, la quinua, es un cultivo de reciente introducción en México; sin embargo, en años recientes ha tomado un gran impulso debido al crecimiento de su consumo a nivel mundial. Este interés se debe a sus características agronómicas, nutritivas y nutraceuticas (Präger *et al.*, 2018).

Esta especie se ha cultivado en los Andes desde hace 5 000 a 7 000 años, adaptándose a altitudes cercanas a los 4 000 msnm. La quinua y el amaranto poseen una alta eficiencia en el uso del agua e incluso puede producir rendimientos aceptables con lluvias de 200 mm anuales. También algunas variedades de quinua toleran condiciones de salinidad similares a las del agua de mar (40 dS m^{-1}) superando en muchos casos la tolerancia de las especies cultivadas conocidas (Espitia 1994; Zurita-Silva *et al.*, 2014).

La quinua es originaria de los Andes y está más adaptada a regiones entre 2500 a 4000 msnm (Mujica *et al.*, 1997), amaranto por su parte es originario de Mesoamérica y está más adaptado a regiones entre 0 a 2 600 msnm. Aunque en los últimos tiempos estos cultivos han sido llevados a ambientes fuera de su rango de adaptación original. En relación con su potencial de rendimiento Bazile *et al.* (2014) reportaron rendimientos de 200 hasta $2\,050 \text{ kg ha}^{-1}$ en un ensayo de 21 genotipos de quinua en diferentes países donde no se sembraba quinua en Europa y Asia. Chura *et al.* (2019) mencionan $2\,836.55$ a $5\,099.18 \text{ kg ha}^{-1}$ para un grupo de seis líneas de quinua; mientras que, Zurita-Silva *et al.* (2014) reportan rendimiento de 400 a $4\,500 \text{ kg ha}^{-1}$.

Para amaranto en un ensayo similar (Mujica *et al.*, 1997) se reporta rendimiento de 203 hasta $7\,208 \text{ kg ha}^{-1}$ para 12 genotipos en nueve países de América, en este caso fue en países donde se siembra amaranto. Los rendimientos reportados para México son muy variables y dependen de la variedad y de las condiciones de producción, por ejemplo, se mencionan de $2\,062$ a $5\,274 \text{ kg ha}^{-1}$ (Espitia, 1992), de $3\,875$ a $4\,583 \text{ kg ha}^{-1}$ (Mujica *et al.*, 1997), de 950.7 a $2\,922.2 \text{ kg ha}^{-1}$ y de $1\,382$ a $1\,668.7 \text{ kg ha}^{-1}$ (Ramírez, 2011) y de $1\,382$ a $3\,439 \text{ kg ha}^{-1}$ (Ortiz *et al.*, 2018).

En otras características de importancia agronómica también se reportan valores muy variables, por ejemplo, para la variable madurez se reportan de 132.5 a 161.38 días en 60 genotipos de las especies *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* (Espitia *et al.*, 1992), de 63.2 a 97.4 para 54 genotipos de *A. hypochondriacus*. Para altura de planta se reportan valores de 141.88 a 228.94 cm (Espitia *et al.*, 1992) y de 81.3 a 148 cm (Tiwari *et al.*, 2018). Otras características importantes son aquellas que expresan el tamaño y densidad de la semilla, a este respecto se reportan peso de mil semillas de 0.684 a 1.32 g (Tiwari *et al.*, 2018) y peso hectolítrico de 82.51 a 83.51 kg L^{-1} (Espitia *et al.*, 1992).

En la quinua es muy relevante el tamaño de la semilla pues de eso depende la comercialización y el uso, por lo que son relevantes las variables que expresan tamaño y peso de la semilla, a este respecto se reportan diámetro de semilla desde 1.2 hasta 2.5 mm (Zurita-Silva *et al.*, 2014), mientras que Chura *et al.* (2019) reportan diámetros de 1.64 a 2.2 mm. Los mismos autores refieren para el valor de peso de mil semillas de 2.09 a 3.8 g, Delgado *et al.* (2009) explicaron de 2.52 a 3.45 g, mientras que, Curti *et al.* (2014) establecen valores de 2.2 a 3.5 g. Para madurez Zurita-Silva *et al.* (2014) presentaron valores que van desde 135 a 210 días, mientras que, Bhargava *et al.* (2007) reportan valores de 109.3 a 163.33 días a madurez. Para la variable altura de planta Delgado *et al.* (2009) demostraron valores de 111.23 a 176.65 cm y los mismos autores reportan para longitud de panoja valores de 24.03 a 37.25 cm.

Recientemente la quinua se ha convertido en un fenómeno a nivel mundial, se cultiva en muchos países y con perspectivas de seguir creciendo (Bazile *et al.*, 2016). El amaranto y la quinua son dos cultivos con muchas semejanzas morfológicas, nutritivas, de utilización y hasta de desarrollo histórico; nace la pregunta de por qué quinua ha crecido tanto en producción y consumo y el amaranto lejos de crecer de pronto hasta se ha reducido la superficie cultivada y en consecuencia

su consumo. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue realizar una comparación agronómica del amaranto y la quinua para determinar el potencial que tiene cada especie en los Valles Altos del Centro de México.

Materiales y métodos

Material genético

Los genotipos del amaranto utilizados fueron L-145, Tlahuicole y Nutrisol de la especie *A. hypochondriacus*, mientras que Suyana, Tokyo y Suma fueron los genotipos de la quinua utilizados, los genotipos para representar las dos especies fueron escogidos en base a su ciclo y porte de planta y en el caso de quinua también se seleccionaron por presentar buena adaptación a las condiciones del Centro de México.

Ambientes de evaluación

Los ambientes de evaluación fueron dos en Santa Lucía de Prías, Texcoco (dos fechas de siembra) y Boyeros, Texcoco (Colonia Netzahualcóyotl), Estado de México en 2019. La fecha de siembra en Santa Lucía de Prías fue el 28 de mayo (la primera fecha) y 30 de junio (la segunda). Con la primera fecha se está simulando una fecha de siembra normal, cuando se establece el temporal; con la segunda se está buscando que la floración no coincida con las altas temperaturas que se presentan en julio. Para Colonia Netzahualcóyotl fue el 30 de junio, en este ambiente se está evaluando condiciones de salinidad.

Manejo del cultivo

El cultivo fue de temporal, sin fertilización, no hubo control de plagas y sólo se realizaron dos deshierbes con azadón a los 25 y 45 días después de la siembra. A la quinua se le aplicó el fungicida Metalaxil (producto comercial: Ridomil Gold) 1 L ha⁻¹ a los 30 días de emergida la planta y Mancozeb a los 50 días de emergida la planta (producto comercial: Manzate) 1.5 kg ha⁻¹, con el fin de disminuir el efecto del Mildiu (*Peronospora variabilis*).

Variables evaluadas

Se evaluaron variables fenológicas como días a floración, días a madurez y periodo de llenado de grano (días), se contaron los días a cuando 50% de las plantas antesis y madurez y los días transcurrido de floración a madurez, respectivamente. Las variables de tamaño como diámetro de tallo (cm), altura de planta a la floración (cm), altura de planta a la madurez (cm) y longitud de panoja (cm), se midieron 10 plantas por parcela.

El diámetro de semilla se determinó midiendo 10 grupos de 10 semillas de cada parcela, con un vernier digital (Stainless Hardened). Peso hectolítrico (kg hl⁻¹) se determinó pesando un volumen conocido de semilla y se extrapoló al peso de 100 L. Para el peso de mil granos (g), se contaron y pesaron cinco grupos de 100 granos de cada parcela y se extrapoló a mil granos y el rendimiento de grano (kg ha⁻¹) se determinó a partir del rendimiento de la parcela útil y se extrapoló a 1 ha.

Diseño experimental, unidad experimental y análisis estadístico

Los genotipos se sembraron bajo un diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas, la parcela grande correspondió a las especies y los genotipos a la parcela chica. La parcela experimental consistió en tres surcos a 0.8 m de separación y 5 m de largo y la parcela útil consistió en tres m del surco central. Para el análisis estadístico se utilizó Proc Glim del Sas y para la comparación de medias la prueba de Tukey (0.05).

Resultados y discusión

Se encontraron diferencias altamente significativas en la mayoría de las variables para ambientes, excepto para diámetro de semilla y rendimiento por día (Cuadro 1). Para especies se encontraron diferencias significativas en todas las variables excepto en altura de planta. Para genotipos dentro de especies también se obtuvieron diferencias significativas excepto en longitud de inflorescencia, ancho de inflorescencia y diámetro de tallo. Para la interacción especies por ambiente, se obtuvieron diferencias significativas para la mayoría las variables excepto para altura de planta, longitud de inflorescencia y diámetro de semilla. Lo que indica una respuesta diferencial de las especies a estas fuentes de variación coincidiendo con lo reportado anteriormente (Präger *et al.*, 2018; Tiwari *et al.*, 2018).

Cuadro 1. Cuadrados medios para las variables estudiadas entre especies en tres ambientes de México. V 2019.

Variable/FV (gl)	Loc (2)	Rep (loc) (9)	Esp (1)	Var (esp) (4)	Loc*esp (2)	Error (53)
Emergencia de inflorescencia (días)	83.6**	1.94	3186.68**	297.01**	200.47**	5.12
Días a floración	36.3**	2.27	3486.13**	398.67**	156.29**	5.32
Días a madurez	8 553.6**	0.65	826.89**	481.22**	4 311.01**	7.83
Periodo de llenado de grano	7 712.3**	0.9	7708.68**	335.89**	4 085.18**	12.9
Altura de planta (cm)	60601.4**	197.42	57.96 ns	1081.44**	30607.65**	194.16
Longitud de la inflorescencia (cm)	1 698.2**	355.15	2678.63**	147.44 ns	1454**	201.41
Ancho de la inflorescencia (cm)	564.2**	20.73	598.64**	5.52 ns	420.31**	13.14
Diámetro de tallo (mm)	85.2**	5.12	1146.91**	11.66 ns	104.86**	6.8
Diámetro de semilla (mm)	0.05 ns	1	1081.6**	0.01**	0.07 ns	0.02
Peso de mil semillas (g)	0.1**	0.01	60.09**	0.34**	0.11**	0.01
Peso hectolítrico (kg)	22.6**	0.36	6595.6**	63.39**	27.63**	3.71
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	10170752**	3594596.9	10957044**	6110264**	11030525**	967667

** = diferencias significativas; ns= diferencias no significativas.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de medias entre especies. En las variables fenológicas el amaranto presentó mayor número de días a emergencia de panoja y días a floración. Sin embargo, para periodo de llenado de grano y madurez la quinua presentó mayor número de días.

A pesar de que en la quinua emerge primero la inflorescencia y se inicia la floración, esta especie tarda más tiempo en llegar a la maduración, esto es debido al mayor periodo de llenado de grano, pero aun así la quinua es menos tardía que en sus lugares de origen. En Bolivia y Perú madura hasta en más 200 días (Rojas *et al.*, 2013; Chura *et al.*, 2019), esto debido a que ahí crece cerca de los 4 000 msnm, mientras que en México se sembró a 2 250 msnm.

Cuadro 2. Comparación de medias de variables estudiadas entre especies en tres ambientes de México. V 2019.

Variable/especie	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>	<i>Chenopodium quinoa</i>	DSH
Días a inflorescencia	77.72 a	64.41 b	1.0675
Días a floración	90.91 a	77 b	1.0882
Días a madurez	146.63 b	153.41 a	1.3201
Periodo de llenado de grano (días)	55.72 b	76.41 a	1.6939
Altura de planta (cm)	234.31 a	236.1 a	6.5721
Longitud de la inflorescencia (cm)	58.9 a	46.7 b	6.6937
Ancho de la inflorescencia (cm)	20.21 a	14.44 b	1.7094
Diámetro de tallo (mm)	22.21 a	14.2 b	1.2392
Diámetro de semilla (mm)	1.1 b	1.92 a	0.0253
Peso de mil semillas (g)	0.81 b	2.67 a	0.0511
Peso hectolítrico (kg)	81.71 a	62.2 b	0.9228
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	3 825.8 a	3 056.9 b	467.44

Medias en hileras con las mismas letras son estadísticamente iguales.

En las variables de tamaño el amaranto presenta ventaja en longitud y diámetro de la inflorescencia y diámetro de tallo, mientras que ambas especies presentaron la misma altura de planta. En las variables de semilla la quinua presentó mayor diámetro de semilla, mayor peso de mil granos, por consiguiente, el amaranto presenta mayor peso hectolítrico; cabe aclarar, que este valor es de la quinua sin beneficiar; es decir, todavía con el pericarpio adherido a la semilla. En rendimiento el amaranto presentó mayor rendimiento de grano por día y mayor rendimiento de grano. Esto puede explicarse porque los sitios de evaluación son lugares donde tradicionalmente se siembra amaranto (Espitia, 1992; Espitia, 1994) y la quinua es introducida en ellos.

De las características más contrastadas es el tamaño de la semilla. El diámetro de semilla de las tres variedades de quinua evaluadas varió de 1.8 a 1.9 mm, quedando clasificado como grano grande (Murphy *et al.*, 2019). El tamaño de grano también está relacionado con la utilización, granos grandes mayores a 1.8 mm son utilizados para consumo graneado, que es la forma más extendida a nivel mundial (INDECOPI, 2014). La quinua por su mayor tamaño de semilla presenta menos problemas de manejo agronómico, pues germina a los tres o cuatro días, mientras que el amaranto germina a los ocho o diez días, por lo anterior la quinua presenta mejor emergencia de plántulas. Los valores aquí obtenidos para peso de mil granos (2.67 g) es comparable con los reportados (2.3 a 3.2 g) en Sudamérica (Curti *et al.*, 2014).

En relación con el rendimiento por día el amaranto presentó 25.42 kg por día casi cinco más que la quinua; mientras que en rendimiento de grano también el amaranto presentó un rendimiento mayor que la quinua, casi 800 kg ha⁻¹ más en promedio de las tres variedades de cada cultivo. Los valores de rendimiento para quinua en los tres ambientes del presente estudio son superiores a los reportados en un ensayo para 12 genotipos en el norte de Argentina (Curti *et al.*, 2014), reportan 654 a 1 703 kg ha⁻¹ en ambientes expuestos a sequía.

En general se puede establecer que tanto el amaranto como la quinua presenta potencial para ser cultivada en las condiciones evaluadas. Es probable que quinua por su origen presente mejor comportamiento conforme se cultive en ambientes más cercanos a los 3 000 msnm (Zurita-Silva *et al.* 2014). Por el contrario a medida que se va bajando en altitud es probable que quinua presente problemas, especialmente si se presentan temperaturas de 30 °C durante la floración, pues esto ocasiona esterilidad ya que se reduce la formación de grano (Bertero, 2013).

En el Cuadro 3 se presentan las medias para las tres variedades de amaranto estudiadas en el presente experimento. Las líneas experimentales Tlahuicole y L-145 fueron las que presentaron mayor rendimiento (4 097 kg ha⁻¹), mientras que Nutrisol, que es una variedad comercial rindió un poco menos que una tonelada. Cabe mencionar, que esta última mostró una madurez 15 días menos que las dos primeras al igual que el resto de las variables fenológicas que están correlacionadas inversamente con el rendimiento (Espitia *et al.*, 1992).

Cuadro 3. Comparación de medias de variables estudiadas en tres variedades de amaranto en tres ambientes de México. V 2019.

Variable/variedad	Tlahuicole	L-145	Nutrisol	DSH
Días a inflorescencia	80 a	78.4 a	74.7 b	2.105
Días a floración	93.4 a	91.9 a	87.4 b	2.386
Días a madurez	151.9 a	151.2 a	136.7 b	1.439
Periodo de llenado de grano	59.3 a	58.5 a	49.3 b	2.485
Altura de planta (cm)	244.9 a	229.4 b	228.5 b	14.062
Longitud de la inflorescencia (cm)	60.4 a	56 ab	60.2 b	4.408
Ancho de la inflorescencia (cm)	20.7 a	19.4 a	20.5 a	2.531
Diámetro de tallo (mm)	23 a	20.8 b	22.8 ab	2.082
Diámetro de semilla (mm)	1.14a	1.13 a	1.11 a	0.051
Peso de mil semillas (g)	0.78 b	0.85 ab	0.81 b	0.042
Peso hectolítrico (kg)	81.57 a	81.5 a	81.95 a	6.369
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	4097 a	4412 a	2968 b	1155.5

Medias en hileras con las mismas letras son estadísticamente iguales.

En el Cuadro 4 refiere a la comparación de medias para las tres variedades de quinua evaluadas, Suyana presentó mayor rendimiento, mayor tamaño y peso de semilla y mayor tamaño de planta, rindió más que la variedad de amaranto Nutrisol y apenas 300 kg menos que las mejores variedades de amaranto. No se presenta la información de Mildiu (*Peronospora variabilis*), pero esta variedad fue la que presentó menor incidencia de esta enfermedad, que es uno de los factores adversos para

la producción de quinua a nivel mundial (Murphy *et al.*, 2019). De igual manera el contenido de saponinas es un aspecto importante en la producción de quinua (Zurita-Silva *et al.*, 2014), Suma fue la variedad con menor contenido seguida de Suyana.

Cuadro 4. Comparación de medias de variables estudiadas en tres variedades de quinua en tres ambientes de México. V 2019.

Variable/variedad	Suyana	Tokio	Suma	DSH
Días a inflorescencia	60.9 b	60.4 b	71.9 a	1.42
Días a floración	74.3 b	71.1 c	85.5 a	1.43
Días a madurez	151.9 b	151.9 b	156.4 a	1.03
Periodo de llenado de grano	77.5 b	80.7 a	70.9 c	1.79
Altura de planta (cm)	247.2 a	232.3 ab	228.7 a	15.5
Longitud de la inflorescencia (cm)	51.6 a	44.7 a	43.7 a	19.4
Ancho de la inflorescencia (cm)	15 a	13.7 a	14.5 a	4.84
Diámetro de tallo (mm)	14.9 a	13.8 a	13.7 a	3.37
Diámetro de semilla (mm)	1.9 a	1.9 a	1.8 a	0.04
Peso de mil semillas (g)	2.9 a	2.6 b	2.4 c	0.12
Peso hectolítrico (kg)	63.2 a	64.82 a	58.5 a	6.86
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	3 800.7 a	2 556.3 b	2 791.7 b	733

Medias en hileras con las mismas letras son estadísticamente iguales.

Por el comportamiento de ambas especies se ve claramente una ligera ventaja para el amaranto, pues presenta mayor rendimiento y menor ciclo de cultivo. La quinua por su parte presenta una gran ventaja que es el tamaño de grano, lo cual facilita el manejo agronómico del cultivo. Si vemos de manera más concreta a nivel de variedades individuales la variedad de quinua Suyana tiene muy buen comportamiento, comparable con las de amaranto.

Una desventaja de la quinua sería el perigonio de la semilla, en el cual se encuentran las saponinas, esto obliga a que en el manejo de postcosecha la semilla se tenga que escarificar o perlar para eliminar la ‘cáscara’ y luego lavarse para eliminar todas las saponinas (Zurita-Silva *et al.*, 2014). Estos procesos de manejo de postcosecha encarecen el grano de quinua. Por el contrario, el amaranto se cosecha, se limpia y está listo para utilizarse, por no tener perigonio. Por lo anterior y de acuerdo con el objetivo planteado se puede establecer que amaranto posee las características agronómicas para expandir su cultivo, de manera similar como ha sucedido con la quinua. Las limitantes del amaranto tal vez sean de otra índole, como voluntad política, por estar en una región más occidentalizada no se ha popularizado el consumo local tanto como la quinua en sus lugares de origen.

Como se puede desprender de la magnitud de los cuadrados medios presentados en el análisis de varianza (Cuadro 1), la variación debida a la interacción especie x ambiente es comparable a la variación debida a las fuentes de variación ambientes y especies. En las Figuras 1 y 2 se presentó el comportamiento de las especies a través de los ambientes evaluados. Se puede observar que hubo cambios en magnitud y en orden en variables como días a floración, periodo de llenado de grano, longitud de panoja (Figura 1), diámetro de tallo y rendimiento (Figura 2).

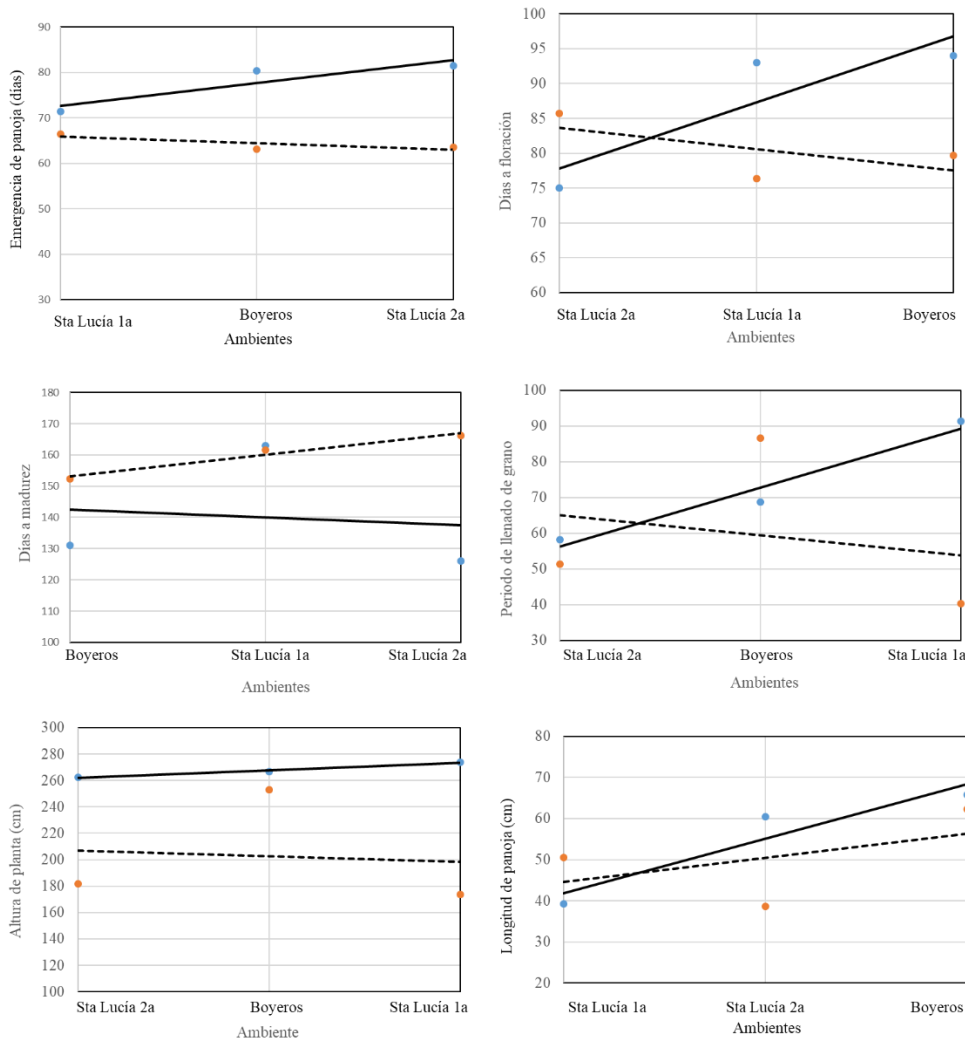


Figura 1. Interacción especie por ambiente de seis variables de la comparación de tres genotipos de amaranto (línea continua) y tres genotipos de quinua (línea discontinua) en tres ambientes. P-V 2019.

En las variables asociadas a la fenología hubo variación a través de ambientes, en días a floración y periodo de llenado de grano hubo cambios en orden y magnitud al cambiar de ambiente, tendiendo el amaranto a presentar mayores valores de estas variables al mejorar el ambiente, mientras que en emergencia de panoja el amaranto se mantuvo por encima de la quinua en los tres ambientes de prueba, caso contrario sucedió en días a madurez, estos resultados concuerdan con lo reportado anteriormente (Espitia, 1992; De Santis *et al.*, 2018).

En variables de tamaño longitud de panoja (Figura 1) y diámetro de tallo (Figura 2) se presentaron cambios de magnitud y de orden, presentando valores más altos el amaranto, en altura de planta (Figura 1) y ancho de panoja (Figura 2) se obtuvieron cambios de magnitud, siendo el amaranto el que presentó los valores más altos a través de los ambientes evaluados, estos resultados concuerdan con lo reportado con anterioridad (Tiwari *et al.*, 2018; Thiam *et al.*, 2021).

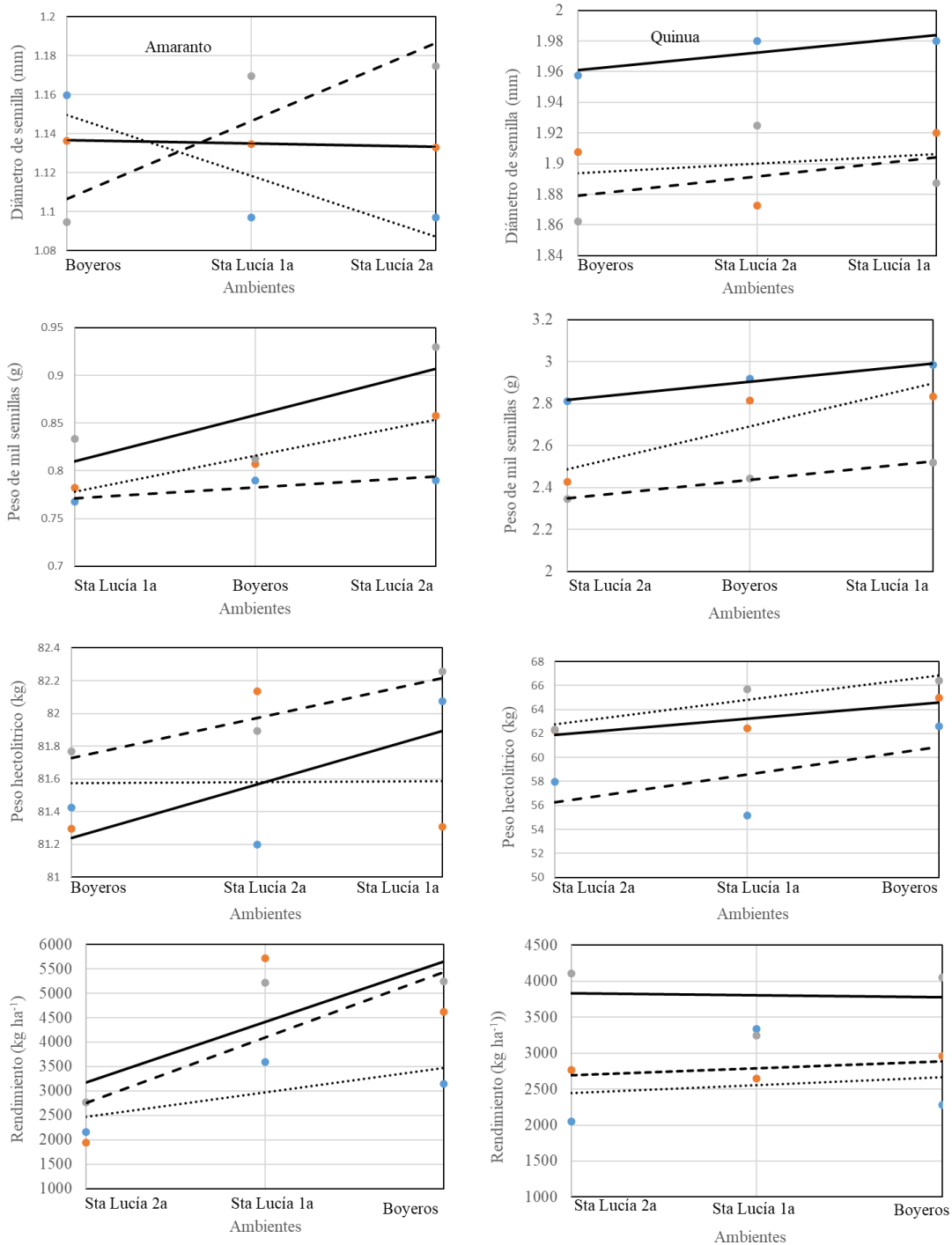


Figura 2. Interacción genotipo por ambiente del rendimiento de la comparación de tres genotipos de amaranto (línea continua Tlahuicole, línea discontinua L-145 y línea punteada Nutrisol) y tres genotipos de quinua (línea continua Suyana, línea discontinua Tokio y línea punteada Suma) en tres ambientes. P-V 2019.

Para las variables relacionadas con la semilla se obtuvieron cambios de magnitud en diámetro de semilla, peso de mil granos y peso hectolítrico (Figura 2), presentando la quinua el mayor tamaño de semilla, aunque para diámetro de semillas la interacción ambiente x especie no fue significativa,

lo cual indica que esta variable está controlada principalmente por efectos genéticos esto se queda demostrado ya que en el análisis de varianza solo la fuente de variación especies fue significativa, mientras que ambientes y ambientes x especie fueron no significativas. Indicando esto que la significancia en especies se debe a la expresión del diámetro de semilla tan diferente entre las dos especies, ya que la quinua presenta un diámetro de semilla casi al doble que el amaranto.

Dicha diferencia también es notable en peso de 1 000 semillas, pues la quinua presenta un valor tres veces mayor que el amaranto. Caso contrario sucede en peso hectolítrico donde amaranto presentó valor de 81.71 kg y la quinua de 62.2 kg, que era de esperarse por menor tamaño de semilla que da mayor densidad y menos espacios entre semillas. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Thiam *et al.* (2021) para quinua y para amaranto (Espitia, 1992; Tiwari *et al.*, (2018).

Para rendimiento se presentaron cambios de orden y cambios de magnitud; la quinua presentó mejor rendimiento en el ambiente más desfavorable que fue Santa Lucía de Prías segunda Fecha, mientras que, amaranto presentó mejor rendimiento en Boyeros y en Santa Lucía de Prías primer fecha, indicando esto que el comportamiento de amaranto mejora conforme mejora el ambiente (Tiwari *et al.*, 2018), quinua por el contrario presentó una ligera disminución, esto debido tal vez a la incidencia de mildiu (*Peronospora variabilis*) en fecha de siembra más tempranas, esta enfermedad es una de las limitantes a nivel mundial para la producción de quinua (Khalifa and Thabet, 2018).

Que el amaranto haya resultado con una ventaja en rendimiento resultan normal, ya que las evaluaciones se realizaron en su ambiente de adaptación natural, mientras que la quinua se está introduciendo. Por su resistencia a bajas temperaturas la quinua en México se puede utilizar en la rotación de cultivos en zonas cerealeras donde se produce, cebada, trigo y avena ya que es una planta de hoja ancha lo que permitiría, reducir plagas y enfermedades de cereales al ser incorporada al patrón de cultivos de estas regiones. También se mejoraría el suelo ya que el rastrojo de quinua se incorporaría en su totalidad, la paja de los cereales es esquilmada en pacas, incrementando el contenido de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

En los tres ambientes evaluados puede verse que en general el amaranto presentó mejor comportamiento que la quinua; sin embargo, la variedad Suyana de quinua presentó un comportamiento muy similar a las mejores variedades de amaranto (Tlahuicole y L-145), por lo cual se puede establecer que seleccionando los genotipos adecuados se pueden tener buenos rendimientos de ambos cultivos.

Una de las características para la comercialización y consumo de la quinua es el tamaño de la semilla, la norma técnica peruana reporta que los granos clasificados como grandes son aquellos mayores a 1.7 mm, medianos entre 1.7 y 1.4 y granos pequeños menores a 1.4 mm de diámetro (INDECOPI, 2014), los resultados obtenidos con los genotipos evaluados fueron satisfactorios ya que presentaron grano grande. Una desventaja de la quinua es el hecho de tener perigonio, que es donde se encuentran las saponinas, compuestos que dan un sabor amargo, éstos deben ser eliminados por métodos físicos como la escarificación, métodos húmedos como el lavado o la combinación de ambos (Zurita-Silva *et al.*, 2014), el amaranto no presentó perigonio y la semilla está lista para utilizarse cuando se cosecha, esta es una ventaja del amaranto. Agronómicamente se puede establecer que ambos cultivos tienen un buen potencial; es decir, se complementan ya que el amaranto se adapta más a climas templados a calientes y la quinua de templados a fríos.

Conclusiones

El amaranto en general presentó mejor comportamiento en los ambientes evaluados que la quinua. Amaranto superó a la quinua en longitud de inflorescencia, ancho de inflorescencia, diámetro de tallo, peso hectolítrico y rendimiento; mientras que, la quinua presentó valores más altos para diámetro de semilla y peso de mil semillas. Los genotipos Tlahuicole y L-145 de amaranto fueron los que presentaron mejor comportamiento, seguidos por la variedad Suyana de quinua. El amaranto observó las características para ser un fenómeno a nivel mundial, tal como ha sucedido con la quinua.

Literatura citada

- Bazile, D. 2014. The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. *In*: Bazile, D.; Bertero, D. y Nieto, C. (Ed.). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO. Santiago de Chile y CIRAD, Montpellier, Francia. 42-55 pp. https://agritrop.cirad.fr/575493/1/document_575493.pdf.
- Bazile, D. C.; Pulvento, A.; Verniau, M. S.; Al-Nusairi, J.; Breidy, L.; Hassan, M. I.; Mohammed, O.; Mambetov, M. O.; Sepahvand, N. A.; Shams, A.; Souici, D. and Padulosi, S. 2016. Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Sci.* 7(1):1-18. doi.org/10.3389/fpls.2016.00850.
- Bertero, D. 2013. Environmental control of development. *In*: Bazile, D.; Bertero, D. y Nieto, C. (Ed.). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO. Santiago de Chile y CIRAD. Montpellier, Francia. 120-130 pp.
- Bhargava, A.; Shukala, S. and Ohri, D. 2007. Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Res.* 101(1):104-116. doi.org/10.3390/plants10040714.
- Chura, E.; Mujica, A.; Haussmann, B.; Smith, K.; Flores, S. and Flores, A. L. 2019. Agronomic characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) progeny from close and distant self-fertilized s5 simple crosses. *Ciencia e Investigación Agraria.* 46(2):154-165. doi 10.7764/rcia.v46i2.2142.
- Curti, R. N.; De la Vega, A. J.; Andrade, A. J.; Bramardi, S. J. and Bertero, H. D. 2014. Multi-environmental evaluation for grain yield and its physiological determinants of quinoa genotypes across Northwest Argentina. *Field Crops Res.* 166(1):46-57. doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.011.
- De Santis, G.; Ronga, D.; Caradonia, F.; Ambrosio, T. D.; Troisi, J.; Rascio, A.; Fragosso, M.; Pechioni, N. and Rinaldi, M. 2018. Evaluation of two groups of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) accesions with different seed colours for adaptation to de Mediterranean environment. *Crops and Pasture Sci.* 69(6):1264-1275. <https://doi.org/10.1071/CP18143>.
- Delgado A. I. P.; Palacios, C. J. H. y Betancourt, C. G. 2009. Evaluación de 16 genotipos de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el municipio de Iles, Nariño, Colombia. *Agron. Colomb.* 27(2):159-167.
- Espitia, R. E. 1992. Amaranth germplasm development and agronomic studies in México. *Food Reviews International.* 8(1):71-86. doi.org/10.1080/87559129209540930.
- Espitia, R. E.; Miranda, C. S. y Castillo, G. F. 1992. Variabilidad genética e interrelaciones del rendimiento y sus componentes en alegría (*Amaranthus* spp.). *Agrociencia.* 3(4):83-98.

- Espitia, R. E. 1994. Breeding of grain amaranth. *In*: Paredes-López, O. (Ed.) Amaranth: biology, chemistry and technology. CRC press, Boca Raton, USA. 23-38 pp.
- INDECOPI. 2014. Compendio de normas técnicas peruanas: Quinoa y Cañihua. NTP 205.062.2014. 1-25 pp.
- Khalifa, W. and Thabet, M. 2018. Variation in downy mildew (*Peronospora variabilis* Gäum) resistance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under Egyptian conditions. Middle East Journal of Agriculture Research. 7(2):671-682. <https://www.researchgate.net/profile/Marian-Thabet/publication/328253874>.
- Mujica, S. A.; Berti, D. M. e Izquierdo, J. 1997. El cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp.): producción mejoramiento genético y utilización. FAO. Roma, Italia. 145 p.
- Murphy, K. M.; Matanguihan, J. B.; Fuentes, F. F.; Gómez-Pando, L. R.; Jellen, E. N.; Maughan, P. J. and Jarvis, D. E. 2019. Quinoa breeding and genomics. Plant Breeding Reviews. 42(1):257-320. <https://mosaic.messiah.edu/edbooks/64>.
- 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.
- Präger, A.; Munz, S.; Nkebiwe, P. M.; Mast, B. and Graeff-Hooninger, S. 2018. Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. Agronomy. 8(197):1-19. doi:10.3390/agronomy8100197.
- Ramírez, V. M. L.; Espitia, R. E.; Carballo, C. A.; Zepeda, B. R.; Vaquera, H. H. y Córdova, T. L. 2011. Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.). Rev. Mex. Cienc. Agríc. 2(6):855-866.
- Rastogi, A. and Shukla, S. 2013. Amaranth: a new millennium crop of nutraceutical values. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 53(1):109-125. doi.org/10.1080/10408398.2010.517876.
- Rojas, W.; Pinto, M.; Alanoca, C.; Gómez, P. L.; Leónlobos, P.; Alercia, A.; Diulgheroff, S.; Padulosi, S. y Bazile, P. 2014. Conservación ex situ de los recursos genéticos de quinoa. *In*: Bazile, D.; Bertero, D. y Nieto, C. (Ed.). Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013. FAO. Santiago de Chile y CIRAD FAO. Santiago de Chile y CIRAD, Montpellier, Francia. 65-94 pp. https://agritrop.cirad.fr/574151/1/document_574151.pdf.
- Thiam, E.; Alloui, A.; Benhabib, O. 2021. Quinoa productivity and stability evaluation through varietal and environmental interaction. Plants. 10(714):1-14. doi.org/10.3390/plants10040714.
- Tiwari, S.; Pant, N. Ch.; Gupta, A.; Dwivedi, U.; Meena, J. K.; Pandey, C. S.; Dhoundiyal, R. and Bhatt, A. 2018. Genetic variability and genetic divergence for seed yield and its components characters in grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) germplasm. Inter. J. Chem Stud. 6(2):3292-3297.
- Venskutonis, P. R. and Kraujalis, P. 2013. Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 12(2):381-412. doi: 10.1111/1541-4337.12021.
- Zurita-Silva, A.; Fuentes, F.; Jacobsen, S. E. and Schwember, A. 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Mol. Breed. 34(1):13-30. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11032-014-0023-5>.