



Germination rate and cardinal temperatures in *Chenopodium quinoa* Suyana and Tunkahuan varieties

Velocidad de germinación y temperaturas cardinales en *Chenopodium quinoa* Suyana y Tunkahuan

Ramírez-Santiago, D.¹, De-La-Cruz-Guzmán, G. H.^{1*}, Espitia-Rangel, E.², Sampayo-Maldonado, S.¹, Mandujano-Piña, M.¹, Arriaga-Frías, A.¹

¹Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. de los Barrios Núm. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México. México. C. P. 54090.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Progreso 5, Santa Catarina, Ciudad de México, CDMX, México. C. P. 04010.

Cite this paper/Como citar este artículo: Ramírez-Santiago, D., De-La-Cruz-Guzmán, G. H., Espitia-Rangel, E., Sampayo-Maldonado, S., Mandujano-Piña, M., Arriaga-Frías, A. (2020). Germination rate and cardinal temperatures in *Chenopodium quinoa* Suyana and Tunkahuan varieties. *Revista Bio Ciencias* 7, e880. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.07.e880>



ABSTRACT

The effect of ten temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 °C) on germination of *Chenopodium quinoa* Suyana and Tunkahuan was evaluated. The seeds of each variety were harvested during the spring-summer 2017 cycle in Texcoco, state of Mexico and donated for this research in February 2019. The experimental units were 100 x 15 mm Petri dishes, with two double discs of absorbent paper moistened with 5 mL of distilled water, and 100 seeds of Suyana or Tunkahuan. The treatments with five replicates were each one of the temperatures. For germination, five experimental units of each variety were placed into incubators under total darkness, adjusted to the mentioned temperatures ± 0.5 °C. The following parameters were evaluated: total germination,

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: November 24th 2019.

Accepted/Aceptado: June 22th 2020.

Available on line/Publicado: August 7th 2020.

*Corresponding Author:

Gumerindo Honorato, De-La-Cruz-Guzmán. Unidad de Morfología y Función, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Av. de los Barrios Núm. 1, Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México. México. C. P. 54090. Phone: +52 555 623 1257. E-mail: moashi@unam.mx, <http://www.iztacala.unam.mx>

RESUMEN

Se evaluó el efecto de diez temperaturas (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 °C) en la germinación de *Chenopodium quinoa* Suyana y Tunkahuan. Las semillas de cada variedad fueron cosechadas durante el ciclo primavera-verano 2017 en Texcoco, Estado de México y donadas para esta investigación en febrero de 2019. Las unidades experimentales fueron cajas petri de 100 x 15 mm, con dos discos dobles de papel absorbente humedecidos con 5 mL de agua destilada, y 100 semillas de Suyana o Tunkahuan. Los tratamientos con cinco repeticiones fueron cada una de las temperaturas. Para la germinación, cinco unidades experimentales de cada variedad se colocaron en incubadoras, con total obscuridad, ajustadas a las temperaturas mencionadas ± 0.5 °C. Se evaluó: germinación total, velocidad de germinación, germinación media (t_{50}) y temperaturas cardinales. En la variedad Tunkahuan, la germinación mayor que 90 % se presentó entre 5 y 40 °C, mientras que en Suyana ocurrió entre 15 y 35 °C. La velocidad de germinación fue mayor en Suyana que en Tunkahuan y ocurrió entre 30 y 40 °C. El valor

germination rate, average germination (t_{50}) and cardinal temperatures. In the Tunkahuan variety, germination higher than 90 % occurred between 5 and 40 °C, whereas in Suyana it occurred between 15 and 35 °C. Germination rate was higher in Suyana than in Tunkahuan and it occurred between 30 and 40 °C. The t_{50} value was obtained in less time in Tunkahuan (7.1 h) than in Suyana (8.1 h). Basal, optimum and maximum temperatures were: 2.3 and 1.8; 30.2 and 33.2; 48.8 and 62.2 °C for Suyana and Tunkahuan, respectively. In conclusion, Tunkahuan seeds germinated successfully in a wider range of temperatures, which could improve their establishment in arid and warm areas.

KEY WORDS

Total germination, average germination, basal temperature, optimum temperature, maximum temperature, quinoa.

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a species of the Amaranthaceae family, having a high potential of cultivation due to its nutritional properties, adaptation to diverse habitats and genetic diversity (Abugoch-James, 2009; Bhargava and Srivastava, 2013). The prehispanic civilizations of Peru and Bolivia located in the surroundings of Titicaca lake began its domestication in 8000 or 7500 BC (Zurita-Silva *et al.*, 2014).

In the Andean region, quinoa is widely cultivated and has been classified into five ecotypes according to the sites where it is grown: From valley, which grows from 2000 to 3500 masl in Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia; from high plateau, which is cultivated in the surroundings of the Titicaca lake at more than 3500 masl; from halophyte soils, including cultivars highly tolerant to salinity; from sea level, which grows in central and southern Chile; and from subtropical or from Yungas which grows in low-altitude humid valleys in Bolivia (Padrón *et al.*, 2014; Hinojosa *et al.*, 2018). Depending on the characteristics of the genotype and of the phenological stage, quinoa is able to tolerate temperatures from -8 to 35 °C and relative humidities from 40 to 88 % (Jacobsen *et al.*, 2005). Of the countries that conform the Andes, Bolivia is the main producer, having destined 43,800 ha for the cultivation of quinoa in 2010 with an average yield of 1.8 t ha⁻¹ (Jacobsen, 2011). Due to the

de t_{50} se obtuvo en menor tiempo en Tunkahuan (7.1 h) que en Suyana (8.1 h). Las temperaturas base, óptimas y máximas fueron: 2.3 y 1.8; 30.2 y 33.2; 48.8 y 62.2 °C para Suyana y Tunkahuan respectivamente. En conclusión, las semillas de Tunkahuan germinan exitosamente en un rango más amplio de temperaturas, lo que podría facilitar su establecimiento en zonas áridas y cálidas.

PALABRAS CLAVE

Germinación total, germinación media, temperatura base, temperatura óptima, temperatura máxima, quinoa.

Introducción

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie de la familia Amaranthaceae, tiene alto potencial de cultivo debido a sus propiedades nutricionales, adaptación a diversos hábitats y diversidad genética (Abugoch-James, 2009; Bhargava y Srivastava, 2013). Las civilizaciones prehispánicas de Perú y Bolivia ubicadas en los alrededores del lago Titicaca iniciaron su domesticación hace 8000 o 7500 años a.c. (Zurita-Silva *et al.*, 2014).

En la región andina la quinoa es ampliamente cultivada y por los sitios donde se desarrolla se le ha clasificado en cinco ecotipos: De valle, que crecen de 2000 a 3500 masl en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia; De altiplano, que se cultivan en los alrededores del lago Titicaca con más de 3500 masl; De salares que incluye cultivares altamente tolerantes a la salinidad; De nivel del mar, que se desarrollan en el centro y sur de Chile y subtropical o de yungas que crecen en los valles húmedos de baja altitud en Bolivia (Padrón *et al.*, 2014; Hinojosa *et al.*, 2018). Dependiendo de las características del genotipo y de la fase fenológica, la quinoa puede tolerar temperaturas de -8 a 35 °C y humedades relativas de 40 a 88 % (Jacobsen *et al.*, 2005). De los países que integran la cordillera de los Andes, Bolivia es el mayor productor, en 2010 destinó para el cultivo de quinoa 43 800 ha con rendimiento promedio de 1.8 t ha⁻¹ (Jacobsen, 2011). Por la diversidad de los hábitats donde se cultiva, se esperaba que algunos ecotipos de quinoa pudieran desarrollarse con rendimientos similares en Norteamérica o en otros sitios del mundo. Sin embargo, a pesar de la amplia adaptación que la quinoa tiene en los Andes, fuera de ellos las temperaturas mayores de 35 °C durante la floración son la principal limitante para la formación de semillas, lo que disminuye el rendimiento

diversity of habitats where it is cultivated, some ecotypes of quinoa are expected to be able to be developed with similar yields in North America or in other sites of the world. However, despite the wide adaptation that quinoa has in the Andes, temperatures higher than 35 °C during flowering are the main limiting factor for the formation of seeds, which decreases the yield and represents the highest barrier for its expansion worldwide (Bazile *et al.*, 2016; Hinojosa *et al.*, 2018). Faced with this issue and due to the contribution of quinoa grains with food safety since they are gluten-free, have a high protein content (16 %) with a quality comparable to casein, iron, vitamins, antioxidants and amino acids such as lysine (Padrón *et al.*, 2014; Zurita-Silva *et al.*, 2014; Wi *et al.*, 2016), it is important to perform research where the effect of temperature on quinoa seeds germination is assessed, with the purpose of suggesting possible environments where its cultivation can be established.

Germination, which begins with the imbibition of the seed and finalizes when the radicle emerges, it is of great importance because it represents the first stage of the life cycle of a plant. The establishment of a crop depends on seeds germination that in turn is in accordance with temperature values (Nonogaki *et al.*, 2010). For most of cereals, maximum germination occurs between 20 and 30 °C, outside this range, values decrease significantly (Berti & Johnson, 2008). In seeds of *Chenopodium quinoa* Kamiri, Robura, Sajama and Samaranti var., the optimum germination (90%) occurs at 30 ± 2 °C, but its range of temperatures with germinative capacity goes from 15 to 45 °C (Bewley & Black, 1994; Boreo *et al.*, 2000; González *et al.*, 2017). In the proximities of minimum or basal temperatures and maximum or threshold ones, the number of germinated seeds decreases with regards to the optimum temperature that in addition, presents the higher germination rate. Basal, optimum and threshold temperatures are also called cardinal temperatures, outside of this range, germination does not occur (Windauer *et al.*, 2007; Calzada-López *et al.*, 2014).

Total germination, germination rate and cardinal temperatures are important since they can be taken as a reference for suggesting dates and locations for sowing with success possibilities. Mohamed *et al.*, (1988) mentioned that the seeds germinated between 0 and 35 °C will prosper in temperate zones, while the ones germinating between 10 and 45 °C will develop in tropical zones (Caroca *et al.*, 2016). In *Chenopodium quinoa*, Suyana and Tunkahuan varieties, studies implicating seeds germination

and represents the major barrier for its expansion at a global level (Bazile *et al.*, 2016; Hinojosa *et al.*, 2018). Ante esta problemática y debido a la contribución de los granos de quinoa con la seguridad alimentaria debido a que están libres de gluten, tienen alto contenido de proteínas (16 %) con calidad comparable a la caseína, hierro, vitaminas, antioxidantes y aminoácidos como la lisina (Padrón *et al.*, 2014; Zurita-Silva *et al.*, 2014; Wu *et al.*, 2016), resulta importante realizar investigaciones donde se evalúe el efecto de la temperatura en la germinación de las semillas de quinoa, con la intención de sugerir posibles ambientes donde pueda establecerse su cultivo.

La germinación, que inicia con la imbibición de la semilla y finaliza cuando la radícula emerge, es de gran importancia porque representa la primera fase del ciclo de vida de una planta. El establecimiento de un cultivo depende de la germinación de las semillas que a su vez está en función de los valores de temperatura (Nonogaki *et al.*, 2010). Para la mayoría de los cereales, la germinación máxima ocurre entre 20 y 30 °C, fuera de este intervalo los valores disminuyen significativamente (Berti y Johnson, 2008). En semillas de *Chenopodium quinoa* Kamiri, Robura, Sajama y Samaranti, la germinación óptima (90 %) ocurre a 30 ± 2 °C, pero su intervalo de temperaturas con capacidad germinativa va de 15 a 45 °C (Bewley y Black, 1994; Boreo *et al.*, 2000; González *et al.*, 2017). En las proximidades de las temperaturas mínimas o basales y máximas o umbrales, el número de semillas germinadas disminuye con respecto a la óptima que además presenta la mayor velocidad de germinación. Las temperaturas basales, óptimas y umbrales, también son llamadas temperaturas cardinales, fuera de este intervalo, la germinación no ocurre (Windauer *et al.*, 2007; Calzada-López *et al.*, 2014).

La germinación total, la velocidad de germinación y las temperaturas cardinales son importantes porque se pueden tomar como referencia para sugerir fechas y localidades de siembra con posibilidades de éxito. Mohamed *et al.* (1988) mencionan que las semillas germinadas entre 0 y 35 °C prosperarán en zonas templadas, mientras que las que lo hacen entre 10 y 45 °C se desarrollarán en zonas tropicales (Caroca *et al.*, 2016). En *Chenopodium quinoa* variedades Suyana y Tunkahuan, no se han realizado estudios que impliquen la germinación de semillas en distintas temperaturas, que, si bien no resolverían el problema de su establecimiento en hábitats fuera de los Andes, sí contribuyen para sugerir sitios de establecimiento y fechas de siembra. Por ello, el objetivo de esta investigación fue

at various temperatures have not been performed yet, which, although they would not solve the problem regarding their establishment in habitats beyond the Andes, they do contribute to the suggestion of establishment sites and dates for sowing. Therefore, the objective of this research was to evaluate the effect of various temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 and 50 °C) on total germination, germination rate, average germination (t_{50}) and cardinal temperatures of *Chenopodium quinoa*, Suyana and Tunkahuan varieties.

Material and Methods

Chenopodium quinoa seeds, Suyana and Tunkahuan varieties, were harvested during the spring-summer 2017 cycle in the experimental field of the INIFAP, Texcoco de Mora, Estado de Mexico and donated for this research in February 2019. The seeds used for the test were separated and counted for making up the experimental units that consisted in a Petri dish of 100 x 15 mm, with two absorbent double paper disks moistened with 5 mL of distilled water and 100 seeds of *Chenopodium quinoa* Suyana or Tunkahuan varieties. The experimental design, with five replicates, consisted in 10 treatments or germination temperatures 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, and 50 °C. For each variety, 50 experimental units were obtained and randomly distributed into each treatment. For the germination process, from imbibition to the emission of the radicle, five experimental units of each variety were placed in incubators under total darkness and adjusted to the temperatures of each treatment. The margin of error in each equipment was of ± 0.5 °C. The following parameters were evaluated:

Total germination

In the experimental units of each treatment, the total number of germinated seeds was counted, considered as germinated when the emergence of the radicle had a length of ≥ 3 mm. The value in percentage was obtained with the equation proposed by Sampayo-Maldonado *et al.*, (2017).

$$G (\%) = \frac{n}{N} * 100$$

Where: n, number of germinated seeds; N, total number of seeds per experimental unit.

evaluar el efecto de distintas temperaturas (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 °C) en la germinación total, velocidad de germinación, germinación media (t_{50}) y temperaturas cardinales de *Chenopodium quinoa* variedades Suyana y Tunkahuan.

Material y Métodos

Las semillas de *Chenopodium quinoa* variedades Suyana y Tunkahuan, fueron cosechadas durante el ciclo primavera-verano 2017 en el campo experimental del INIFAP, Texcoco de Mora, Estado de México y donadas para esta investigación en febrero de 2019. Las semillas que se utilizaron para el ensayo fueron separadas y contadas para conformar las unidades experimentales que consistieron en una caja Petri de 100 x 15 mm, con dos discos dobles de papel absorbente humedecidos con 5 mL de agua destilada y 100 semillas de *Chenopodium quinoa* variedad Suyana o Tunkahuan. El diseño del experimento, con cinco repeticiones, consistió en diez tratamientos o temperaturas de germinación 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50 °C. Para cada variedad se tuvieron 50 unidades experimentales distribuidas de manera aleatoria en cada tratamiento. Para el proceso de germinación, desde la imbibición hasta la emisión de la radícula, cinco unidades experimentales de cada variedad se colocaron en incubadoras con total obscuridad y ajustadas a las temperaturas de cada tratamiento. El margen de error en cada equipo fue de ± 0.5 °C. Se evaluó:

Germinación total

En las unidades experimentales de cada tratamiento se contó el número total de semillas germinadas, consideradas así cuando la emergencia de la radícula tuvo una longitud ≥ 3 mm. El valor en porcentaje se obtuvo con la ecuación propuesta por Sampayo-Maldonado *et al.* (2017).

$$G (\%) = \frac{n}{N} * 100$$

Dónde: n, número de semillas germinadas; N, número total de semillas por unidad experimental.

Velocidad de germinación

Las unidades experimentales se revisaron cada 2 h y se contabilizó, sin reemplazo, el número de semillas germinadas. En los tratamientos de 15 a 40 °C, el registro

Germination rate

The experimental units were examined every 2 h and, without replacement, the number of germinated seeds was counted. In the treatments from 15 to 40 °C, the record ended when 6 h passed without emission of the radicle, in the treatments from 45 to 50 °C when the seeds increased their volume and exploded when being touched and in the treatments from 5 to 10 °C when they collapsed and hardened. Germination rate was obtained with the equation proposed by Calzada-López *et al.* (2014).

$$VG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_i}{N_i} + \dots + \frac{G_n}{N_n} = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Where: VG, germination rate; Gi, number of germinated seeds at time i; Ni, time i (hours) since the experimental units were placed in the incubators.

Average germination or t_{50}

In the Petri dishes of each treatment the number of hours passed since the imbibition of the seeds until 50 % of germination was reached, was registered. The TableCurve 2D v.3 Software was used for adjusting the sigmoid models and for obtaining the value of t_{50} for interpolation (Ordoñez-Salanueva *et al.*, 2015).

Cardinal temperatures: basal temperature (Tb), optimum temperature (To), maximum temperature (Tm).

Basal temperature (Tb). With TableCurve 2D v.3 software, in the experimental units of each treatment, germination time of the *Chenopodium quinoa* seeds Suyana or Tunkahuan varieties was calculated in percentiles with intervals of 10. The inverse of germination time was graphed as a function of the temperature in order to observe the tendency of the data, locate the point of inflexion and determinate the suboptimum temperature. Then, a linear regression was performed to obtain the parameters of each percentile of germination (Ellis *et al.*, 1986). The mean value of interception x (β_0) was calculated and utilized for performing a second linear regression of each percentile of germination, another β_0 was obtained, the mean average of both values represented the basal temperature of germination for each quinoa variety.

Maximum temperature (Tm). With TableCurve 2D v.3 software, suboptimum temperatures were determined, used to perform a linear regression to obtain the parameters of

concluyó cuando transcurrieron 6 h sin emisión de radícula, en los de 45 y 50 °C cuando las semillas aumentaron su volumen y explotaron al tocarlas y en los de 5 y 10 °C cuando se colapsaron y endurecieron. La velocidad de germinación se obtuvo con la ecuación propuesta por Calzada-López *et al.* (2014).

$$VG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_i}{N_i} + \dots + \frac{G_n}{N_n} = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Dónde: VG, velocidad de germinación; Gi, número de semillas germinadas en el tiempo i; Ni, tiempo i (horas) desde que las unidades experimentales se colocaron en las incubadoras.

Germinación media o t_{50}

En las cajas Petri de cada tratamiento se registró el número de horas transcurridas desde la imbibición de las semillas hasta que se alcanzó el 50 % de la germinación. El Software TableCurve 2D v.3 fue utilizado para ajustar los modelos sigmoides y obtener el valor de t_{50} por interpolación (Ordoñez-Salanueva *et al.*, 2015).

Temperaturas cardinales: temperatura base (Tb), temperatura óptima (To), temperatura máxima (Tm).

Temperatura base (Tb). Con el software TableCurve 2D v.3, en las unidades experimentales de cada tratamiento, se calculó en percentiles con intervalos de 10, el tiempo de germinación de las semillas de *Chenopodium quinoa* variedades Suyana o Tunkahuan. El inverso del tiempo de germinación se graficó como función de la temperatura para observar la tendencia de los datos, ubicar el punto de inflexión y determinar las temperaturas subóptimas. Posteriormente, se ejecutó la regresión lineal para obtener los parámetros de cada percentil de germinación (Ellis *et al.*, 1986). Se calculó el valor medio de la intercepción x (β_0) y se utilizó para ejecutar una segunda regresión lineal de cada percentil de germinación, se obtuvo otra β_0 , el promedio de ambos valores representó la temperatura base de germinación para cada variedad de quinoa.

Temperatura máxima (Tm). Con el software TableCurve 2D v.3, se determinaron las temperaturas supraóptimas, con ellas se realizó una regresión lineal para obtener los parámetros para cada porcentaje de germinación. Se obtuvo el valor promedio de β_0 , con el cual se realizó una

each percentage of germination. The mean value of β_0 was obtained, with which the second linear regression was performed and the average value of β_0 was obtained once again, which was the maximum temperature value (Hardegree, 2006).

Optimum temperature (T_o). Once basal and maximum temperatures were obtained, the equations of the second regression were equaled to zero. The value obtained was the optimum temperature (Hardegree, 2006).

Statistical analysis

A one-way analysis of variance and a comparison of means test (Tukey $\alpha \leq 0.05$) were applied to the values of total germination and germination rate, with SAS® v. 9.0 software for Windows. For their analysis, data in percentage were arcsin-transformed and returned to percentage for their description and discussion. TableCurve 2D v.3 software was used to obtain the values of t_{50} and cardinal temperatures.

Results and Discussion

Total germination

The total germination of *Chenopodium quinoa* Suyana was significantly higher (from 91 to 99.4 %) when seeds were exposed to temperatures between 15 and 35 °C, while at 5, 10 or 40 °C, the germination the percentages of germination oscillated from 73 to 87 % and were similar to each other. Nevertheless, with temperatures of 45 or 50 °C, germination drastically decreased to 20.2 and 6.4 %, respectively. In *Chenopodium quinoa* Tunkahuan, germination was significantly higher, with values between 94 and 100 %, registered between 5 and 40 °C and with 45 or 50 °C, germination was of 40 %, with no differences induced by effect of the imbibition temperatures (Table 1).

Between 5 and 40 °C, the seeds of *Chenopodium quinoa* Tunkahuan had 94 % of germination, whereas at 45 or 50 °C, the values were 2 or 6 times higher compared to Suyana seeds, whose germination at these temperatures was of 20.2 % and 6.4 %, respectively. The different responses to germination of these two varieties suggested that Tunkahuan could be cultivated in cold, temperate or warm areas, but not Suyana since its cultivation would be restricted to temperate and cold zones. Among different

segunda regresión lineal y se obtuvo nuevamente el valor promedio de β_0 , que fue el valor de temperatura máxima (Hardegree, 2006).

Temperatura óptima (T_o). Una vez obtenidas las temperaturas base y máxima, las ecuaciones de la segunda regresión se igualaron a cero. El valor obtenido fue la temperatura óptima (Hardegree, 2006).

Análisis estadístico

A los valores de germinación total y velocidad de germinación se les aplicó análisis de varianza de un factor y pruebas de comparación de medias (Tukey $\alpha \leq 0.05$) con el software SAS® v. 9.0 para Windows. Los datos en porcentaje fueron transformados para su análisis a arcoseno y devueltos a porcentaje para su descripción y discusión. Para obtener los valores de t_{50} y temperaturas cardinales se utilizó el software TableCurve 2D v.3.

Resultados y Discusión

Germinación total

La germinación total de *Chenopodium quinoa* Suyana fue significativamente mayor (de 91 a 99.4 %) cuando las semillas se expusieron entre 15 y 35 °C, mientras que a 5, 10 o 40 °C, los porcentajes de germinación fluctuaron de 73 a 87 % y fueron similares entre sí. Sin embargo, con temperaturas de 45 o 50 °C la germinación disminuyó drásticamente hasta 20.2 y 6.4 % respectivamente. En *Chenopodium quinoa* Tunkahuan la germinación significativamente mayor, con valores entre 94 y 100 %, se registró entre 5 y 40 °C y con 45 o 50 °C la germinación fue de 40 %, sin diferencias por efecto de las temperaturas de imbibición (Tabla 1).

Entre 5 y 40 °C, las semillas de *Chenopodium quinoa* Tunkahuan tuvieron 94 % de germinación, mientras que a 45 o 50 °C, los valores fueron 2 o 6 veces mayores comparados con los de Suyana, cuya germinación en esas temperaturas fue de 20.2 y 6.4 % respectivamente. Las respuestas a la germinación diferentes de estas dos variedades sugieren que Tunkahuan podría cultivarse en áreas frías, templadas o cálidas, no así Suyana, que su cultivo se restringiría a zonas templadas y frías. Entre especies diferentes o cultivares de la misma especie, el porcentaje de semillas germinadas puede variar con la

Table 1.
Seeds of two varieties of *Chenopodium quinoa* imbibed at ten different temperatures.

Tabla 1.
Semillas de dos variedades de *Chenopodium quinoa* embebidas a diez temperaturas diferentes.

Temperature (°C)	Germination (%)	
	Suyana	Tunkahuan
5	73.2 d ²	94.2 a
10	87.4 bc	95.4 a
15	91.0 abc	97.2 a
20	92.2 ab	100 a
25	93.6 ab	98.6 a
30	99.4 a	95.6 a
35	94.6 ab	99.2 a
40	80.6 cd	95.0 a
45	20.2 e	42.8 b
50	6.4 f	36.6 b
HSD	10.6	10.7
CV (%)	6.7	5.9

²The means followed by different letters, in each column, indicate significant differences (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). HSD, honest significant difference test; CV, coefficient of variation. Each data is the average of five replicates.

²Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). HSD, diferencia honesta significativa; CV, coeficiente de variación. Cada dato es el promedio de cinco réplicas.

species or cultivars of the same species, the percentage of seeds germinated can vary with temperature, for instance, Steckel *et al.* (2004) mentioned that eight of nine species of *Amaranthus* have percentages of germination between 72 % and 82 % °C at 30 °C, except *Amaranthus blitoides* which has a better response between 20 and 25 °C. *Physalis philadelphica* seeds, Diamante, Chapingo and Tecozahutla cultivars had higher germination values than 80 % between 15 and 35 °C, whereas *P. philadelphica* cv. Cerro Gordo had more restriction induced by effect of the temperature since the same percentage of germination was shown between 20 and 35 °C (Calzada-López *et al.*, 2014). In *Chenopodium quinoa*, the seeds belonging to Sajama, Santamaría or Titicaca cultivars have a germination ≥ 70 % when they are imbibed between 5 and 40 °C. Particularly, seeds from Titicaca cultivar stand out because their germination is higher than 97 % from 5 to 35 °C and it barely decreases to 88 % at 40 °C (Mamedi *et al.*, 2017). In the same interval of temperatures (from 5 to 40 °C), seeds of *Chenopodium quinoa* Suyana, assessed in this research work, had a higher percentage of germination than the

temperatura, por ejemplo, Steckel *et al.* (2004) mencionan que de nueve especies de *Amaranthus*, ocho de ellas tienen porcentajes de germinación entre 72 y 82 % a 30 °C, excepto *Amaranthus blitoides* que responde mejor entre 20 y 25 °C. Semillas de *Physalis philadelphica* cultivares Diamante, Chapingo y Tecozahutla tuvieron valores de germinación mayores que 80 % entre 15 y 35 °C, mientras que las de *P. philadelphica* cv. Cerro Gordo tuvieron más restricción por efecto de la temperatura ya que el mismo porcentaje de germinación lo mostraron entre 20 y 35 °C (Calzada-López *et al.*, 2014). En *Chenopodium quinoa*, las semillas de los cultivares Sajama, Santamaría o Titicaca tienen germinación ≥ 70 % cuando se imbiben entre 5 y 40 °C. Particularmente, las del cultivar Titicaca destacan porque desde 5 hasta 35 °C su germinación es mayor que 97 % y a 40 °C apenas disminuye a 88 % (Mamedi *et al.*, 2017). En el mismo intervalo de temperaturas (de 5 a 40 °C), las semillas de *Chenopodium quinoa* Suyana, evaluadas en esta investigación, tuvieron mayor porcentaje de germinación que las de *Ch. quinoa* cv. Sajama o Santamaría, mientras que las semillas de la

ones of *Ch. Quinoa* cv. Sajama or Santamaría, whereas the seeds of the Tunkahuan variety, which were also assessed in this research study, stood out from the other four, since even at 5 or 50 °C its germination was of 94 and 37 %, respectively. Therefore, *Chenopodium quinoa* Tunkahuan can be considered as a viable option in a selection program of genotypes tolerant to extreme temperatures, with the condition that the temperature of the environment does not exceed 35 °C during the flowering stage, otherwise, the panicle will not form grains (Hinojosa *et al.*, 2018).

Germination rate.

The highest germination rate (7.4 seeds h⁻¹) occurred at 30 °C in *Chenopodium quinoa* Suyana, whereas Tunkahuan had its higher rate (6.6 seeds h⁻¹) in the interval from 30 to 40 °C. At 5 °C, the germination rate decreased to 0.35 in both varieties, but at 50 °C, it was 59 % lower in Suyana compared with Tunkahuan where 2.7 seeds h⁻¹ germinated. In the range of temperature from 0 to 25 °C, germination remained between 2 and 5 seeds h⁻¹ regardless of variety (Figure 1).

variedad Tunkahuan, que también se evaluaron en esta investigación, sobresalieron entre las otras cuatro, ya que incluso a 5 o 50 °C su germinación fue de 94 y 37 % respectivamente. Por esta razón *Chenopodium quinoa* Tunkahuan puede considerarse como una opción viable en un programa de selección de genotipos tolerantes a temperaturas extremas. Con la condición de que durante la fase de floración la temperatura del ambiente no sobrepase los 35 °C, de lo contrario, las panojas no formarán granos (Hinojosa *et al.*, 2018).

Velocidad de germinación

La velocidad de germinación mayor (7.4 semillas h⁻¹) ocurrió a 30 °C en *Chenopodium quinoa* Suyana, mientras que Tunkahuan tuvo su tasa mayor (6.6 semillas h⁻¹) en el intervalo de 30 a 40 °C. A 5 °C la velocidad de germinación disminuyó a 0.35 en ambas variedades, pero a 50 °C, en Suyana fue 59 % menor comparada con Tunkahuan donde germinaron 2.7 semillas h⁻¹. En el intervalo de temperatura que va de 0 a 25 °C, la germinación se mantuvo entre 2 y 5 semillas h⁻¹ sin importar la variedad (Figura 1).

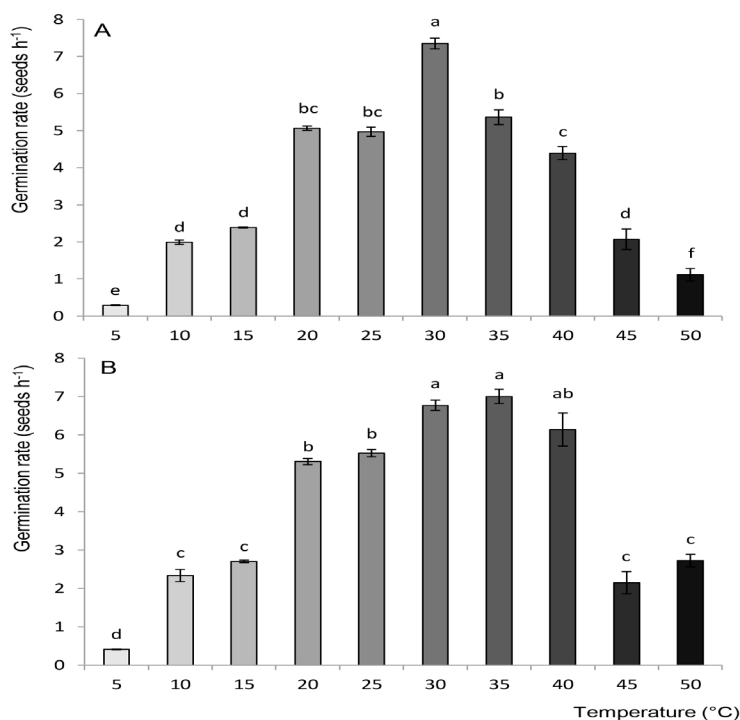


Figure 1. Germination rate of *Chenopodium quinoa* Suyana (A) or Tunkahuan (B). Each data is the mean of 5 replicates \pm standard error. Different letters in each evaluation temperature indicate significant differences (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Figura 1. Tasa de germinación de *Chenopodium quinoa* Suyana (A) o Tunkahuan (B). Cada dato es la media de 5 repeticiones \pm error estándar. Letras diferentes en cada temperatura evaluada indican diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

Germination rate can change with the temperature of imbibition of the seeds and with the characteristics that each cultivar acquired during its process of domestication. For instance, in *Physalis philadelphica*, Diamante, Chapingo, Tecozautla or Cerro Gordo cultivars have a higher germination rate (17.3 to 21.6 seeds h⁻¹) between 20 and 35 °C, *P. philadelphica* Diamante always showing the highest values (Calzada-López et al., 2014). In researches performed with quinoa, Boero et al. (2000) mentioned that in seeds of *Chenopodium quinoa* Kamiri, Robura, Sajama and Samaranti varieties, placed onto Petri dishes at 8 °C, germination rate fluctuated between 0.1 and 0.5 seeds h⁻¹. A similar response was observed in *Ch. Quinoa* Suyana or Tunkahuan, at 5 °C. On the other hand, Hinojosa et al., (2018) mentioned that in Andean cultivars of *Chenopodium quinoa* like Chucapaca, Surumi, Kamiri, Juganda and Jiwaki varieties, among others, germination rate decreased as temperature did, since 3 h were required, from imbibition, for viable seeds to germinate when exposed at 20 °C, but the time was increased to 11 h when they were imbibed at 5 °C and to more than 22 hours at 2 °C. In this experiment, the time required for the germination of *Ch. Quinoa* Suyana or Tunkahuan seeds, exposed at 5 °C, was of 122 h. The difference of 100 hours could be attributed to environment-induced preconditioning where Suyana or Tunkahuan varieties were developed (between 22 and 27 °C), compared with cultivars of the Andean region that are developed with temperatures closed to 0 °C.

Average germination (t_{50})

The seeds of *Chenopodium quinoa* Suyana placed between 20 and 35 °C required, in average, 8.1 h to obtain t_{50} , whereas the ones of Tunkahuan obtained it in 7.1 h and the range of temperatures was from 20 to 40 °C. In both varieties the shortest times to obtain t_{50} were of 6 hours and occurred at 30 °C. Below 20 °C the time to obtain t_{50} was increased and above 40 °C, average germination was not reached by any of the two varieties (Figure 2).

Bois et al. (2006) mentioned that, for varieties of *Chenopodium quinoa* cultivated in the Andes such as Surumi, Kamiri and Juganda varieties, among others, the temperature needed for 100 % of germination to occur oscillates between 18 and 23 °C. For Suyana or Tunkahuan varieties, whose seeds were harvested from plants that were developed between 22 and 27 °C, 100 % of germination and the t_{50} values with shorter times were obtained at 30 °C. The aforementioned suggests that the site where the crops are developed could precondition seeds so that their

La velocidad de germinación puede cambiar con la temperatura de imbibición de las semillas y con las características que cada cultivar adquirió durante su proceso de domesticación. Por ejemplo, en *Physalis philadelphica*, los cultivares Diamante, Chapingo, Tecozautla o Cerro Gordo tienen velocidad de germinación mayor (17.3 a 21.6 semillas h⁻¹) entre 20 y 35 °C, mostrando siempre *P. philadelphica* Diamante los valores más altos (Calzada-López et al., 2014). En investigaciones realizadas con quinoa, Boero et al. (2000) mencionan que en semillas de *Chenopodium quinoa* variedades Kamiri, Robura, Sajama y Samaranti, colocadas en cajas Petri a 8 °C, la velocidad de germinación fluctúa entre 0.1 y 0.5 semillas h⁻¹. Respuesta similar se observó en *Ch. quinoa* Suyana o Tunkahuan, a 5 °C. Por otro lado, Hinojosa et al. (2018) mencionan que en cultivares andinos de *Chenopodium quinoa* como Chucapaca, Surumi, Kamiri, Juganda y Jiwaki entre otros, la velocidad de germinación disminuye conforme lo hace la temperatura, ya que requieren de 3 h, a partir de la imbibición, para que sus semillas viables germinen cuando se exponen a 20 °C, pero el tiempo se incrementa a 11 h cuando se imbiben a 5 °C y a más de 22 horas a 2 °C. En este experimento, el tiempo requerido para la germinación de las semillas de *Ch. quinoa* Suyana o Tunkahuan, expuestas a 5 °C, fue de 122 h. La diferencia de 100 horas podría atribuirse al preacondicionamiento inducido ambiente donde se desarrollaron las variedades Suyana o Tunkahuan (entre 22 y 27 °C), comparada con los cultivares de la región andina que se desarrollan con temperaturas cercanas a los 0 °C.

Germinación media (t_{50})

Las semillas de *Chenopodium quinoa* Suyana que se colocaron entre 20 y 35 °C requirieron, en promedio, 8.1 h para obtener el t_{50} , mientras que las de Tunkahuan la obtuvieron en 7.1 h y el intervalo de temperaturas fue de 20 a 40 °C. En ambas variedades los tiempos más cortos para obtener t_{50} fueron de 6 horas y ocurrieron a 30 °C. Por debajo de 20 °C el tiempo para obtener t_{50} se incrementó y por arriba de 40 °C la germinación media no fue alcanzada por ninguna de las dos variedades (Figura 2).

Bois et al. (2006) mencionan, que variedades de *Chenopodium quinoa* que se cultivan en los Andes como Surumi, Kamiri y Juganda entre otras, la temperatura para que ocurra el 100 % de germinación oscila entre 18 y 23 °C. Para las variedades Suyana o Tunkahuan, cuyas semillas fueron cosechadas de plantas que se desarrollaron entre 22 y 27 °C, el 100 % de germinación y los valores de t_{50}

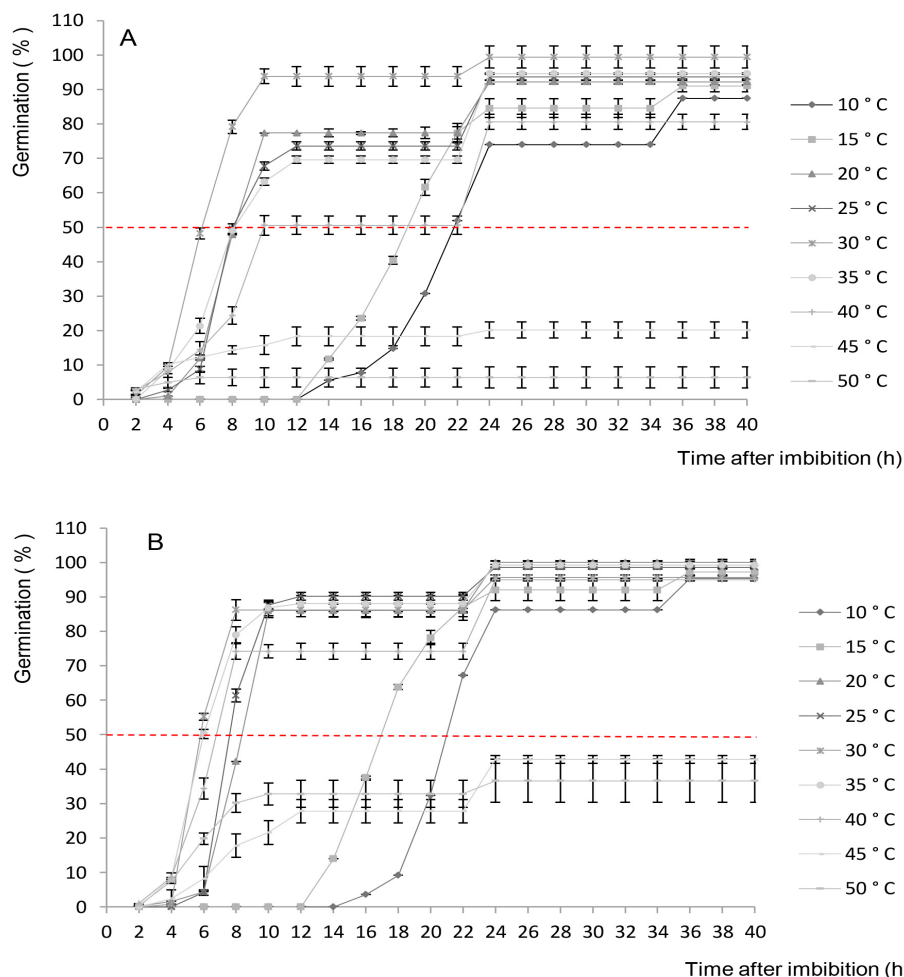


Figure 2. Time required for middle germination or t_{50} at each temperature. *Chenopodium quinoa* (A) Suyana (5 °C, 143.5 ± 2.6 h; 10, 21.7 ± 2.6; 15, 18.7 ± 1.4; 20, 8.1 ± 1.3; 25, 8.6 ± 2; 30, 6.2 ± 1.5; 35, 9.5 ± 2.7; 40 °C, 14.7 ± 2.7 h). (B) Tunkahuan (5 °C, 138.2 ± 1.6 h; 10, 21.0 ± 2.9; 15, 17.1 ± 2.0; 20, 8.3 ± 1.5; 25, 7.7 ± 2.0; 30, 5.9 ± 1.1; 35, 6.1 ± 2.7; 40 °C, 7.3 ± 3.5 h); at 45 or 50 °C, t_{50} was not obtained for any variety.

Figura 2. Tiempo requerido para la germinación media o t_{50} de cada temperatura. *Chenopodium quinoa* (A) Suyana (5 °C, 143.5 ± 2.6 h; 10, 21.7 ± 2.6; 15, 18.7 ± 1.4; 20, 8.1 ± 1.3; 25, 8.6 ± 2; 30, 6.2 ± 1.5; 35, 9.5 ± 2.7; 40 °C, 14.7 ± 2.7 h). (B) Tunkahuan (5 °C, 138.2 ± 1.6 h; 10, 21.0 ± 2.9; 15, 17.1 ± 2.0; 20, 8.3 ± 1.5; 25, 7.7 ± 2.0; 30, 5.9 ± 1.1; 35, 6.1 ± 2.7; 40 °C, 7.3 ± 3.5 h) a 45 o 50 °C, t_{50} no se obtuvo para ninguna variedad.

highest germination could occur at temperatures close to their development environment. During imbibition and reactivation of metabolism, stages I and II of germination, the exposure of seeds to low (≤ 5 °C) or high (≥ 35 °C) temperatures may cause death to the embryo, since events are affected, such as gibberellic acid synthesis or formation of mRNA participating in the activation of enzymes that degrade reserve compounds and translocate energy to the embryo (Bove *et al.*, 2001; Rosa *et al.*, 2004; Taiz &

con tiempos más cortos se obtuvieron 30 °C. Lo anterior sugiere que el sitio donde se desarrollan los cultivos podría precondicionar las semillas para que su mayor germinación ocurra en temperaturas cercana a su ambiente de desarrollo. Durante la imbibición y reactivación del metabolismo, fase I y II de la germinación, la exposición de las semillas a bajas (≤ 5 °C) o altas (≥ 35 °C) temperaturas puede provocar la muerte del embrión, ya que se afectan eventos como síntesis de ácido giberélico o formación de

Zeiger, 2010). Seeds of *Chenopodium quinoa* Suyana or Tunkahuan exposed at 5 °C, during stages I and II of germination, required 140 hours to reactivate their metabolism, obtain t_{50} value and final germination of 73 and 94 %, respectively. At 40 °C, t_{50} values were 7.3 and 14.7 h, with final germination of 95 and 80 % for Tunkahuan and Suyana varieties, respectively. These results indicated that, in seeds of both varieties, the events occurring during stages I and II of germination were slowed down with low temperatures (5 °C), but did not affect final germination, particularly in Tunkahuan variety. At the other end, high temperatures (≥ 40 °C) significantly decreased germination, perhaps due to the denaturalization of cell or mitochondrial membranes participating in the generation of energy (ATP) for the reactivation of the embryo (Taiz & Zeiger, 2010). Moreover, seeds of the Suyana variety were more susceptible than Tunkahuan ones when exposed to high temperatures during the germination process.

Cardinal temperatures

In *Chenopodium quinoa* Suyana, the equations obtained for suboptimum and supraoptimum temperatures were: $y = 0.006625X + (-0.022028)$; $y = -0.009213 + 0.457407$ and explained the variation of the germination rate in 86 and 65 %, respectively. For Tunkahuan variety, the equations and percentages with which the variation in germination rate could be explained were: $y = 0.006178X + (-0.0175544)$, 93 %; $y = -0.009213 + 0.457407$, 81 %; corresponding to suboptimum and supraoptimum temperatures, respectively. Basal, optimum and maximum temperatures were: 2.3 and 1.8; 30.2 and 33.2; 48.8 and 62.2 °C for *Chenopodium quinoa* Suyana and Tunkahuan, respectively (Figure 3).

For a species or cultivar, the knowledge of the cardinal temperatures results important to predict its distribution areas with possibilities of success (Singh *et al.*, 2008). The range of temperature where optimum germination occurs is unique in each cultivar and the exposure to suboptimum and supraoptimum temperatures could negatively affect seeds germination. However, those that maintain high percentages of germination at temperatures far from optimum might have a higher capacity to survive in warm or cold environments (Mamedí *et al.*, 2017). In this case, basal and optimum temperatures were similar for both varieties, nonetheless, the maximum temperature was of 48.8 °C for Suyana and of 62.2 °C for Tunkahuan, suggesting that the crop of this last variety can be successful in warm or dry climates and that both of them can prosper in cold climates,

mRNA que participan en la activación de enzimas que degradan los compuestos de reserva y translocan energía al embrión (Bove *et al.*, 2001; Rosa *et al.*, 2004; Taiz y Zeiger, 2010). Semillas de *Chenopodium quinoa* Suyana o Tunkahuan expuestas a 5 °C, durante las fases I y II de la germinación, requirieron de 140 horas para reactivar su metabolismo, obtener el valor de t_{50} y una germinación final de 73 y 94 % respectivamente. A 40 °C, los valores de t_{50} fueron 7.3 y 14.7 h, con germinación final de 95 y 80 % para las variedades Tunkahuan y Suyana respectivamente. Estos resultados indican que, en las semillas de ambas variedades, los eventos que ocurren durante las fases I y II de la germinación se ralentizan con bajas temperaturas (5 °C), pero no afectan la germinación final, particularmente en la variedad Tunkahuan. En el otro extremo, las altas temperaturas (≥ 40 °C) disminuyen significativamente la germinación, quizá debido a la desnaturalización de las membranas celulares o mitocondriales que participan en la generación de energía (ATP) para la reactivación del embrión (Taiz y Zeiger, 2010). Además, las semillas de la variedad Suyana son más sensible que las de Tunkahuan cuando se exponen a altas temperaturas durante el proceso de germinación.

Temperaturas cardinales

En *Chenopodium quinoa* Suyana, las ecuaciones que se obtuvieron para las temperaturas subóptimas y supraóptimas fueron: $y = 0.006625X + (-0.022028)$; $y = -0.009213 + 0.457407$ y explican la variación de la tasa de germinación en 86 y 65 % respectivamente. Para la variedad Tunkahuan las ecuaciones y porcentajes con los que se explica la variación en la tasa de germinación fueron: $y = 0.006178X + (-0.0175544)$, 93 %; $y = -0.009213 + 0.457407$, 81 % que corresponden a las temperaturas subóptimas y supraóptimas respectivamente. Las temperaturas base, óptimas y máximas fueron: 2.3 y 1.8; 30.2 y 33.2; 48.8 y 62.2 °C para *Chenopodium quinoa* Suyana y Tunkahuan respectivamente (Figura 3).

Para una especie o cultivar, el conocimiento de las temperaturas cardinales resulta importante para predecir sus áreas de distribución con posibilidades de éxito (Singh *et al.*, 2008). El intervalo de temperatura donde ocurre la germinación óptima es único en cada cultivar y la exposición a temperaturas subóptimas o supraóptimas podría afectar negativamente la germinación de las semillas. Sin embargo, aquellas que mantengan porcentajes altos de germinación en temperaturas alejadas de las óptimas podrían tener mayor capacidad para sobrevivir en ambientes cálidos o fríos (Mamedí *et al.*, 2017).

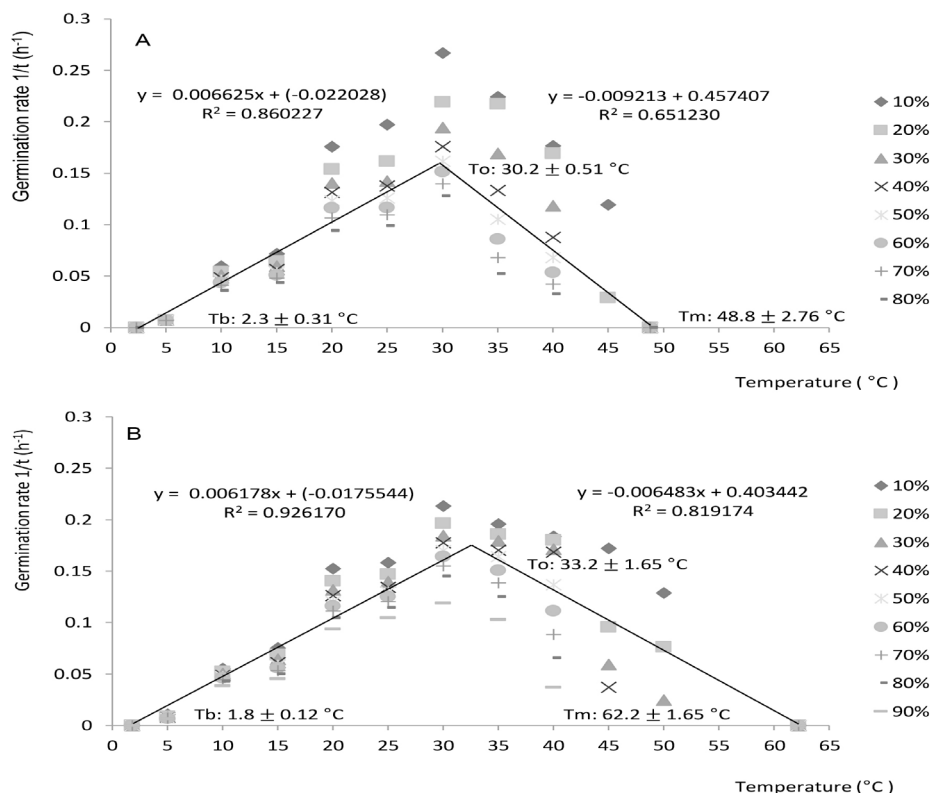


Figure 3. Germination rate in percentiles for each temperature in the range of cardinal temperatures of *Chenopodium quinoa* Suyana (A) or Tunkahuan (B). Tb, base temperature; To, optimal temperature; Tm, maximum temperature.

Figura 3. Tasa de germinación en percentiles para cada temperatura en el rango de temperaturas cardinales de *Chenopodium quinoa* Suyana (A) o Tunkahuan (B). Tb, temperatura base; To, temperatura óptima; Tm, temperatura máxima.

as Sajama, Santamaría, Titicaca, Sayaña or Almida cultivars, which values of Tb go from -2 to 2 °C (González *et al.*, 2017; Mamedí *et al.*, 2017).

In *Chenopodium quinoa*, the origin of the genotypes can be related to the germination temperatures of their seeds, for instance, in genotypes coming from three regions in Chile, those in the northern zone showed lower basal temperatures (9.4 °C), but optimum (30 °C) and maximum (50.6 °C) temperatures higher than those in the central or southern zone, whose basal, optimum and maximum temperature were of 10.6, 27.8 and 44.9 °C, respectively (Ayala-Pérez, 2018). Tm values higher in genotypes from the northern zone or Tarapacá region could be related with higher annual temperatures (from 11 to 19 °C) that occur in this zone compared with the

En este caso, las temperaturas base y óptimas fueron similares para ambas variedades, sin embargo, la máxima fue de 48.8 °C para Suyana y de 62.2 °C para Tunkahuan, lo que sugiere que el cultivo de esta última variedad puede ser exitoso en climas cálidos o secos y que ambas pueden prosperar en climas fríos, como los cultivares Sajama, Santamaría, Titicaca, Sayaña o Almida cuyos valores de Tb van de -2 a 2 °C (González *et al.*, 2017; Mamedí *et al.*, 2017).

En *Chenopodium quinoa*, la procedencia de los genotipos puede estar relacionada con las temperaturas de germinación de sus semillas, por ejemplo en genotipos provenientes de tres regiones de Chile, los de la zona norte mostraron temperaturas base menores (9.4 °C), pero óptimas (30 °C) y máximas (50.6 °C) mayores que los de la zona centro o sur cuyas Tb, To y Tm fueron de 10.6, 27.8 y 44.9 °C respectivamente (Ayala-

annual range (from 5.5 to 15.3) that occurs in O'Higgins or Los Lagos regions. In the case of *Chenopodium quinoa* Tunkahuan, the wide range (from 5 to 40 °C) with germination ≥ 94 % and its maximum temperature from 60.5 to 63.8 °C indicates that this variety can be cultivated and established in cold and temperate zones, but also in dry and warm zones such as in northern Mexico, whereas Suyana could be established better in temperate zones such as in central Mexico.

Conclusions

In temperatures ranging from 5 to 50 °C, seeds of *Chenopodium quinoa* Tunkahuan had a higher capacity to germinate than those of Suyana.

In *Chenopodium chinua* Suyana, the higher germination rate occurred at 30 °C, in Tunkahuan from 30 to 40 °C.

In both varieties, germination slowed down at 5 °C, whereas high temperatures (45 or 50 °C) avoided reaching 50 % of germination.

Basal temperatures were similar in both varieties, but optimum and maximum temperatures were higher in *Chenopodium quinoa* Tunkahuan.

The wide ranges of temperatures at which seeds of *Chenopodium quinoa* Tunkahuan can germinate, indicated that they can be established, with possibilities of success, in cold, temperate or warm zones, whereas seeds of Suyana could be established only in cold and temperate zones.

References

- Abugoch-James, L. E. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in Food and Nutrition Research*, 58:1-31. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Ayala-Pérez, C. (2018). Germinación y longevidad en semillas de nueve genotipos de quinoa cultivados en Chile. (Tesis de Maestría), Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía e Ingeniería forestal. Santiago, Chile. 1-35 pp. https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/22274/Ayala_Tesisquinoa.pdf?sequence=1 [Last Checked: February 09th 2020].
- Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K. and Padulosi, S. (2016). Worldwide evaluations of quinoa: Preliminary results from post International Year of Quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, 7, 850. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>

Pérez, 2018). Los valores de Tm mayores en los genotipos de la zona norte o región de Tarapacá podrían estar relacionados con temperaturas anuales mayores (de 11 a 19 °C) que se presentan en esa zona comparado con el intervalo anual (de 5.5 a 15.3) que se presenta en las regiones de O'Higgins o de los Lagos. En el caso *Chenopodium quinoa* Tunkahuan, el intervalo amplio (de 5 a 40 °C) con germinación ≥ 94 % y su Tm de 60.5 a 63.8 °C, indican que esta variedad puede cultivarse y establecerse en zonas frías y templadas, pero también en zonas árida y cálidas como en el norte de la república mexicana, mientras que Suyana podría establecerse mejor en zonas templadas como en el centro de la república mexicana.

Conclusiones

En temperaturas que van de 5 a 50 °C, las semillas de *Chenopodium quinoa* Tunkahuan tienen mayor capacidad para germinar que las de Suyana.

En *Chenopodium quinoa* Suyana, la velocidad de germinación mayor ocurre a 30 °C, en Tunkahuan de 30 a 40 °C.

En ambas variedades, la germinación se ralentiza a 5 °C, mientras que las temperaturas altas (45 o 50 °C) evitan que se alcance el 50 % de germinación.

Las temperaturas base son similares en ambas variedades, pero las óptimas y máximas son mayores en *Chenopodium quinoa* Tunkahuan.

Los rangos amplios en los que germinan las semillas de *Chenopodium quinoa* Tunkahuan, indican que puede establecerse, con posibilidades de éxito, en zonas frías, templadas o cálidas, mientras que Suyana solo en frías y templadas.

- Berti, M. T. and Johnson, B. L. (2008). Seed germination response of cuphea to temperature. *Industrial Crops and Products*, 27:17-21. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.05.004>
- Bewley, J. D. & Black, M. (1994). *Seeds physiology of development and germination*, Third edition, New York, USA. Plenum Press.
- Bhargava, A. & Srivastava, S. (2013). *Quinoa: botany, production and uses*. Wallingford, UK. CAB International (CABI).
- Boero, C., González, J. A. and Prado, F. E. (2000). Efecto de la temperatura sobre la germinación de diferentes variedades de "quinoa" (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Lilloa*, 40:103-108. https://www.researchgate.net/publication/292967065_Efecto_de_la_temperatura_sobre_la_germinacion_de_diferentes_variedades_de_quinoa_Ch_quinoa [Last Checked: February 09th 2020].
- Bois, J. F., Winkel, T., Lhomme, J. P., Raffailac, J. P. and Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25:299-308. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.06.007>
- Bove, J., Jullien, M. and Grappin, P. (2001). Functional genomics in the study of seed germination. *Genome Biology*, 3(1):reviews1002.1-1002.5. <https://doi.org/10.1186/gb-2001-3-1-reviews1002>
- Calzada-López, S. G., Kohashi-Shibata, J., Uscanga-Mortera, E., García-Esteva A. and Yáñez-Jiménez, P. (2014). Cardinal temperatures and germination rate in husk tomato cultivars. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8:1451-1458. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nspe8/2007-0934-remexca-5-spe8-1451-en.pdf> [Last Checked: November 15th 2019].
- Caroca, R., Zapata, N. and Vargas, M. (2016). Temperature effect on the germination of four peanut genotypes (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 32(2):94-101. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902016000200002>
- Ellis, R. H., Covell, S., Roberts, E. H. and Summerfield, R. J. (1986). The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 37:1503-1515. <https://doi.org/10.1093/jxb/37.10.1503>
- González, J. A., Buedo S. E., Bruno M. and Prado, F. E. (2017). Quantifying cardinal temperatures in quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivars. *Lilloa*, 54(2):179-194. <https://doi.org/10.30550/j.lil/2017.54.2/8>
- Hardegree, S. P. (2006). Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*, 97(6):1115-1125. <https://doi:10.1093/aob/mcl071>
- Hinojosa, L., González, J. A., Barrios-Masias, F. H., Fuentes, F. and Murphy, K. M. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4):106-137. <https://doi:10.3390/plants7040106>
- Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L. A., Corcuera, L. J. and Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22(2): 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.01.003>
- Jacobsen, S. E. (2011). The situation for quinoa and its production in southern Bolivia: from economic success to environmental disaster. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 197(5), 390-399. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2011.00475.x>
- Mamedi, A., Afshari, R. T. and Oveisi, M. (2017). Cardinal temperatures for seed germination of three Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, special issue 2017 (89-100). <https://doi:10.22059/ijfcs.2017.206204.654106>
- Mohamed, H. A., Clark, J. A. and Ong, C. K. (1988). Genotypic differences in the temperature responses of tropical crops I. Germination characteristics of groundnut (*Arachis Hypogaea* L.) and pearl millet (*Pennisetum typhoides* S. & H.). *Journal of Experimental Botany*, 39(8):1121-1128. <https://doi.org/10.1093/jxb/39.8.1121>
- Nonogaki, H., Bassel, G. W. and Bewley, J. D. (2010). Germination still a mystery. *Plant Science*, 179(6):574-581. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.02.010>
- Ordoñez-Salanueva, C. A., Seal, C. E., Pritchard, H. W., Orozco-Segovia, A., Canales-Martínez, M. and Flores-Ortiz, C. M. (2015). Cardinal temperatures and thermal time in *Polaskia* Beckeb (Cactaceae) species: Effect of projected soil temperature increase and nurse interaction on germination timing. *Journal of Arid Environments*, 115:73-80. <https://doi:10.1016/j.jaridenv.2015.01.006>
- Padrón, C. A., Oropeza, R. A. and Montes, A. I. (2014). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición

- química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5 (2): 166-218. https://www.academia.edu/20382273/Semillas_de_quinoa_Chenopodium_quinoa_Willdenow_composici%C3%B3n_qu%C3%ADmica_y_procesamiento._Aspectos_relacionados_con_otras_%C3%A1reas [Last Checked: February 09th 2020].
- Rosa, M., Hilal, M., González, J. A. and Prado, F. E. (2004). Changes in soluble carbohydrates and related enzymes induced by low temperature during early developmental stages of quinoa (*Chenopodium quinoa*) seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 161(6):683-689. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-01257>
- Sampayo-Maldonado, S., Castillo-Martínez, C. R., Jiménez-Casas, M., Sánchez-Monsalvo, V., Jasso-Mata, J. and López-Upton, J. (2017). Germinación *in vitro* de semillas de *Cedrela odorata* L. de genotipos extintos. *Agroproductividad*, 10(8): 53-58. https://www.researchgate.net/publication/322063650_In_vitro_GERMINATION_OF_Cedrela_odorata_L_SEEDS_FROM_EXTINCT_GENOTYPES [Last Checked: November 15th 2019].
- Singh, S. K., Kakani, V. G., Brand, D., Baldwin, B. and Reddy, K. R. (2008). Assessment of cold and heat tolerance of winter-grown canola (*Brassica napus* L.) cultivars by pollen-based parameters. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194(3):225-236. <https://doi:10.1111/j.1439-037X.2008.00309.x>
- Steckel, L. E., Sprague, C. L., Stoller, E. W., and Wax, L. M. (2004). Temperature effects on germination of nine *Amaranthus* species. *Weed Science*, 52(2): 217-221. <https://doi.org/10.1614/WS-03-012R>
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*, Fifth edition. Massachusetts, USA. Sinauer associates.
- Windauer, L., Altuna, A. and Benech-Arnold, R. L. (2007). Hydrotime analysis of *Lesquerella fendlerigg* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops and Products*, 25(1):70-74. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.07.004>
- Wu, G., Peterson, A. J., Morris, C. F. and Murphy, K. M. (2016). Quinoa seed quality response to sodium chloride and sodium sulfate salinity. *Frontiers in Plant Science*, 7:790-790. <https://doi:10.3389/fpls.2016.00790>
- Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. E. and Schwember, A. R. (2014). Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Molecular Breeding*, 34:13-30. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0023-5>