

Tolerancia del garbanzo tipo “desi”, a bajas temperaturas en etapas tempranas del desarrollo

Tolerance of “desi” chickpea to low temperatures at early stages of development

Jorge Alberto Acosta-Gallegos², Lilian Ivón Salas-Gómez¹, Hugo César Cisneros-López², Mabel Reyes-Fuentes¹ y Manuel Rojas-Tovar²

Palabras clave: *Cicer arietinum*; genotipos locales e introducidos; germinación; estrés por frío; cultivos; garbanzo; Bajío; plantas; genotipos; Lerma; plántulas; temperaturas; interacciones; etapas vegetativas

Keywords: *Cicer arietinum*; local and introduced genotypes; germination; freezing stress; crops; chickpea; Bajío; plants; genotypes; Lerma; seedlings; temperatures; interactions; vegetative stages

Recibido en: 01-06-2020 / Aceptado en: 12-09-2020

Resumen

Introducción: En México el cultivo del garbanzo se realiza durante el ciclo Otoño-invierno y en ocasiones es dañado por temperaturas bajas. En la región del Bajío se cultiva tanto garbanzo blanco tipo “kabuli”, como de color café, tipo “desi”.

Método: Se caracterizaron nueve genotipos de garbanzo café en dos ensayos bajo temperaturas bajas en dos etapas de desarrollo, la de germinación y vegetativa. Cuatro de ellos fueron variedades locales y cinco introducidas del ICRISAT, India. En el primer ensayo la semilla de los genotipos se germinó en cajas con arena estéril bajo dos temperaturas: 7.0 y 25 °C; se determinaron los días a la emergencia y al término de ésta las plántulas se midieron, secaron y pesaron. El segundo ensayo consistió en exponer plantas en etapa de 7 a 8 hojas compuestas, a temperatura de -4 °C por 60 minutos, con pre- y post tratamiento de 20 min a 4 °C, posteriormente se colocaron bajo el sol por dos horas; después se calificó en forma visual el daño en cada planta.

Resultados: En el primer ensayo, a 25 °C todos los genotipos germinaron en cinco días (germinación promedio 91.3 %), mientras que a 7.0 °C la germinación fue del 80 % a los 20 días, que fue cuando se dio por concluido el ensayo, el porcentaje disminuyó de manera diferencial entre genotipos. ICC 3287, un material introducido, mostró la mayor germinación promedio (94.9 %) en ambas temperaturas, seguida de la variedad local Lerma con 89.3 %. La longitud del vástago y de la raíz mostraron diferencias significativas ($p < 0.001$) entre temperaturas, genotipos y su interacción; la temperatura baja disminuyó ambas características en forma diferencial. Por el contrario, el peso seco de la plántula fue similar entre temperaturas, con diferencias significativas

¹ Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Roque

² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Bajío, Centro de Investigación del Centro (CIRCE). E-mail: acosta.jorge@inifap.gob.mx

($P < 0.001$) entre genotipos e interacción temperatura y genotipo. En ambas temperaturas ICC 1263 fue el de mayor peso seguido de la variedad Lerma. En el segundo ensayo el genotipo ICC 6671 y Lerma mostraron el menor daño por temperatura baja en etapa vegetativa.

Conclusión: Tres genotipos introducidos y uno local mostraron características sobresalientes: ICC 3287 mayor capacidad de germinación en ambas temperaturas probadas, ICC 1263 mayor peso seco de plántula en temperatura subóptima ($7\text{ }^{\circ}\text{C}$); e ICC 6671 junto con la variedad Lerma mostraron tolerancia a baja temperatura ($-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$) en etapa vegetativa.

Abstract

Introduction: In Mexico, chickpea cultivation takes place during the Fall-Winter cycle, and sometimes is damaged by low temperatures. Both, white “kabuli” type and brown chickpeas, “desi” type, are grown in the Bajío region.

Method: Nine “desi” chickpea genotypes were exposed in two trials to low temperatures at two stages of development, germination and vegetative. Four of them were local varieties and five introduced genotypes from ICRISAT, India. In the first trial, the seed of the genotypes was germinated in boxes with sterile sand under two temperatures: 7.0 and $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. The days to emergence were determined and afterwards the seedlings were measured, dried, and weighed. The second test consisted of exposing plants in stage of 7 to 8 compound leaves to a temperature of $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ for 60 minutes, with pre and post treatment of 20 min at $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, subsequently they were placed under the sun for two hours; after this protocol, the damage to each individual plant was visually rated.

Results: In the first trial, at $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ all genotypes germinated in five days (average germination 91.3%), while at $7.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ germination was delayed until 20 days (average germination 80%) and the percentage decreased differentially among genotypes. ICC 3287, an introduced material, showed the highest average germination under both temperatures 94.9% , followed by the local cultivar Lerma 89.3% . The plantlet and root lengths showed significant differences ($p < 0.001$) between temperature treatments, genotypes, and their interaction; low temperature decreased both characteristics. In contrast, dry weight was similar between temperatures, with significant differences ($p < 0.001$) among genotypes and for the interaction temperature by genotype. At both temperatures, ICC 1263 showed the highest dry weight followed by cultivar Lerma. In the second trial, ICC 6671 and Lerma show the least damage by low temperature at the vegetative stage.

Conclusion: Three introduced genotypes and a local cultivar showed outstanding traits: ICC 3287 higher germination under both tested temperatures, ICC 1263 higher seedling dry weight at suboptimal temperature; ICC 6671 along with cultivar Lerma were tolerant to freezing temperature stress in the vegetative stage.

Introducción

En la región del Bajío, al garbanzo de color se le conoce como garbanzo “porquero”, en referencia al uso que se le da. De hecho, la industria productora de carne de puerco en canal en el corredor Pénjamo - La Piedad hace décadas dependía del garbanzo como fuente de proteína y energía. Los municipios del Norte de Michoacán, Suroeste de Guanajuato y la porción Oriental de Jalisco destacaban como un núcleo porcícola (Chapela, 1982). Entre otros granos, la engorda se basaba en el garbanzo café (“desi”). Con el establecimiento de compañías transnacionales en la región, el sorgo y la soya importada desplazaron el garbanzo (Leyva y Ascencio, 1991) y en la actualidad sólo es utilizado por ejidatarios y pequeños propietarios para la engorda doméstica de cerdos. En los últimos años, el alto costo del dólar americano abre la posibilidad para que el garbanzo forrajero, con un contenido proteínico de 20 a 24 %, se utilice como sustituto de la pasta de soya importada; mientras que las gramíneas como el maíz y sorgo seguirán siendo parte de los concentrados alimenticios para el ganado porcino.

La temperatura baja es una de las condiciones ambientales adversas que limitan la distribución geográfica de las plantas, y es responsable de reducciones significativas en el rendimiento y la calidad de los cultivos (Levitt, 1980). Uno de los países que cuenta con fuentes confiables de tolerancia al frío en garbanzo tipo “desi” es Irán por la evolución de germoplasma nativo en áreas frías (Samarah y Abu-Yahya, 2008). Así mismo, para el garbanzo blanco se dispone de fuentes de tolerancia en el Centro Internacional para Investigación Agrícola en Zonas Áridas (International Center for Agricultural Research in Dry Areas, ICARDA) (Singh *et al.*, 1993).

Es ampliamente reconocido que las temperaturas bajas o de congelación son perjudiciales para el rendimiento de garbanzo (Graham *et al.*, 2019). Periodos prolongados de congelación por debajo del rango permisible pueden evitar la germinación, reducir el vigor, el desarrollo vegetativo y la producción de biomasa de la planta, y puede ser fatal para las plantas, especialmente en la etapa de crecimiento fenológico vegetativo tardío y en la etapa reproductiva. En garbanzo,

temperaturas diarias promedio por debajo de 15 °C resultan en pobre polinización y prendimiento de vainas; el aborto floral por temperaturas subóptimas puede resultar en un atraso hasta de un mes cuando las temperaturas permanecen bajas (Clarke *et al.*, 2004). Durante la germinación, el enfriamiento del suelo aumenta la susceptibilidad a patógenos en el suelo y reduce el vigor de las plántulas (Singh *et al.*, 1993). Los principales efectos de la congelación en el desarrollo de plántulas están relacionados con lesiones a las membranas e incluyen respiración, fotosíntesis y pérdida de turgencia, resultando en marchitamiento inducido por temperatura. La plántula en etapa vegetativa temprana de garbanzo exhibe un grado relativamente alto de tolerancia a la congelación en comparación a la etapa vegetativa avanzada (Singh *et al.*, 1993).

Las plantas sensibles al congelamiento se ven dañadas por las temperaturas por debajo de -1.5 °C, el daño ocurre comúnmente por la formación de hielo. El hielo puede penetrar la pared celular y membranas, provocando daños irreparables al detener los procesos celulares (Nazari *et al.*, 2010; Kazemi-Shahandashti *et al.*, 2014). Durante los períodos de crecimiento activo, la mayoría de los cultivos no toleran congelación, en el garbanzo, las zonas de alargamiento (en crecimiento) son las primeras afectadas por la congelación. Dependiendo de la temperatura mínima y la duración de las heladas, las plantas pueden ser parcialmente dañadas o con un menor rendimiento y calidad en la cosecha o incluso con un fallo total de las cosechas (Hudák y Salaj, 1999). En el Bajío, la germinación de las siembras de garbanzo de diciembre a enero toma entre 15 y 20 días por la temperatura subóptima del suelo, mientras que en fechas anteriores o posteriores es de 8 a 10 días; en la literatura se consideran temperaturas subóptimas aquellas por debajo de 15 °C (Devasirvatham *et al.*, 2015). Con base en lo anterior, los objetivos fueron: a) Identificar genotipos de garbanzo café tipo “desi” capaces de germinar bajo temperatura subóptima de 7 °C, b) Determinar la tolerancia a la exposición temporal a temperatura de -4 °C en genotipos de garbanzo café en etapa vegetativa. La hipótesis fue que la tolerancia al frío en garbanzos tipo “desi” es mayor en genotipos introducidos de la India que en las variedades locales desarrolladas en el Bajío.

Método

El estudio se desarrolló durante el ciclo Otoño-Invierno 2019/20 en el Campo Experimental Bajío (CEBAJ) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) con dirección en Km. 6.5 de la Carretera Celaya a San Miguel Allende Celaya, Guanajuato, localizado

en las coordenadas 20° 34' 44.4" N y 100° 49' 09.6" W, a una altura de 1875 msnm. La semilla utilizada en los ensayos se produjo en el mismo campo experimental durante el ciclo Otoño-invierno 2018/19. La investigación consistió en dos ensayos, conducidos bajo condiciones controladas y se utilizaron nueve genotipos de garbanzo tipo “desi” o forrajero (**Tabla 1**).

Tabla 1. Genotipos de garbanzo tipo “desi” utilizado en el estudio.

Table 1. Chickpea “desi” genotypes included in the study.

Genotipo	Origen	Tipo de planta	Color del grano		PCS, g	Fuente
El Patrón	México	Semierecta	Beige	1.5 a 2.0	20.7	Acosta <i>et al.</i> , 2016
Pénjamo	México	Erecta	Amarillo claro	1.5 a 2.0	20.4	Acosta <i>et al.</i> , 2016
San Antonio 05	México	Semiabierta	Café	1.5 a 2.0	26.7	Soltero <i>et al.</i> , 2008
Lerma	México	Semiabierta	Beige	1.5 a 2.0	21.7	Soltero <i>et al.</i> , 2001
ICC 6671	Irán	Semierecta	Marrón claro	1.600	26.8	ICRISAT Genebank &
ICC 10981	India	Semipostrado	Amarillo	1.530	17.6	ICRISAT Genebank
ICC 1263	India	Semierecto	Amarillo	1.600	22.4	ICRISAT Genebank
ICC 3287	Irán	Semipostrado	Marrón oscuro	1.500	17.8	ICRISAT Genebank
ICC 96029	India	Semipostrado	Café claro	1.500		Kumar y Rao, 2001

PCS = Peso de cien semillas mencionado en las fuentes.

PCS = 100-seed weight.

& www.ICRISAT.org/Genebank. Consultado en línea 29 de enero, 2020.

& www.ICRISAT.org/Genebank. Consulted online on January 29, 2020.

Ensayo 1. Se seleccionaron 240 semillas por genotipo, 120 se destinaron al tratamiento de germinación a 7 °C y el resto a condiciones ambientales normales de temperatura (25 ± 3 °C). Antes de la siembra las semillas se desinfectaron superficialmente con hipoclorito al 5 % por 1 minuto. El experimento constó de seis repeticiones; la siembra se realizó en cajas de plástico con arena de río estéril humedecida, una repetición por caja; se colocaron 20 semillas de cada variedad por repetición y se introdujeron en un cuarto frío a una temperatura constante de 7 °C en oscuridad. De igual manera se realizó el tratamiento a temperatura ambiente en un cuarto en oscuridad.

Los datos tomados fueron el número diario de plántulas emergidas a partir del día 15 después de la siembra (DDS), día en que emergieron las primeras plántulas en el tratamiento de baja temperatura, y en el día tres en el tratamiento a temperatura ambiente. Este último tratamiento

se detuvo a los cinco días después de la siembra al observar que en un genotipo ya había emergido el 99 % de las semillas en una repetición. El tratamiento a 7 °C se detuvo a los 20 DDS, después de dos días sin observar nuevas plántulas emergidas. Con la información se determinó el porcentaje de germinación total de cada variedad y el índice de velocidad de emergencia (IVE). Al final del experimento, con regla graduada en centímetros, se midió la longitud de la raíz y tallo de cada plántula, y después de colocarlas en sobres se secaron en una estufa de aire forzado a 70 °C por 72 h, para determinar el peso seco se utilizó una balanza analítica.

El IVE se obtiene a través del conteo diario de las plántulas emergidas a partir de la siembra, tomando como plántulas emergidas a las que sobresalgan del sustrato. El índice de velocidad de emergencia IVE se calculó con la expresión propuesta por Maguire (1962):

$$IVE = \sum_1^n X1/N1$$

Donde: **IVE** = **Xi**= Número de plántulas emergidas por tiempo determinado; **Ni**= Número de días después de la siembra o entre conteos; **n** = Número de conteos 1, 2... , n conteos.

Al término del estudio se obtuvo el porcentaje total de emergencia (ET), el cual consiste en contabilizar cada una de las plántulas emergidas hasta el último día de la evaluación y el resultado se obtiene dividiendo el número total de plántulas emergidas, entre el número total de semillas sembradas y se multiplica por cien.

Ensayo 2. Este ensayo consistió en determinar la tolerancia de plántulas de los nueve genotipos de garbanzo a la exposición por una hora a temperatura de -4 °C. Para definir el tiempo de exposición a esta temperatura se realizó un ensayo preliminar exponiendo hojas desprendidas de una sola variedad dentro de cajas Petri sin cubrir por 30, 60, 90, y 120 min a la temperatura señalada. Después de la exposición se determinó en forma visual el daño físico. Se determinó que la exposición por 60 minutos permitiría observar un daño de intermedio a severo y se podría diferenciar entre los genotipos.

Para llevar a cabo el ensayo, se colocaron 200 semillas de cada variedad en charolas con “peat moss” humedecido y se dejaron en condiciones de invernadero por seis días para su emergencia. Mientras ocurría la emergencia, se prepararon macetas de 1.5 L de capacidad con partes iguales de suelo “peat moss perlita”, se humedeció el medio y las plántulas obtenidas en las charolas se trasplantaron, dos por maceta.

Un mes después de sembradas las plántulas, las cuales estaban en etapa de 7 a 8 hojas compuestas, se realizó el ensayo como sigue: las plantas fueron expuestas a temperatura de -4°C por 60 minutos, con pre- y post tratamiento de 20 min a 4°C y luego se colocaron a cielo abierto bajo el sol por dos horas; después de este protocolo se calificó el daño de manera visual considerando cada planta como una repetición y el número de hojas con daño en cada planta se expresó en porciento. Por ejemplo, una planta dañada en forma total se daba valor de 100 % de daño, una con cuatro dañadas de ocho hojas, de 50 %, y así sucesivamente (Chaturvedi *et al.*, 2009). **Análisis de datos.** Los datos obtenidos de ambos ensayos se consideraron con distribución normal y se transformaron para su análisis con el programa Excel para Windows de Office 2013. Los datos del primer ensayo se transformaron utilizando la función de Arcoseno, mientras que, para el segundo, inicialmente se agregó un número constante a cada observación y luego se realizó la transformación utilizando el Logaritmo Base 10. Los análisis de varianza se realizaron con el programa SAS Versión 9.2 (SAS, 2010).

Resultados

Ensayo de germinación en dos tratamientos de temperatura

La temperatura baja (7.0°C) atrasó y disminuyó significativamente ($p < 0.01$) la germinación promedio de los nueve genotipos (**Tabla 2**). A 25°C todos los genotipos germinaron en cinco días (germinación promedio 91.3 %), mientras que a 7.5°C la germinación se atrasó, iniciándose a los 15 días y se detuvo el ensayo a los 20 días (germinación promedio 80 %). El porciento de emergencia disminuyó de manera diferencial entre genotipos; ICC 3287, un genotipo introducido, mostró la mayor germinación promedio a ambos tratamientos con 94.9 %, seguida de la variedad local Lerma con 89.3 %. En ninguno de los dos tratamientos se notó presencia de patógenos en semillas o plántulas. Las temperaturas frías ($< 15^{\circ}\text{C}$) durante la germinación reducen el establecimiento del cultivo y resultan en plantas con bajo vigor (Devarasirvatham *et al.*, 2015). En relación con los genotipos superiores en germinación, Farooq *et al.* (2018) indicaron que, bajo estrés ambiental por sequía, el garbanzo tipo “desi” muestra mayor germinación que el tipo “kabuli”. Indicaron que entre los dos genotipos “desi” caracterizados, Bakhar-2011 mostró germinación superior a Bitall-2016 debido a un mejor metabolismo durante la germinación, mayor acumulación de prolina libre, fenoles totales y trehalosa, lo que mantuvo la asimilación de carbono y previno el daño oxidativo.

Con excepción del genotipo San Antonio 05, a 25 °C a los cinco días después de la siembra todos los genotipos mostraron germinación superior a 85 %, nivel exigido por organizaciones oficiales para calificarse como semilla; los genotipos de mayor porcentaje fueron ICC 3287, Lerma e ICC 1263, con 99 y 97 %, respectivamente (**Tabla 2**). En el tratamiento a 7 °C todos los genotipos disminuyeron de manera diferencial el porcentaje de germinación, la mayor disminución ocurrió en ICC 96029 de 49.5 % y en El Patrón con 48.5 %, mientras que la menor disminución fue para Pénjamo e ICC 6671 con 5.8 y 5.9 %, respectivamente. Éstos últimos junto con el de mayor porcentaje de germinación a 7 °C, ICC 3287, pueden considerarse con capacidad de germinación en temperatura subóptima de 7 °C. Auld *et al.* (1988) para determinar la mejor fecha de siembra de garbanzo en una región templada probaron la germinación de genotipos tipo “desi” y “kabuli” bajo tres temperaturas en laboratorio, 5, 13 y 20 °C y en varias fechas de siembra en campo. A 20 °C todas las líneas germinaron rápidamente, mientras que a 5 °C a los 7 días había germinado menos del 50 %. De esos estudios, complementados con pruebas de campo, concluyeron que el garbanzo se debe sembrar cuando el suelo tenga una temperatura mayor a 13 °C.

Tabla 2. Porcentaje e Índice de Velocidad de Germinación (IVG) de nueve genotipos de garbanzo tipo “desi” establecidos bajo dos diferentes niveles de temperatura durante la germinación.

Table 2. Percentage and Germination Rate Index (GRI) of nine “desi” type chickpea genotypes established under two temperature levels during germination.

Genotipo	Temperatura					
	25 °C		7.5 °C		Promedio	
	%	IVG	%	IVG	%	IVG
ICC 96029	85.8	42.9	56.7	4.05	71.2	23.5
ICC 6671	86.7	43.4	80.8	8.57	83.7	26.0
Pénjamo	90.0	45.0	84.2	7.55	87.1	26.3
ICC 3287	99.0	49.5	90.8	9.67	94.9	29.6
Lerma	97.0	48.5	81.7	7.98	89.3	28.2
ICC 10981	91.7	45.9	82.5	7.78	87.1	26.8
ICC 1263	94.2	47.1	76.7	7.21	85.4	27.2
San Antonio 05	83.3	41.7	71.7	6.65	77.5	24.2
El Patrón	94.2	47.1	73.3	6.02	83.7	26.6
Promedio	91.3	45.7	80.2	7.28		

Con respecto al Índice de Velocidad de Emergencia, que da idea del vigor que las plántulas mostrarán en el campo (Maguire, 1962), en promedio a 25 °C mostró un valor superior al 45 %, mientras que a temperatura baja fue de 7.78 % (**Tabla 2**). Lo anterior debido al atraso de la emergencia a temperatura subóptima de 7 °C; ya que a los 25 °C la emergencia inició a los tres días y terminó a los cinco, mientras que a temperatura baja se inició a los 15 días y se detuvo el ensayo a los 20. A temperatura subóptima la mayor tasa de germinación fue para ICC 3287 seguida de ICC 6671. De Ron *et al.* (2016) estudiaron en germoplasma diverso de frijol común la germinación bajo diferentes temperaturas en cámara de crecimiento y campo y encontraron que las temperaturas bajas causaron reducción en la tasa de emergencia y el crecimiento vegetativo temprano. Tal como lo señalan, la germinación y emergencia rápida, como la mostrada en este estudio por ICC 3287 y Lerma bajo los dos tratamientos de temperatura probados, es una característica deseable para los cultivos.

Tabla 3. Análisis de varianza de tres características determinadas en nueve genotipos de garbanzo tipo “desi” establecidos bajo dos niveles de temperatura durante la germinación.

Table 3. Analyses of variance of three characteristics measured in nine “desi” chickpea genotypes established under two temperature levels during germination.

Fuente	Suma de Cuadrados				F calculada y significancia		
	GL ¹	LV	LR	PS	LV	LR	PS
Temperatura	1	474.2	1351.4	0.000052	853.8	1370.8	0.03 NS
					<0.0001	<0.0001	
Variedad	8	22.4	30.08	0.07873	5.04	3.81	6.07
					<0.0001	<0.0007	<0.0001
Var * Temp	8	14.71	16.73	0.043125	3.31	2.12	3.32
					<0.0023	<0.0416	<0.00022
Error Exper.	90	49.99	88.73	0.14594			
Total	107	561.3	1486.98	0.26784			

GL = grados de libertad; LV = longitud del vástago; LR = longitud de raíz; PS = peso seco.
GL = degrees of freedom; LV = plantlet length; LR = root length; PS = dry weight.

Para la altura del vástago y la longitud de la raíz, la temperatura fue el factor que más contribuyó a la variación fenotípica al mostrar en el ANOVA un mayor valor en la suma de cuadrados que los factores genotipo e interacción genotipo por temperatura (**Tabla 3**); bajo temperatura subóptima hubo reducción significativa ($P < 0.001$) de ambas características. El efecto del genotipo y de la

interacción temperatura por genotipo resultó significativo ($P < 0.01$) en altura de vástago, mientras que para la longitud de raíz la interacción fue menos significativa ($P < 0.05$). Aroca *et al.* (2003) mencionaron una baja capacidad de las raíces para absorber agua bajo estrés por temperatura baja, lo que pudiera explicar la fuerte disminución observada de la altura del vástago y la longitud de la raíz (**Tabla 4**). De la misma manera Kaya *et al.* (2008), en garbanzo blanco observaron bajo estrés salino que las semillas de menor tamaño de un mismo cultivar, mostraron mayor capacidad de emergencia y crecimiento inicial y que el efecto del estrés salino no afectó la germinación, pero si el crecimiento de las plántulas.

En el caso del peso seco de la plántula, el efecto del genotipo fue el de mayor contribución a la variación fenotípica total, seguido de la interacción temperatura x genotipo; la contribución de la temperatura fue baja y sin efecto significativo. Esto indica que la acumulación promedio de peso seco en las plántulas de los genotipos en los tratamientos de temperatura fue similar (**Tabla 4**), y que las diferencias en las características de longitud de vástago y raíz se debieron a una mayor turgencia (contenido relativo de agua) de los tejidos en la temperatura de 25 °C. Por otro lado, es probable que las diferencias en el peso de la plántula entre variedades, al menos en parte, se pueda deber a las diferencias en el peso de las semillas, característica que se muestra en la **Tabla 1**.

Tabla 4. Longitud de vástago y raíz de plántulas, durante la germinación, de nueve genotipos de garbanzo tipo “desi” establecidos bajo dos niveles de temperatura.

Table 4. Stem and root length in seedlings of nine “desi” type chickpea genotypes, established under two temperature levels during germination.

Genotipo	25 °C			7 °C		
	Altura del vástago, cm	Longitud de raíz, cm	Peso seco mg	Altura del vástago, cm	Longitud de raíz, cm	Peso seco mg
El Patrón	5.16	9.02	204	1.50	4.48	158
Pénjamo	4.50	11.17	208	1.48	5.00	217
San Antonio 05	5.58	12.00	196	1.68	4.77	192
Lerma	7.04	13.41	171	1.56	5.01	233
ICC 6671	6.32	12.54	238	1.78	5.19	208
ICC 10981	6.64	12.68	200	1.60	5.07	158
ICC 1263	5.58	12.14	246	1.18	4.82	292
ICC 3287	4.63	11.78	217	1.23	4.28	208
ICC 96029	5.23	11.64	196	1.59	5.22	142
Promedio	5.63 ^{a1}	11.82 ^a	208 ^a	1.51 ^b	4.87 ^b	201 ^a

¹ Literales diferentes señalan las diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos de temperatura.

¹ Different letter indicates significant differences ($p < 0.05$) between temperature treatments.

La plántula de garbanzo tipo “desi” en etapa vegetativa temprana, que incluye la de germinación, exhibe un grado relativamente alto de tolerancia a la congelación en comparación a la etapa vegetativa avanzada (Singh *et al.*, 1993), lo que explica su capacidad para germinar a temperatura subóptima probada en esta investigación. En un estudio realizado en Irán por Habibpour *et al.* (2012) con 28 genotipos de garbanzo “desi” de color negro, caracterizados en campo, invernadero y laboratorio, identificaron a la accesión 4322 como tolerante al estrés por baja temperatura, debido a una alta tolerancia al estrés oxidativo por una alta actividad de enzimas antioxidantes, bajo daño en membranas y por mostrar alto rendimiento en condiciones de campo. La accesión 4322 proviene del Noroeste Iraní, una área alta y fría. En general, los garbanzos tipo “desi” son menos dañados por temperaturas bajas en la germinación que los “kabuli”, aunque es probable que los “kabuli”, de grano grande y cubierta delgada, puedan ser dañadas por patógenos causantes de pudriciones de la semilla bajo tierra, tal y como ocurre en suelos con presencia de *Sclerotium rolsfii* (Guerrero *et al.*, 2020). Los garbanzos del tipo “desi” también presentan sistema anti oxidativo eficiente y mayor estabilidad de las membranas celulares, que los de tipo “kabuli”, tal y como fue mencionado por Nazari *et al.* (2010) y Kazemi-Shahandashti *et al.* (2014).

Ensayo de tolerancia al congelamiento

En este ensayo hubo diferencias altamente significativas entre genotipos ($P > 0.0009$), con respecto al porcentaje de daño al dosel al ser expuestas las plantas en etapa vegetativa a una temperatura de -4°C por una hora. Los genotipos ICC 6671 y Lerma mostraron tolerancia al daño por baja temperatura (**Fig. 1**), con daño relativamente uniforme a través de repeticiones, y resultaron significativamente superiores al resto $p < 0.05$). Así mismo, las variedades con el mayor daño, o sea susceptibles al nivel del tratamiento de frío aplicado, ICC 1263 introducida del ICRISAT y la variedad local San Antonio 05, mostraron respuesta uniforme. Los genotipos con valores intermedios de respuesta al congelamiento mostraron heterogeneidad, respuesta probablemente asociada a características intrínsecas de su metabolismo bajo las condiciones de la prueba, o a que poseen un genotipo heterogéneo en factores asociados con la respuesta a frío.

Diversos estudios han mostrado resultados similares a los obtenidos en este estudio, por ejemplo, Heidarvand *et al.* (2011) en Irán, expusieron 10 genotipos de garbanzo a temperatura de -10°C por 15 y 30 minutos en ambiente controlado y cuantificaron el nivel de daño de las hojas a través de la fuga de electrolitos; además, también los evaluaron en campo en condiciones

ambientales frías donde determinaron sobrevivencia y dieron calificaciones de tolerancia. En ambas condiciones encontraron diferencias entre genotipos e identificaron dos resistentes con calificaciones altas de sobrevivencia y bajas de daño en campo y baja fuga de electrolitos en condiciones controladas. Así mismo, Nazari *et al.* (2010) compararon las respuestas antioxidantes de dos genotipos de garbanzo sometidos a frío con y sin pre-aclimatación. Observaron que la pre-aclimatación por un periodo corto incrementó la tolerancia al frío en los dos genotipos, y que en el genotipo resistente la Catalasa fue más eficiente en la protección celular contra H₂O₂ que otras enzimas estudiadas. Indicaron que la tolerancia al frío se debe a un bajo nivel de peroxidación de los lípidos y de daño a las membranas.

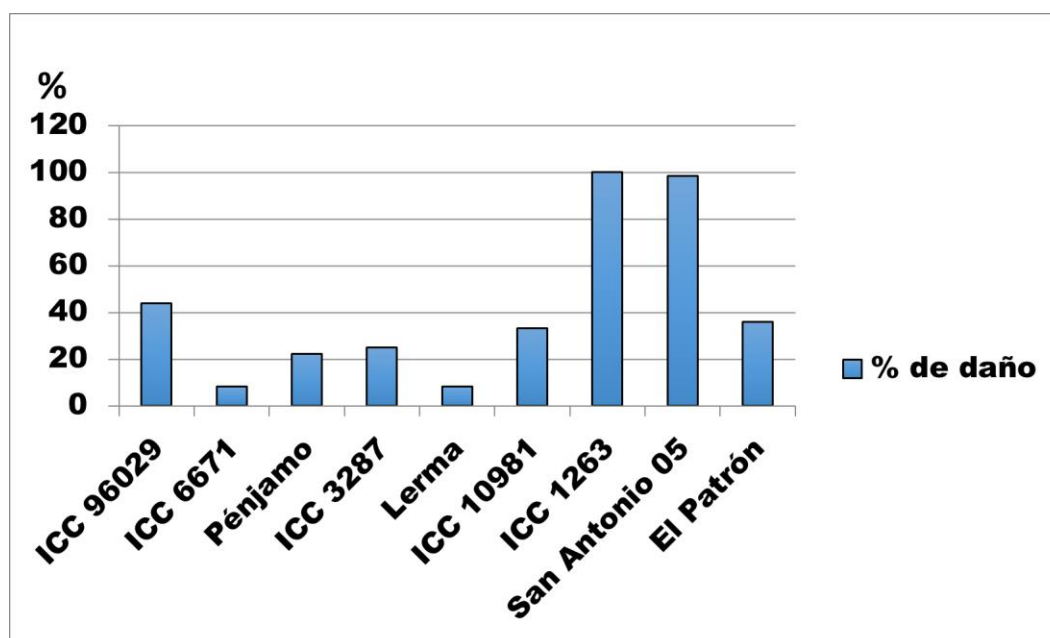


Fig. 1. Porcentaje de daño de nueve genotipos de garbanzo tipo “desi” por exposición a temperatura de -4.0 °C, durante 60 minutos bajo condiciones controladas.

Fig. 1. Percent damage of nine “desi” chickpea genotypes exposed to freezing temperature of -4.0 °C, per 60 minutes under controlled conditions.

La caracterización realizada señaló la presencia de genotipos con alta capacidad germinativa y tolerancia al daño en etapas vegetativas tempranas, incluyendo la variedad local Lerma. Lerma e ICC 6671 proveniente de Irán (GeneBank, ICRISAT, 2020), se consideran valiosos y podrían ser de utilidad en los programas nacionales de mejoramiento genético de garbanzo como progenitores para incorporar tolerancia a temperaturas bajas en genotipos de interés local y nacional. En cuanto a la herencia de la resistencia a bajas temperaturas en garbanzo, los estudios iniciales, resumidos

por Malahotra (1998) indicaron la presencia de efectos aditivos y dominantes, sugiriendo que los aditivos son más importantes porque se pueden capitalizar en el proceso de selección, y que la selección se debe realizar a partir de la F₃ cuando los efectos dominantes se han reducido (Singh *et al.*, 1994). O'Tolle *et al.* (2001) en estudios realizados en cámaras con ambiente controlado y en campo con 27 genotipos diversos determinaron que el garbanzo se adapta bien en germinación y crecimiento temprano en temperaturas moderadas (18/8 °C, día/noche) y que los de tipo “kabuli” mostraron mayor crecimiento en la fase de plántula, mientras que los tipo “desi” fueron superiores en la fase vegetativa, concluyeron que la recombinación de esas características permitiría el desarrollo de variedades superiores. En diversos estudios la tolerancia bajas temperaturas en etapas tempranas de desarrollo presenta alta heredabilidad de tal forma que la selección se puede realizar de forma visual en el campo (Croser *et al.*, 2003; Chaturvedi *et al.*, 2009).

Conclusiones

La germinación del garbanzo tipo “desi” se atrasó por efecto de la temperatura subóptima aplicada de 7 °C. ICC 3287, un material introducido, mostró la mayor germinación bajo ambas temperaturas probadas, seguida de la variedad local Lerma.

La acumulación de peso seco de las plántulas germinadas fue similar en los dos tratamientos de temperatura probados, con diferencias significativas entre genotipos; ICC 1263 mostró el mayor peso en ambos tratamientos seguido de la variedad Lerma.

Los genotipos ICC 6671 y Lerma mostraron tolerancia al daño por baja temperatura temporal (- 4 °C por una hora) y podrían utilizarse como progenitores para incorporar tolerancia a bajas temperaturas en otros genotipos de interés.

Tres genotipos introducidos y la variedad Lerma mostraron diferentes características sobresalientes: ICC 3287 mayor capacidad de germinación bajo ambos tratamientos de temperatura; ICC 1263 mayor acumulación de peso seco en plántula germinada a 7 °C; ICC 6671, junto con la variedad local Lerma, mostró tolerancia a temperatura de -4 °C, y ambos genotipos pudieran ser considerados para utilizarse como progenitores, o bien la primera para su registro como nueva variedad mejorada de garbanzo tipo “desi” para la región del Bajío.

Agradecimientos

Al Fondo Mixto CONACYT - Gobierno del estado de Baja California Sur por su apoyo a través del proyecto: “Generación de tecnología de producción y validación de nuevas variedades de garbanzo blanco y forrajero para mejorar su rendimiento y calidad, ante los efectos del cambio climático en el estado de Baja California Sur” con clave: BCS-2018-02-0188466. Nuestro profundo agradecimiento a dos revisores externos que contribuyeron a mejorar la presentación del manuscrito.

Referencias

- Acosta-Gallegos, J.A., Mandujano-Bueno, A., Jiménez-Hernández, Y. y Guerrero-Aguilar, B.Z. (2016). *Guía para la producción de garbanzo blanco y forrajero en el Bajío de Guanajuato*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Centro, Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Folleto Técnico, Núm. 34, p. 51.
- Auld D. I., Bettis B.L., Crock, J.E. and Kephart, K.D. (1988). Planting date and temperature effects on germination, emergence, and seed yield of chickpea. *Agronomy Journal*, 80, 909-914. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1988.00021962008000060014x>
- Chapela, M.G. (1982). La producción porcícola en la región de La Piedad. *Revista de Geografía Agrícola*, 3, 1-10
- Chaturvedi, K., Mishra, D.K., Vyas, P. and Mishra, N. (2009). Breeding for Cold Tolerance in Chickpea. *Trends in Bioscience*, 2(2), 1-6
- Croser J.S, Clarke H.J, Siddique K.H.M. and Khan T.N. (2003). Low-temperature stress: Implications for chickpea (*Cicer arietinum* L.) improvement. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2),185-219. DOI: <https://doi/abs/10.1080/713610855>
- Clarke H.J., Khan T.N. and Siddique K.H. (2004). Pollen selection for chilling tolerance at hybridization leads to improved chickpea cultivars. *Euphytica*, 139, 65-74. DOI: <https://DOI: 10.1007/s10681-004-2466-y>
- De Ron, A.M., Rodiño, A.P., Santalla, M., González, A.M., Lema, M.J., Martín, I. and Kigel, J. (2016). Seedling Emergence and Phenotypic Response of Common Bean Germplasm to Different Temperatures under Controlled Conditions and in Open Field. *Front. Plant Sci.* 7, 1087. DOI: 10.3389/fpls.2016.01087

- Farook ,A., Ullah, A., Lee, D-J., Alghamdi, S.S. and Siddiqui, K.H.M. (2018). Desi chickpea genotypes tolerate to drought stress better than kabuli types by modulating germination metabolism, trehalose accumulation and carbon assimilation. *Plant Physiology & Biochemistry*, 126, 47-54. DOI: [https://doi: 10.1016/j.plaphy.2018.02.020](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.02.020)
- Graham, N., Warren, A., Raman, R. and Hobson, K. Chickpea (2019). Yield potential in cool conditions – making the most of early flowers. *Proceedings of the 2019 Agronomy Australia Conference, 25 – 29 August 2019*. Wagga Wagga, Australia © 2019.
- Guerrero-Aguilar B.Z., González-Chavira, M.M., Guevara-Olvera, L., Martínez-Martínez, A.A., Ortega-Murrieta, P.F., Fierros-Leyva, G.A. and Acosta-Gallegos, J.A. (2020). Screening genotypes for collar rot (*Sclerotium rolsfii*) resistance in central Mexico. *Rev. Fitotec. Mex.* (submitted).
- Habibpour, F., Zeinali, H., Maali Amir, R. and Nazari, M. (2012). Genotypic variability and physio-biochemical characteristics of Iranian black chickpea to cold stress. *Romanian Agricultural Research*, 29, 121-130
- Heidarvand L., Maali Amiri, R., Naghavi, M. R., Farayedi, Y., Sadeghzadeh, B. and Alizadeh, Kh. 2011. Physiological and morphological characteristics of chickpea accessions under low temperature stress. *Russian J. Plant Physiol*, 58(1), 157-163
- Hudák J. and Salaj, J. (1999). The effect of low temperatures on the structure of plant cells (441-464). In: M. Pessarakli (Ed.). *Handbook of Plant and Crops Stress* New York: Marcel Dekker Inc.
- Kaya, M., Kaya, G., Kaya, M.D., Atak, M., Saglam, S., Khawar, K.M., and Ciftci, C.Y. (2008). Interaction between seed size and NaCl on germination and early seedling growth of some Turkish cultivars of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Zhejiang Univ. Sci. B*, 9(5), 371-377 DOI: <https://doi.org/10.1631/jzus.B0720268>
- Kumar, J., and Rao, B.V. (2001). Registration of ICCV 96029, super early and double podded chickpea germplasm. *Crop sci*, 41(2), 605. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.412605x>
- Kazemi-Shahandashti, S.S., Maali-Amiri, R., Zeinali, H., Khazaei, M., Talei, A., and Seyyedeh-Sanaz, R. (2014). Effect of short-term cold stress on oxidative damage and transcript accumulation of defense-related genes in chickpea seedlings. *J. Plant Physiol*, 171, 1106-1116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.03.020>

- Leyva, X. y Ascencio, G. (1991). Las crisis y los empresarios porcícolas del centro-norte de Michoacán (1940-1989). *Nueva Antropología*, XI(40), 87-112.
- Levitt, J. (1980). Responses of plants to environmental stresses (23–56). In: Kozlowski, T.T. (Ed.). *Physiological Ecology*. New York: Academic Press
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. *Crop Sci.* 2, 176-177. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Malhotra, R.S. (1998). Breeding chickpea for cold tolerance. In: *3rd European Conference on Grain Legumes. Opportunities for High Quality, Healthy and ValueAdded Crops to Meet European Demands*. Valladolid, Spain, November 14–19, 1988, pp. 152. Paris: European Association for Grain Legume Research.
- McKersie, B.D., and Bowley, S.R. (1997). Active oxygen and freezing tolerance in transgenic plants (203–214). In: Li, P.H. and Chen, T.H.H. (Eds.) *Cold resistance of plants, molecular biology, biochemistry, and physiology*. New York: Plenum.
- Nazari M., Maali Amiri, R., Mehraban, F.H. and Kanheghah, H. Z. (2012). Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. *Russian J. Plant Physiol*, 59(2), 183-189
- Samarah N.H., and Abu-Yahya, N. (2008). Effect of maturity stages of winter and spring-sown chickpea (*Cicer arietinum* L.) on germination and vogue of the harvested seeds. *Seed Sci. & Technol*, 36, 177-190. DOI: <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.1.19>
- SAS Institute. (2010). SAS Online Doc. Versión 9.2. CD-ROM computer file. Cary, NC. USA.
- Singh, K.B., Malhotra, R.S. and Saxena, M.C. (1993). Relationship Between Cold Severity and Yield Loss in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J. Agron. Crop Sci*, 170(2), 121-127. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.1993.tb01065.x>
- Viswanathan C. and Zhu J.K. 2002. Molecular genetic analysis of cold regulated gene transcription. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.* 357, 877-886. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1076>