

Germinación y crecimiento de plántulas de *Phaseolus vulgaris* L. en condiciones de salinidad*

Germination and seedling growth of *Phaseolus vulgaris* L. in saline conditions

Álvaro Can Chulim^{1§}, Leobarda Guadalupe Ramírez Guerrero¹, Héctor Manuel Ortega Escobar², Elia Cruz Crespo¹, David Flores Román³, Edgar Iván Sánchez Bernal⁴ y Alberto Madueño Molina¹

¹Unidad Académica de Agricultura-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, C. P. 63780, Xalisco, Nayarit, México. (leo.ram89@hotmail.com; ccruze2006@yahoo.com.mx; albertomad2008@gmail.com). ²Programa de Hidrociencias, Colegio de Postgraduados (manueloe@colpos.mx). ³Instituto de Geología-Universidad Nacional Autónoma de México. (davidf@unam.mx). ⁴Instituto de Ecología-Universidad del Mar. Tel: 045 3111 540127. (edgarivansb@zicatelata.umar.mx). [§]Autor para correspondencia: canchulim@yahoo.com.mx.

Resumen

El frijol es sensible a la salinidad. En México en el ciclo otoño-invierno, la producción del frijol se realiza en condiciones de humedad residual. En estas condiciones los problemas de salinidad se incrementan y se manifiesta en la reducción del porcentaje de germinación, el crecimiento aéreo y subterráneo y el rendimiento. Los grados de afectación son diferentes entre variedades. En ésta investigación, realizada en Nayarit en 2012 en invernadero a una temperatura de 28.1 °C, se evaluó la respuesta fisiológica a la salinidad, inducida con cloruro de sodio, de tres variedades de frijol de mayor producción en Nayarit en la etapa de germinación y plántula. El diseño experimental fue completamente al azar empleando tres repeticiones por tratamiento. La germinación del frijol Pinto se redujo 54.7% a 9 dS m⁻¹ y el frijol Azufrado 30.3%. En plántula, la diferencia de longitud de tallo entre el testigo (T₀) y el tratamiento más alto (T₆) fue de 2.4, 4 y 3.2 cm para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente. La diferencia en longitud de raíz entre T₀ y T₆, fue de 13.1, 13.4 y 12.1 cm para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente. Conforme la conductividad eléctrica se incrementó la tasa de germinación disminuyó. El frijol Azufrado fue el más resistente y el Pinto el más afectado. La longitud de tallo, el peso fresco y peso seco

Abstract

Beans are sensitive to salinity. In Mexico in the autumn-winter cycle, bean production is performed under conditions of residual moisture. Under these conditions, salinity problems are increased and are reflected in the reduction in the percentage of germination, growth and underground and aerial performance. The levels of damage are different between varieties. In this research, conducted in Nayarit in 2012 in a greenhouse at a temperature of 28.1 °C, the physiological response to salinity induced with sodium chloride, three bean varieties of higher production in Nayarit in the germination stage and seedling was evaluated. The experimental design was completely randomized using three replicates per treatment. Pinto bean germination decreased 54.7% to 9 dS m⁻¹ and beans Azufrado 30.3%. In seedlings, the stem length difference between the control (T₀) and the highest treatment (T₆) was 2.4, 4 and 3.2 cm for the Negro, Pinto and Azufrado respectively beans. The difference in root length between T₀ and T₆, was 13.1, 13.4 and 12.1 cm for the Negro, Pinto and Azufrado respectively beans. It as the electrical conductivity increased germination rate decreased. The Azufrado beans were the toughest and the most affected Pinto. The stem length, fresh weight and dry weight of seedling decreased and increased stem diameter. The length, fresh weight and dry root weight decreased gradually.

* Recibido: enero de 2014
Aceptado: marzo de 2014

de la plántula disminuyó y el diámetro de tallo incrementó. La longitud, peso fresco y peso seco de la raíz disminuyó gradualmente.

Palabras clave: cloruro de sodio; frijol Negro, Pinto y Azufrado.

Introducción

México ocupa el quinto lugar en producción de frijol a nivel mundial (Reyes *et al.*, 2008). La mayor producción es utilizada para consumo nacional, incluso presenta déficit en su balanza comercial. Con el tratado de Libre Comercio de América del Norte las importaciones aumentarán por la competitividad en los precios que hacen más conveniente comprar el frijol proveniente de otros países (AMSDA, 2011).

El frijol en México se produce en los ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno. El ciclo otoño-invierno se realiza bajo condiciones de humedad residual, con mayores rendimientos en el estado de Nayarit y Sinaloa (Campomexicano, 2005). Bajo éstas condiciones de humedad los efectos de la salinidad incrementan, porque la concentración salina aumenta y las sales de menor solubilidad precipitan (Miyamoto y Pingitore, 1992). Se ha demostrado que una de las sales que permanece en las soluciones salinas de los suelos bajo condiciones de humedad residual es el cloruro de sodio, por su alta solubilidad (Ayers y Westcott, 1987).

El frijol es sensible a las condiciones salinas y el rendimiento se reduce a partir de una conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹ (Subbarao y Johansen, 1994). Mass y Hoffman (1977) demostraron que hasta una conductividad eléctrica de 1 dS m⁻¹ se obtiene 100% de rendimiento de grano y una de 6.3 dS m⁻¹ disminuye hasta 0%. Strogonov (1964) y Mass (1990), mencionaron como efecto más común de la salinidad, el retraso general del crecimiento de la planta; cuando la concentración de sales aumenta, arriba del nivel límite, la velocidad del crecimiento y el tamaño de la mayoría de las especies decrecen progresivamente. Se ha demostrado que concentraciones altas de sales afectan la etapa y tasa de germinación, longitud del tallo, ramificación y tamaño de las hojas (Gutiérrez *et al.*, 2005; Gama *et al.*, 2007). La variabilidad de la respuesta se amplía más entre especies y variedades (Kaymakanova, 2009).

Keywords: sodium chloride; Negro, Pinto and Azufrado beans.

Introduction

Mexico ranks fifth in bean production worldwide (Reyes *et al.*, 2008). Most production is used for domestic consumption, even in deficit in its trade balance. With the Free Trade Agreement North American imports will increase the competitiveness at prices that make it more convenient to buy beans from other countries (AMSDA, 2011).

The beans in Mexico occur in spring-summer agricultural cycles and autumn-winter. The autumn-winter cycle is under residual moisture conditions, with higher yields in the state of Nayarit and Sinaloa (Campomexicano, 2005). Under these conditions, the effects of moisture increased salinity because the salt concentration increases and less soluble salts precipitate (Miyamoto and Pingitore, 1992). It has been shown that one of the salts remaining in the salt solutions of low soil residual moisture conditions is sodium chloride because of its high solubility (Ayers and Westcott, 1987).

Beans are sensitive to saline conditions and yield is reduced from an electrical conductivity 2 dS m⁻¹ (Subbarao and Johansen, 1994). Mass and Hoffman (1977) showed that even an electrical conductivity of 1 dS m⁻¹ 100% yield of grain and 6.3 dS m⁻¹ decreases to 0% is obtained. Strogonov (1964) and Mass (1990), cited as the most common effect of salinity, overall stunting of the plant; when the salt concentration increases above the threshold level, the speed of growth and the size of most species gradually decreases. It has been shown that high salt concentrations affect germination stage and length of stem, branch and leaf size (Gutiérrez *et al.*, 2005; Gama *et al.*, 2007). The response variability extends over between species and varieties (Kaymakanova, 2009).

High concentrations of sodium chloride affect the germination and growth of beans. The levels of damage are different between varieties. In this research, the physiological response to salinity induced sodium three bean varieties most productive in the state of Nayarit in the stages of germination and seedling chloride was evaluated.

Altas concentraciones de cloruro de sodio afectan la germinación y crecimiento del frijol. Los grados de afectación son diferentes entre variedades. En ésta investigación se evaluó la respuesta fisiológica a la salinidad inducida con cloruro de sodio de tres variedades de frijol de mayor producción en el estado de Nayarit en las etapas de germinación y plántula.

Materiales y métodos

En esta investigación se trabajó con las variedades de frijol Negro Jamapa, Azufrado y Pinto en condiciones de invernadero en el año 2012, en el ciclo primavera - verano, en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit (UAN), ubicada entre los 21° 25' 40.88" latitud norte y 104° 53' 29.54" longitud oeste, a una altitud de 974 m.

En macetas de color negro de 500 mL con agrolita como sustrato se sembraron 10 semillas de frijol a un centímetro de profundidad. Previo a la siembra se aplicó el riego con agua destilada, testigo (T_0) y soluciones salinas (Tratamientos $T_1 \dots T_n$). El agua destilada y soluciones salinas se agregaron al 60% (300 mL) del peso total del volumen de la maceta, promediando el volumen de las repeticiones. Una vez vertida la solución (agua destilada o solución salina), las macetas se pesaron diariamente para poder agregar agua destilada que correspondió al agua que se evapotranspiró. La concentración de la sal quedó intacta.

Germinación-plántula. La etapa de germinación se consideró terminada cuando apareció sobre la agrolita el hipocotilo junto con los cotiledones y la de plántula cuando visiblemente se notó el efecto de la concentración de NaCl (a partir de la primera hoja trifoliada).

Tratamientos. La concentración de las soluciones salinas de NaCl variaron de acuerdo con las gráficas de tolerancia de los cultivos de Mass y Hoffman (1977), del porcentaje de rendimiento relativo (Y) con respecto a la concentración de las soluciones salinas CE (X), los cuales disminuyen el rendimiento en: 0% (T_0), 0% umbral (T_1), 25% (T_2), 50% (T_3), 75% (T_4) y 100% (T_5), además de incluir un valor extremo exploratorio de 150% (T_6), resultando en siete niveles de salinidad cuyas CE teóricas fueron: $T_0=0 \text{ dS m}^{-1}$ (0.0 mM); $T_1=1 \text{ dS m}^{-1}$ (11 mM); $T_2=2.3 \text{ dS m}^{-1}$ (25 mM); $T_3=3.6 \text{ dS m}^{-1}$ (39 mM); $T_4=5 \text{ dS m}^{-1}$ (55 mM); $T_5=6.3 \text{ dS m}^{-1}$ (69 mM) y $T_6=9 \text{ dS m}^{-1}$ (99 mM).

Materials and methods

In this research, we worked with the bean varieties Negro Jamapa, Azufrado and Pinto in the greenhouse in 2012, in the spring - summer in the Academic Unit of Agriculture of the Autonomous University of Nayarit (UAN), it is located between 21° 25' 40.88" North latitude and 104° 53' 29.54" W, at an elevation of 974 m.

In black color pots with perlite as 500 mL substrate 10 bean seeds were planted an inch deep. Before sowing irrigation with distilled water control (T_0) and saline solutions (treatments $T_1 \dots T_n$) was applied. The distilled water and saline solutions were added to 60% (300 mL) of the total weight of the volume of the pot, the volume averaging repetitions. Once poured the solution (distilled water or saline), the pots were weighed daily to add distilled water corresponded to water that evaporated. The concentration of the salt remained intact.

Germination-seedling. Germination stage was deemed complete when he appeared on the perlite with cotyledons hypocotyl and seedling when visibly the effect of NaCl concentration was noted (from the first trifoliolate leaf).

Treatments. Concentration salt solutions of NaCl varied according to the graphs of tolerance of crops Mass and Hoffman (1977), the percentage of relative yield (Y) with respect to the concentration of the salt solutions EC (X), which decrease the yield: 0% (T_0), 0% threshold (T_1), 25% (T_2), 50% (T_3), 75% (T_4) and 100% (T_5), and includes an exploratory extreme value of 150% (T_6), resulting in seven levels of salinity which theoretical CE were: $T_0=0 \text{ dS m}^{-1}$ (0.0 mM); $T_1=1 \text{ dS m}^{-1}$ (11 mM); $T_2=2.3 \text{ dS m}^{-1}$ (25 mM); $T_3=3.6 \text{ dS m}^{-1}$ (39 mM); $T_4=5 \text{ dS m}^{-1}$ (55 mM); $T_5=6.3 \text{ dS m}^{-1}$ (69 mM) and $T_6=9 \text{ dS m}^{-1}$ (99 mM).

Preparation of solutions. Much salt in the treatments was calculated by applying the equations proposed by the Salinity Laboratory of the United States (Richards, 1990).

$$\text{mg L}^{-1} = 640 (\text{CE})$$

Where: mg L^{-1} is the concentration of salts in solution; CE= is the electrical conductivity of the solution (dS m^{-1} at 25 °C).

For calculation purposes was considered that 0.640 g of salt generates an electrical conductivity of 1 dS m^{-1} .

Preparación de soluciones. La cantidad de sal en los tratamientos, se calculó mediante la aplicación de las ecuaciones propuestas por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (Richards, 1990).

$$\text{mg L}^{-1} = 640 (\text{CE})$$

Donde: mg L^{-1} es la concentración de las sales en solución; CE es la conductividad eléctrica de la solución (dS m^{-1} a 25°C).

Para fines de cálculo se consideró que 0.640 g de sal genera una conductividad eléctrica de 1.0 dS m^{-1} .

El rendimiento relativo se estimó con la ecuación propuesta por Mass y Hoffman (1977):

$$Y = 100 - b (\text{CEs} - \text{Su})$$

Donde: Y es el rendimiento potencial en %; CEs es la conductividad eléctrica de la solución en dS m^{-1} ; Su es la salinidad umbral en dS m^{-1} ; b es la disminución del rendimiento por aumento unitario de salinidad.

Diseño experimental. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, con tres repeticiones, con un arreglo factorial A x B, donde A fue la variedad y B la solución de NaCl, haciendo un total de 63 unidades experimentales. Como unidad experimental se consideró una maceta, la cual contenía 10 semillas germinadas o cinco plántulas.

Variables evaluadas. La evaluación del porcentaje de germinación se realizó diariamente. En la etapa de plántula se registraron cada tercer día altura y diámetro del tallo y al término del experimento se determinó el peso fresco y peso seco del vástago y la raíz.

Análisis de resultados. Se realizó un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey ($p \leq 0.05$) con el programa Statistical Analysis Systems (SAS, 2009).

Resultados y discusión

El análisis de varianza (Cuadro 1) indica diferencias altamente significativas en la germinación, longitud de tallo y longitud de raíz debido al incremento en las concentraciones de NaCl expresadas como conductividad

Relative yield was estimated with the proposal by Mass and Hoffman (1977) equation:

$$Y = 100 - b (\text{CEs} - \text{Su})$$

Where: Y=% is potential in yield; CEs= is the electrical conductivity of the solution in dS m^{-1} ; Its= the threshold salinity dS m^{-1} ; b is the decrease in yield per unit increase in salinity.

Experimental design. The experimental design was completely randomized with three replications in a factorial arrangement A x B, where A and B was the variety NaCl solution, making a total of 63 experimental units. As experimental unit was considered a container, which contained 10 or five seedlings sprout.

Variables evaluated. Assessment germination percentage was performed daily. In the seedling stage were recorded every third day height and stem diameter at the end of the experiment and the fresh weight and dry weight of shoot and root was determined.

Analysis of results. Analysis of variance and comparison of means by Tukey ($p \leq 0.05$) with the Statistical Analysis Systems (SAS, 2009) program was conducted.

Results and discussion

The analysis of variance (Table 1) indicate highly significant differences in germination, stem length and root length due to higher NaCl concentrations expressed as electrical conductivity. In addition, highly significant interaction between the electrical-conductivity ranges for these variables was found.

Cuadro 1. Análisis de varianza para las variables evaluadas en la fase de germinación y plántula de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Table 1. Analysis of variance for the variables evaluated in the phase of germination and seedling bean under saline conditions induced NaCl.

Fuente de variación	GL	G	LT	LR
Conductividad eléctrica	6	**	**	**
Variedad	2	**	**	**
Conductividad eléctrica-variedad	20	**	**	**

*= significancia a 5%; **= significancia a 1%; GL= grados de libertad; G= germinación; LT= longitud de tallo; LR= longitud de raíz.

eléctrica. Así también, se encontró interacción altamente significativa entre la conductividad eléctrica-variedad para las variables mencionadas.

Germinación

Los resultados obtenidos de la germinación (Cuadro 2) indican que el frijol Negro tuvo una reducción de 34% a una conductividad eléctrica de 6.3 dS m⁻¹ (establecido como límite de tolerancia por Mass y Hoffman en 1977) y 48.4% a una conductividad de 9 dS m⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2008). El frijol Pinto fue la más afectada, la germinación se redujo 41.7% a 6.3 dS m⁻¹ y 54.7% a 9 dS m⁻¹. El frijol Azufrado fue la más tolerante a la salinidad, la germinación se disminuyó 25.3% a 6.3 dS m⁻¹ y en 30.3% a 9 dS m⁻¹ (Cuadro 3).

Germination

The germination results obtained (Table 2) indicate that the Negro bean had a reduction of 34% to an electrical conductivity of 6.3 dS m⁻¹ (established as Mass tolerance limit and Hoffman 1977) and 48.4% to a conductivity 9 dS m⁻¹ (Sánchez *et al.*, 2008). Pinto bean was the most affected, germination decreased 41.7% to 6.3 dS m⁻¹ and 54.7% to 9 dS m⁻¹. The Azufrado bean was the most tolerant to salinity, germination decreased 25.3% to 6.3 dS m⁻¹ and 30.3% to 9 dS m⁻¹ (Table 3).

Pinto bean germination is affected markedly after a concentration of 1 dS m⁻¹ (0.640 g L⁻¹), the Negro and Azufrado after 3.6 dS m⁻¹ (2.3 g L⁻¹).

Cuadro 2. Efecto de las variedades y las concentraciones de salinidad con cloruro de sodio en la germinación, longitud de tallo y de raíz en frijol.

Table 2. Effect of varieties and concentrations of sodium chloride salinity on germination, stem length and root bean.

Factor	Germinación (%)	Longitud de tallo cm	Longitud de raíz
Variedades			
Negro	81.2 b	6.2 a	11.6 a
Pinto	76.7 c	6.2 a	11.1 b
Azufrado	88.4 a	5.8 b	10.7 c
NaCl (dS m ⁻¹)			
0.0	89.8 c	6.9 b	14.6 b
1.0	99.4 a	7.4 a	16.6 a
2.3	96.4 b	7.1 b	15.1 b
3.6	93.9 b	6.5 c	12.8 c
5.0	77.1 d	5.7 d	8.3 d
6.3	66.0 e	5.1 e	7.0 e
9.0	51.6 f	3.9 f	3.7 f

Promedios con letras similares en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Porcentaje de germinación, longitud de tallo y longitud de raíz de las variedades de frijol Negro, Pinto y Azufrado en salinidad inducida con cloruro de sodio.

Table 3. Percentage of germination, stem length and root length of the bean varieties Negro, Pinto and Azufrado salinity induced with sodium chloride.

NaCl (dS m ⁻¹)	Germinación (%)			Longitud de tallo cm			Longitud de raíz		
	Negro	Pinto	Azufrado	Negro	Pinto	Azufrado	Negro	Pinto	Azufrado
0.0	89.7 b	89.7 b	90.0 b	6.8 b	7.5 a	6.4 a	14.8 b	15.2 b	13.8 b
1.0	100.0 a	99.7 a	100.0 a	7.4 a	7.7 a	6.9 a	16.5 a	17.0 a	16.2 a
2.3	99.7 a	89.7 b	100.0 a	7.1 ab	7.5 a	6.6 a	15.9 ab	15.2 b	14.2 b
3.6	99.7 a	82.3 c	99.7 a	6.5 b	6.9 b	6.3 ab	13.1 c	13.5 c	11.9 c
5.0	74.7 c	72.0 d	84.7 c	5.8 c	5.8 c	5.7 bc	9.6 d	7.2 d	8.3 d
6.3	65.0 d	58.3 e	74.7 d	5.3 c	4.8 d	5.2 c	8.3 d	6.0 e	6.8 e
9.0	39.7 e	45.3 f	69.7 e	4.4 d	3.5 e	3.7 d	3.4 e	3.6 f	4.1 f

Promedios con letras similares en la misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La germinación del frijol Pinto es afectado notablemente después de una concentración de 1 dS m^{-1} (0.640 g L^{-1}), el Negro y el Azufrado después de 3.6 dS m^{-1} (2.3 g L^{-1}).

Taffouo *et al.* (2009) encontraron que la germinación del frijol es afectado desde 3 g L^{-1} de NaCl (4.7 dS m^{-1}) pero no definen la variedad que utilizaron.

En general, conforme la concentración de NaCl se incrementó la tasa de germinación disminuyó (Cuadro 2). Estudios realizados, como los de Madueño *et al.* (2006); Taffouo *et al.* (2009) y Kaymakanova (2009) demuestran la misma tendencia, a mayor concentración salina menor porcentaje de germinación.

La elevada concentración salina del medio de germinación disminuye el potencial hídrico y por lo tanto reduce la disponibilidad de agua necesaria para imbibición que requiere las semilla para germinar (Kaymakanova *et al.*, 2008). Se ha demostrado que a mayor concentración de sales menor potencial osmótico e hídrico y por tanto la semilla tiene que realizar procesos de ajustes osmóticos para poder superar el potencial del medio en el que está inmersa y así germinar; de lo contrario, si no logra superar el estrés del medio se deshidratará.

Parte aérea

En el presente estudio se encontró una disminución progresiva en la longitud de tallo conforme incrementaba la concentración de NaCl (Cuadro 2). La diferencia de longitud de tallo entre el testigo (T_0) y el tratamiento más alto (T_6) fue de 2.4, 4 y 3.2 cm, para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente (Cuadro 3).

Bahena *et al.* (2008) y Khadri *et al.* (2007) mencionan que bajo condiciones de estrés salino las plantas realizan ajustes metabólicos, crean condiciones de resistencia. Al realizar estos ajustes, las plantas emplean todos los elementos necesarios para su crecimiento para desarrollarse metabolitos que le permitan generar potenciales osmóticos mayores al medio en el cual se encuentran inmersos; disminuyendo por tanto, su crecimiento. Estos metabolitos se generan a partir de la acumulación de solutos orgánicos compatibles (carbohidratos solubles, aminoácidos, prolina y betaina), de iones inorgánicos o de ambos (Bahena *et al.*, 2008).

Se observó un incremento en el diámetro del tallo de la plántula de frijol a mayor concentración de NaCl (Figura 1). Para el frijol Negro se obtuvo una diferencia de 1.33 mm entre el testigo y la conductividad eléctrica más alta. Para el Pinto 1.66 y el Azufrado 1.88 mm.

Taffouo *et al.* (2009) found that germination of bean is concerned from 3 g L^{-1} of NaCl (4.7 dS m^{-1}) but do not define the variety they used.

Overall, as the concentration of NaCl the germination rate decreased (Table 2) was increased. Studies, such as Madueño *et al.* (2006); Taffouo *et al.* (2009) and Kaymakanova (2009) show the same trend, the higher salt concentration lower percentage of germination.

The high saline concentration of the germination medium water potential decreases and thus reduces the availability of water needed for the seed soaking required for germination (Kaymakanova *et al.*, 2008). It has been shown that the higher the concentration of salts and minor osmotic water potential and therefore the seed has to perform simple adjustments to overcome osmotic potential of the medium in which it is immersed and so germinate; otherwise, if it manages to overcome environmental stress will dehydrate.

Aerial parts

In the present study found a gradual decrease in stem length increased as the concentration of NaCl (Table 2). The difference in stem length between the control (T_0) and the highest treatment (T_6) was 2.4, 4 and 3.2 cm for the Negro, Pinto and Azufrado, respectively (Table 3) beans.

Bahena *et al.* (2008) and Khadri *et al.* (2007) mentioned that under salt stress plants perform metabolic adjustments, create conditions of resistance. In making these adjustments, plants use all the elements needed for growth to generate metabolites that enable higher osmotic potentials to the medium in which they are immersed developed; thus decreasing their growth. These metabolites are generated from the accumulation of organic compatible solute (soluble carbohydrates, amino acids, proline and betaine), inorganic ions, or both (Bahena *et al.*, 2008).

An increase stem diameter of bean seedling to higher NaCl concentration (Figure 1) was observed. Negro beans for a difference of 1.33 mm between the control and the highest electrical conductivity was obtained. Pinto 1.66 to 1.88 mm and Azufrado.

Studies such as those by Scholberg and Locascio (1999) and Beckmann *et al.* (2008) indicate a decrease in the diameter of bean stem as the concentration of NaCl increases. Bahena *et al.* (2008) in an investigation that found the bean water and osmotic potentials decrease as the salt burden intensifies, but osmotic adjustment allows cell turgor is maintained or increased.

Estudios como los realizados por Scholberg y Locascio (1999) y Beckmann *et al.* (2008) indican una disminución en el diámetro del tallo del frijol conforme se incrementa la concentración de NaCl. Bahena *et al.* (2008) en una investigación sobre el frijol encontraron que los potenciales hídrico y osmótico disminuyen conforme se intensifica el agobio salino, pero el ajuste osmótico permite que la turgencia celular se mantenga o aumente.

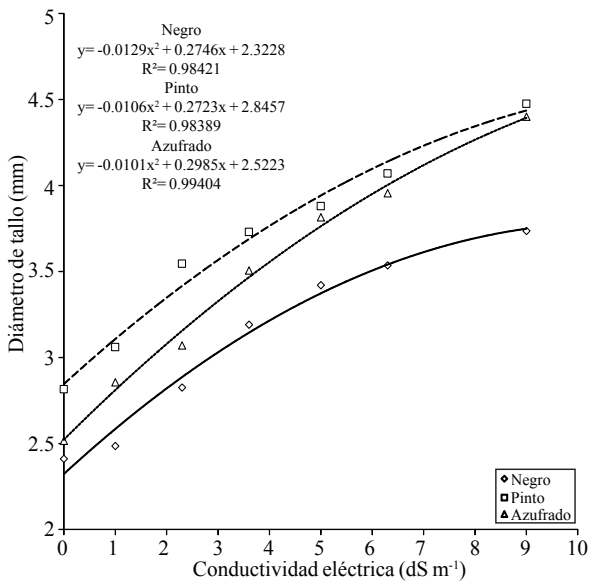


Figura 1. Diámetro de tallo de plántulas de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Figure 1. Diameter stem of bean seedlings under saline conditions induced by NaCl.

Los datos del peso fresco de las plántulas indican que conforme se incrementó la concentración salina el peso fresco disminuyó (Figura 2). La diferencia entre el testigo y el tratamiento más alto fue de 0.29, 0.30 y 0.18 g para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente. Ciftci *et al.* (2011) encontraron diferencias en peso fresco entre variedades comparando el testigo con la concentración salina de 50 mM a base de NaCl.

Se observó una disminución paulatina del peso seco (Figura 3). La diferencia entre el testigo y el tratamiento más alto fue de 0.05, 0.03 y 0.05 g para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente. Taffouo *et al.* (2009) encontraron que el peso seco se reduce notablemente a partir de 50 mM de NaCl, debido al estrés osmótico y al efecto de los iones específicos Cl⁻ y Na⁺.

The data of the fresh weight of seedlings indicate that as the salt concentration decreased the fresh weight (Figure 2) increased. The difference between the control treatment and the highest was 0.29, 0.30 and 0.18 g for the Negro, Pinto and Azufrado respectively beans. Ciftci *et al.* (2011) found no differences in weight between varieties fresh comparing the witness with the salt concentration of 50 mM NaCl-based.

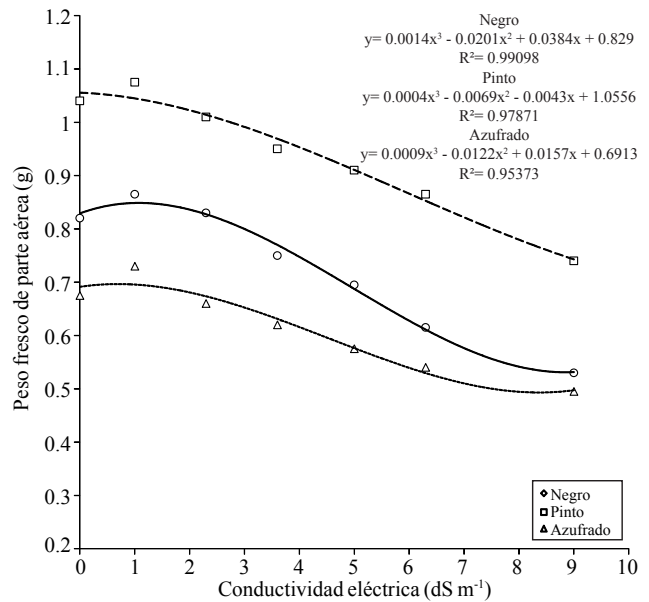


Figura 2. Peso fresco del vástago de plántulas de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Figure 2. Stem fresh weight of bean seedlings under saline conditions induced by NaCl.

A gradual decrease of the dry weight (Figure 3) was observed. The difference between the control treatment and the highest was 0.05, 0.03 and 0.05 g for the Negro, Pinto and Azufrado respectively beans. Taffouo *et al.* (2009) found that the dry weight was significantly reduced from 50 mM NaCl, due to osmotic stress and the effect of specific ions Cl⁻ and Na⁺.

Underground part (root)

In this study varieties sensitive to salinity bean found that the length and root biomass as salinity gradually decreases (Table 2, Figure 4 and 5) is increased. Similar results were found by Gama *et al.* (2007) and Taibi *et al.* (2011).

In potato tubers Sánchez *et al.* (2008) found that the tendency of the root to a high salt concentration is the elongation in order to locate the lower salinity "horizontes" ground.

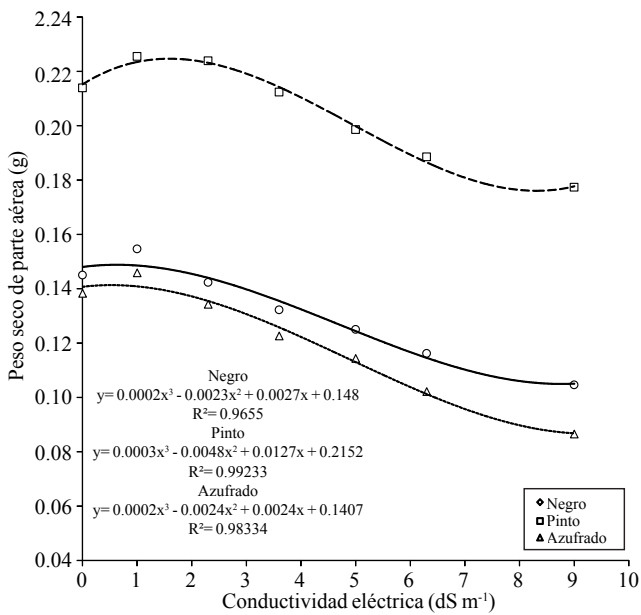


Figura 3. Peso seco del vástago de plántulas de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Figure 3. Stem dry weight of bean seedlings under saline conditions induced by NaCl.

Parte subterránea (raíz)

En este estudio con variedades de frijol sensibles a la salinidad, se encontró que la longitud y la biomasa radical disminuyen gradualmente conforme se incrementa la salinidad (Cuadro 2, Figura 4 y 5). Resultados similares fueron encontrados por Gama *et al.* (2007) y Taibi *et al.* (2011).

En tubérculos de papa Sánchez *et al.* (2008) encontraron que la tendencia de la raíz ante una elevada concentración salina es la elongación con el fin de localizar horizontes del suelo menos salinos.

Madueño *et al.* (2006) en plantas de frijolillo, especie tolerante a la salinidad, encontraron que con una dosis de 100 mM de NaCl se produjeron raíces más largas con relación al control, atribuyendo esto al mecanismo de inducción de la raíz para localizar espacios de menor concentración salina en el suelo y así, evadir el estrés salino. Aunque también señalaron que en general a mayor concentración de sal hay una disminución gradual de la longitud y que a concentraciones mayores a 340 mM de NaCl la disminución de la longitud de la raíz fue más marcada.

La diferencia en longitud de raíz entre el testigo (T₀) y el T₆, fue de 13.1, 13.4 y 12.1 cm para el frijol Negro, Pinto y Azufrado, respectivamente (Cuadro 3). La longitud de la raíz disminuyó notablemente después de la concentración

Madueño *et al.* (2006) in plants frijolillo salt-tolerant species, found that at a dose of 100 mM NaCl longer roots occurred relative to control, assigning this by inducing mechanism for locating the root spaces lower salt concentration in the soil and thus avoid the salt stress. Although also noted that in general the higher the concentration of salt there is a gradual decrease in the length and at concentrations greater than 340 mM NaCl decreased root length was more marked.

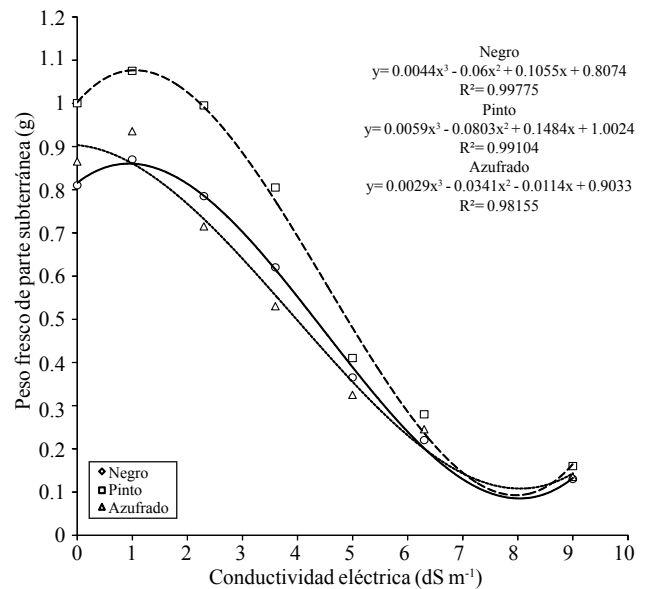


Figura 4. Peso fresco de la raíz de plántulas de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Figure 4. Fresh weight of root bean seedlings under saline conditions induced by NaCl.

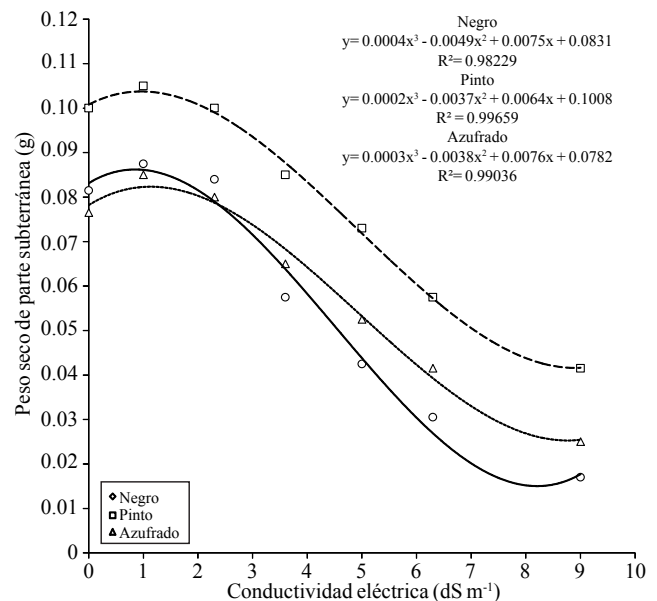


Figura 5. Peso seco de la raíz de plántulas de frijol en condiciones de salinidad inducida con NaCl.

Figure 5. Dry weight root bean seedlings in saline conditions induced with NaCl.

de 3.6 dS m^{-1} (Cuadro 2) y mostró raíces adventicias con raíz principal de poca longitud a la concentración de 9 dS m^{-1} . La explicación a estos resultados es que la raíz también se convierte en órgano de reserva, acumula biomasa para generar potenciales menores al medio salino, inhibiendo su crecimiento (expansión y elongación) a causa del estrés provocado por las condiciones salinas (Pratap y Sharma, 2010).

La explicación de algunos autores sobre la elongación radical como mecanismo de búsqueda de espacios menos salinos es entendible desde el punto de vista que la planta se encuentra en un horizonte salino superficial del suelo en donde es posible que la acumulación salina se debe a las sales contenidas en el agua de riego y que el suelo no sea de origen salino o que sean plantas tolerantes al tipo de sal.

Los resultados de esta investigación indican que la biomasa de la raíz disminuye a mayor concentración salina. Esto se explica por dos causas, la primera por el ajuste osmótico que la planta tiene que realizar para tolerar al estrés salino y poder disponer del agua que requiere para sobrevivir; y la otra es que, en un medio salino, sustrato o suelo, donde se mantienen una humedad constante, mediante el riego o por lluvia natural, las sales tienden a permanecer en las capas más profundas y por tanto las raíces disminuyen su longitud activando un mecanismo que les permite el brote de raíces adventicias, características encontradas en las raíces a concentraciones de 6.3 y 9 dS m^{-1} . Dichos comportamientos fueron reportados por Rogers y West (1993) en trébol en condiciones salinas.

En esta investigación se encontró que los valores de las variables medidas en el testigo a base de agua destilada (0.0 mM) son menores al tratamiento uno (11 mM de NaCl). Bahena *et al.* (2008) encontraron que el número de hojas, área foliar y biomasa de *Phaseolus* spp. fue mayor en el testigo (0.0 mM NaCl) que en el primer tratamiento a base de NaCl (30 mM de NaCl). Investigaciones con rangos más amplios entre el testigo y el primer tratamiento no reflejan las diferencias encontradas en esta investigación.

Conclusiones

Conforme la conductividad eléctrica se incrementó la tasa de germinación decreció. El frijol Azufrado fue la más resistente y el Pinto el más afectado.

The difference in root length between the control (T_0) and T_6 , was 13.1, 13.4 and 12.1 cm for the Negro, Pinto and Azufrado, respectively (Table 3) beans. The root length decreased significantly after concentration of 3.6 dS m^{-1} (Table 2) showed adventitious roots and primary root length at low concentration of 9 dS m^{-1} . The explanation for these results is that the root also becomes body reserve accumulated biomass for lower potentials to saline, inhibiting their growth (expansion and elongation) due to stress caused by saline conditions (Pratap and Sharma, 2010).

The explanation of some authors on radical elongation as search mechanism less saline areas is understandable from the point of view that the plant is in a shallow saline soil horizon where it is possible that the salt accumulation is due to the salts contained in the irrigation water and the soil is not occurring or saline tolerant plants are the type of salt.

The results of this investigation indicate that the root biomass decreases at higher salt concentration. This is due to two causes, the first by the plant osmotic adjustment has to perform to tolerate salt stress and to have the water needed to survive; and the other is that, in a saline medium, substrate or soil, where moisture is kept constant, by natural rainfall or irrigation, the salts tend to remain in the deeper layers of the roots and thus decrease their length by activating a mechanism that allows them the outbreak of adventitious roots, features found in the roots at concentrations of 6.3 and 9 dS m^{-1} . These behaviors were reported by Rogers and West (1993) in clover in saline conditions.

In this investigation, it was found that the values of the variables in the control measures based on (0.0 mM) distilled water are less than one treatment (11 mM NaCl). Bahena *et al.* (2008) found that the number of leaves, leaf area and biomass of *Phaseolus* spp., was higher in the control (0.0 mM NaCl) in the first treatment with NaCl (30 mM NaCl). Research with wider ranges between the witness and the first treatment does not reflect the differences found in this research.

Conclusions

It as the electrical conductivity increased germination rate decreased. The Azufrado bean was the most resistant and the most affected Pinto.

La longitud de tallo, el peso fresco y peso seco de la plántula disminuyó conforme amplió la conductividad eléctrica y el diámetro de tallo incrementó.

La longitud, peso fresco y peso seco de la raíz se redujo gradualmente conforme se descendió la conductividad eléctrica.

The stem length, fresh weight and dry weight of the seedlings decreased with increased the electrical conductivity and stem diameter increased.

The length, fresh weight and dry root weight was gradually reduced as the electrical conductivity is decreased.

End of the English version



Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado a través del programa de Apoyos Complementarios para la Consolidación Institucional de Grupos de Investigación, modalidad Retención (Expediente 168052).

Literatura citada

- Asociación Mexicana de Secretarios de Desarrollo Agropecuario (AMSDA). 2011. Plan rector del sistema producto frijol. <http://www.amsda.com.mx/PREestatales/Estatales/NAYARIT/PREFrijol.pdf>. (consultado enero, 2013).
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. 1987. La calidad del agua y su uso en la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29. Rev. 1. FAO. Roma, Italia. 172 p.
- Bahena, B. L.; Macías, R. L.; López, G. R. y Bayuelo, J. J. S. 2008. Crecimiento y respuestas fisiológicas de *Phaseolus* spp. en condiciones de salinidad. Rev. Fitotec. Mex. 31(3):213-223.
- Beckmann, C. M. Z.; Lucena, C. I. H.; Ferreira, C. L.; Batista, de S. G.; Batista, dos S. J. and Medeiros, de S. M. do S. 2008. Growth and water consumption of two bean species under irrigation with saline water. Scientia Agraria, Curitiba 9(3):349-355.
- Campomexicano. 2005. Plan rector sistema producto nacional frijol. http://www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/Frijol00-05.pdf. (consultado enero, 2013).
- Ciftci, V.; Turkmen, O.; Dogan, Y.; Erdinc, C. and Sensoy, S. 2011. Variation of salinity tolerance in bean genotypes. Afr. J. Agric. Res. 6(10):2394-2402.
- Gama, P. B. S.; Inanaga, S.; Tanaka, K. and Nakazawa, R. 2007. Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. Afr. J. Biotechnol. 6(2):079-088.
- Gutiérrez, R. M.; Escalante, E. J. A. and Rodríguez, G. M. T. 2005. Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccinues* L. under saline field conditions. Int. J. Agric. Biol. 7(3):491-494.
- Kaymakanova, M.; Stoeva, N. and Mincheva, T. 2008. Salinity and its effects on the physiological response of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Central Eur. Agric. 9(4):749-756.
- Kaymakanova, M. 2009. Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Biotechnol. Biotechnol. Equipment. 23(2):326-329.
- Khadri, M.; Tejera, N. A. and Lluch, C. 2007. Sodium chloride-ABA interaction in two common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars differing in salinity tolerance. Environ. Exp. Bot. 60:211-218.
- Maas, E. V. 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (Ed.). Agricultural salinity assessment and management. ASCE. New York, USA. 262-304 pp.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance - current assessment. J. Irrigation Drainage Div. 103:115-134.
- Madueño, M. A.; García, P. D.; Martínez, H. J. y Rubio, T. C. 2006. Germinación y desarrollo de plántulas de frijolillo *Rhynchosia minima* (L) DC en condiciones de salinidad. Terra Latinoamericana 24(1):47-54.
- Miyamoto, S. y Pingitore, N. E. 1992. Predicting calcium and magnesium precipitation in saline solutions following evaporation. Soil Sci. Soc. Am. J. 56:1767-1775.
- Pratap, V. y Sharma, Y. K. 2010. Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in black gram (*Phaseolus mungo*). J. Environ. Biol. 31(5):721-726.
- Reyes, R. E.; Padilla, B. L. E.; Pérez, V. O. y López, J. P. 2008. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. Rev. Inv. Cient. 4(3):1-21.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual Núm. 60. 6ª (Ed.). Departamento de Agricultura de los EE. UU. Laboratorio de Salinidad. Limusa. México. 172 p.
- Rogers, M. E. and West, D. W. 1993. The effects of rootzone salinity and hypoxia on shoot and root growth in *Trifolium* Spice. Ann. Bot. 72:503-509.
- Sánchez, B. E.; Ortega, E. M.; Gonzáles, H. V.; Camacho, E. M. y Kohashi, S. J. 2008. Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. Interciencia 33(9):1-9.
- Scholberg, J. M. S. and Locascio, S. J. 1999. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. HotScience 34(2):259-264.
- Strogonov, B. P. 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity). Israel Program for Scientific Translation. Jerusalem, Israel. 279 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 2009. SAS User's guide: Statistics. Cary. USA. 584 p.
- Subbarao, G. V. and Johansen, C. 1994. Potential for genetic improvement in salinity tolerance in Legumes: Pigeon Pea. In: Pessaraki, M. (Ed.). Handbook of plants and crop stress. Marcel Dekker, New York. 581-595 pp.

Taibi, K.; Boussaid, M.; Achir, M.; Taibi, F. and Belkhodja, M. 2011. Evaluation of growth response and water relations of two bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) from Algerian semi-arid regions grown under salt stress. *Genetics Plant Physiol.* 1(3-4):176-185.

Taffouo, V. D.; Meguekman, L.; Kenne, M.; Magnitsop, A.; Akoa, A. and Ourry, A. 2009. Salt stress effects on germination, plant growth and accumulation of metabolites in five leguminous plants. *Afr. Crop Sci. Conference Proceedings* 9:157-161.