

## Respuesta de *Phaseolus vulgaris* a la salinidad generada por NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>\*

### *Phaseolus vulgaris* response to salinity generated by NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub>

Álvaro Can-Chulim<sup>1§</sup>, Elia Cruz-Crespo<sup>1</sup>, Héctor Manuel Ortega-Escobar<sup>2</sup>, Edgar Iván Sánchez-Bernal<sup>3</sup>, Alberto Madueño-Molina<sup>1</sup>, José Irán Bojórquez-Serrano<sup>1</sup> y Óscar Raúl Mancilla-Villa<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Agricultura-Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela km 9, Xalisco, Nayarit, México. CP. 63780. Tel. 01 (311) 2110128.

<sup>2</sup>Programa de Hidrociencias-Colegio de Postgraduados, Estado de México, México. <sup>3</sup>Instituto de Ecología-Universidad del Mar (UMAR). Puerto Ángel, Oaxaca, México.

<sup>4</sup>Departamento de Producción Agrícola-Centro Universitario de la Costa Sur (CU Costa Sur), Universidad de Guadalajara (U de G). Autlán de Navarro, Jalisco, México.

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: canchulim@yahoo.com.mx.

## Resumen

Se evaluó en la etapa de germinación y plántula la respuesta a la salinidad inducida con NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub> de tres variedades de frijol que son las de mayor producción en Nayarit, México. En invernadero, se estableció un diseño experimental A×B×C completamente al azar con 63 tratamientos y cinco repeticiones. El factor A tuvo siete niveles de concentración de sal (de 0.000 a 5.760 g L<sup>-1</sup>), el B tres variedades de frijol (Negro, Pinto, Azufrado) y el C tres tipos de sal (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>). Se midió la germinación, longitud, biomasa fresca y seca del vástago y raíz. Para todas las concentraciones y tipos de sal, con respecto al umbral, la germinación disminuyó significativamente en promedio 31% a 4.032 g L<sup>-1</sup> y 49% a 5.760 g L<sup>-1</sup>, donde el frijol Azufrado fue el más resistente y la sal NaHCO<sub>3</sub> la que más disminuyó el porcentaje de germinación. La longitud de vástago disminuyó significativamente en promedio 3.942 cm a 5.76 g L<sup>-1</sup>, el frijol Pinto obtuvo mayor biomasa fresca y seca del vástago, y a una concentración de 2.304 g L<sup>-1</sup> de NaHCO<sub>3</sub> ninguna variedad sobrevivió; la longitud de raíz disminuyó significativamente 10.532 cm a 5.760 g L<sup>-1</sup>, el frijol Pinto produjo mayor biomasa fresca y seca de raíz y el NaHCO<sub>3</sub> fue la sal que más afectó

## Abstract

It was evaluated in the germination and seedling stages the response to salinity induced with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub> of three bean varieties which are the most produced in Nayarit, México. In a greenhouse, a completely random experimental design A×B×C was established with 63 treatments and five replicates. Factor A has seven levels of salt concentration (of 0.000-5760 g L<sup>-1</sup>), B with three bean varieties (Black, Pinto, Azufrado) and C three types of salt (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>). Germination, length, fresh and dry biomass of the stem and root were measured. For all types and concentrations of salt, compared to the threshold, germination significantly decreased on average 31% to 4.032 g L<sup>-1</sup> and 49% to 5.760 g L<sup>-1</sup>, where Azufrado bean was the most resistant and NaHCO<sub>3</sub> salt the one that decreased the most the percentage of germination. Stem length was significantly decreased on average 3.942 cm to 5.76 g L<sup>-1</sup>, Pinto bean obtained increased fresh and dry shoot biomass and at a concentration of 2.304 g L<sup>-1</sup> of NaHCO<sub>3</sub> none of the varieties survived; root length significantly decreased 10.532 cm to 5760 g L<sup>-1</sup>, Pinto beans produced more fresh and dry root biomass and NaHCO<sub>3</sub> was the more affecting

\* Recibido: mayo de 2017

Aceptado: agosto de 2017

(Tukey,  $p \leq 0.05$ ). Conforme se incrementó la concentración de sales el porcentaje de germinación, longitud, biomasa fresca y seca del vástago y la raíz disminuyeron; el daño de las sales fue  $\text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Palabras clave:** biomasa, germinación, plántula.

## Introducción

En los suelos se encuentran diferentes concentraciones y tipos de sal, derivados de los procesos de intemperismo y depósito por corrientes superficiales hacia las partes bajas, además de actividades antropogénicas en la que destaca el manejo inadecuado del agua de riego (Kovda, 1961; Ayers y Westcot, 1987). Las sales más importantes presentes en el suelo y el agua son las sales del ácido carbónico, del ácido sulfúrico y las del ácido clorhídrico (Kovda *et al.*, 1973), las más comunes en los suelos de las áreas agrícolas son el cloruro de sodio (NaCl), el sulfato de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) y en menor proporción el bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) (Richards, 1990; Reginato *et al.*, 2014).

Las sales NaCl y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  por su alta solubilidad permanecen en la solución del suelo en condiciones de humedad residual (Sánchez-Bernal *et al.*, 2012). Respecto al  $\text{NaHCO}_3$ , esta es excesivamente tóxica para los cultivos agrícolas, sin embargo, la mayoría formará precipitados de  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaHCO}_3$  (Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; Sánchez-Bernal *et al.*, 2012). Por lo tanto, esta sal afectará más a las variedades de frijol. Por tanto, el  $\text{NaHCO}_3$  se estudió con especial atención, ya que gran parte de las áreas agrícolas en México se riegan con agua superficial de origen residual. El agua residual es rica en  $\text{NaHCO}_3$  (Velázquez-Machuca *et al.*, 2002).

México ocupa el quinto lugar en producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a nivel mundial (Reyes-Rivas *et al.*, 2008). 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, condiciones que incrementan la salinidad (Miyamoto y Pingitore, 1992).

El frijol es sensible a las condiciones salinas y el rendimiento disminuye a partir de una conductividad eléctrica de  $2 \text{ dS m}^{-1}$  (Subbarao y Johansen, 1994). Mass y Hoffman (1977) demostraron que una conductividad eléctrica de hasta  $1 \text{ dS m}^{-1}$  da 100% de rendimiento de grano mientras que a  $6.3 \text{ dS m}^{-1}$  disminuye a 0%.

salt (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). As the salt concentration increased, the germination percentage, length, fresh and dry biomass of the stem and root decreased; the damage caused by salts was:  $\text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Keywords:** biomass, germination, seedling.

## Introduction

Soils have different concentrations and types of salt, derived from the processes of weathering and deposit by surface currents towards the lower parts, as well as anthropogenic activities in which the inadequate management of irrigation water stands out (Kovda, 1961; Ayers y Westcot, 1987). The most important salts present in soil and water are the salts of carbonic acid, sulfuric acid and hydrochloric acid (Kovda *et al.*, 1973), the most common in agricultural areas soils are sodium chloride (NaCl), sodium sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) and to a lesser extent sodium bicarbonate ( $\text{NaHCO}_3$ ) (Richards, 1990; Reginato *et al.*, 2014).

The NaCl and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  salts due to its high solubility remain in the soil solution in conditions of residual moisture (Sánchez-Bernal *et al.*, 2012). Regarding  $\text{NaHCO}_3$ , this is too toxic to crops, however, most will form  $\text{CaCO}_3$  and  $\text{CaHCO}_3$  precipitates (Sánchez-Bernal *et al.*, 2008; Sánchez-Bernal *et al.*, 2012). Therefore, this salt will affect bean varieties the most. Therefore,  $\text{NaHCO}_3$  was studied with particular attention, since much of the agricultural areas in México are irrigated with surface water of residual origin. The residual water is rich in  $\text{NaHCO}_3$  (Velázquez-Machuca *et al.*, 2002).

México ranks fifth in production of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) worldwide (Reyes-Rivas *et al.*, 2008). Beans production in México occur in the spring-summer and autumn-winter agricultural cycles. The autumn-winter cycle is performed under conditions of residual moisture, conditions that increase salinity (Miyamoto and Pingitore, 1992).

Beans are sensitive to salt conditions and yield decreases from an electrical conductivity of  $2 \text{ dS m}^{-1}$  (Subbarao and Johansen, 1994). Mass and Hoffman (1977) showed that an electrical conductivity of up to  $1 \text{ dS m}^{-1}$  gives 100% grain yield while  $6.3 \text{ dS m}^{-1}$  decreases it to 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. Concentraciones altas de sal afectan la etapa y tasa de germinación, longitud del tallo, ramificación y tamaño de las hojas (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2005; Gama *et al.*, 2007). Los grados de afectación son diferentes entre variedades y tipo de sal (Rogers *et al.*, 1998; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008).

En los suelos agrícolas con problemas de salinidad es necesario conocer la tolerancia de los cultivos a las concentraciones y tipos de sal presentes en la solución del suelo. Basándose en estos datos el productor puede hacer un manejo adecuado del suelo y del agua de acuerdo a los límites de tolerancia del cultivo a la sal y con esto hacer más rentable la producción. Por lo cual el objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta a la salinidad inducida con NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub> de las variedades de frijol Negro, Pinto y Azufrado, en la etapa de germinación y plántula.

## Materiales y métodos

Se trabajó con semillas de frijol Negro Jamapa, Pinto y Azufrado, recolectadas en el distrito de riego número 043 ubicado en la zona costera del estado de Nayarit, México. El experimento se estableció en invernadero, en la Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, ubicada entre los 21° 25' 40.88" latitud norte y 104° 53' 29.54" longitud oeste, a una temperatura promedio mensual de 28 °C a una altura de 974 msnm.

En macetas de color negro de 500 mL con agrolita como sustrato se sembraron 10 semillas de frijol a un centímetro de profundidad. Las semillas fueron esterilizadas con solución de hipoclorito de sodio al 5% y enjuagadas con agua destilada. Previo a la siembra se aplicó el riego hasta capacidad de retención de agua del sustrato con agua destilada como testigo (T0= 0 g L<sup>-1</sup>) y soluciones salinas (T1= 0.64; T2= 1.472; T3= 2.304; T4= 3.2; T5= 4.032 y T6= 5.76 g L<sup>-1</sup>). Una vez vertida la solución, las macetas se pesaron diariamente para conocer el agua evapotranspirada. El volumen evapotranspirado se repuso con agua destilada, para mantener la concentración de la sal constante en el tiempo. Después de germinada la semilla se procedió a dejar cinco plántulas por maceta, continuando con el riego con agua destilada.

Strogonov (1964) and Mass (1990), mentioned as the most common effect of salinity, the general retardation of plant growth; when the salts concentration increases above the limit level, the speed of growth and the size of most species decrease progressively. High salt concentrations affect the stage and germination rate, stem length, branching and leaf size (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2005; Gama *et al.*, 2007). The involvement degree is different among varieties and type of salt (Rogers *et al.*, 1998; Sánchez-Bernal *et al.*, 2008).

In agricultural soils with salinity problems it is necessary to know the tolerance of the crops to the concentrations and types of salt in the solution of the soil. Based on these data the producer can make an adequate management of the soil and the water according to the tolerance limits of the culture to the salt and with this achieve a more profitable production. Whereby the objective was to evaluate the response to salinity induced with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub> in Black, Pinto and Azufrado common bean varieties in the germination and seedling stage.

## Material and methods

Black Jamapa, Pinto and Azufrado beans were used, they were harvested in the irrigation district number 043 located in the coastal zone of Nayarit, México. The experiment was established in a greenhouse at the Unidad Académica de Agricultura de la Universidad Autónoma de Nayarit, located between 21° 25' 40.88" north latitude and 104° 53' 29.54" west longitude, at an average monthly temperature of 28 °C at a height of 974 masl.

In 500 mL black pots with agrolite as substrate, 10 bean seeds were planted at one centimeter depth. The seeds were pre-sterilized with 5% sodium hypochlorite solution and rinsed with distilled water. Presowing irrigation was applied to water retention capacity of the substrate with distilled water as control (T0= 0 g L<sup>-1</sup>) and saline solutions (T1= 0.64; T2= 1.472; T3= 2.304; T4= 3.2; T5= 4.032 and T6= 5.76 g L<sup>-1</sup>). Once the solution was poured, the pots were weighed daily to know the evapotranspired water. The evapotranspiration volume was replenished with distilled water to maintain the salt concentration constant over time. After germinating, five seedlings were left per pot, continuing the irrigation with distilled water.

## Tratamientos

La concentración de las soluciones salinas de NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub> se calculó con base en la conductividad eléctrica (CE) teórica y la disminución del rendimiento de 0% a 150%, la ecuación utilizada fue propuesta por Mass y Hoffman (1977):  $Y = 100 - b(CE_s - Su)$ ; donde: Y= rendimiento potencial (%); CE<sub>s</sub>= conductividad eléctrica de la solución (dS m<sup>-1</sup>); Su= salinidad umbral (dS m<sup>-1</sup>); b= es la disminución del rendimiento por aumento unitario de salinidad.

Los tratamientos investigados fueron testigo 0% (T0), 0% umbral (T1), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4), 100% (T5) y 150% (T6), donde las CE teóricas fueron: T0= 0 dS m<sup>-1</sup>; T1= 1 dS m<sup>-1</sup>; T2= 2.3 dS m<sup>-1</sup>; T3= 3.6 dS m<sup>-1</sup>; T4= 5 dS m<sup>-1</sup>; T5= 6.3 dS m<sup>-1</sup> y T6= 9 dS m<sup>-1</sup>.

## 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 de América (Richards, 1990).

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

Donde:  $\text{mg L}^{-1}$ = concentración de las sales en solución; CE= conductividad eléctrica de la solución (dS m<sup>-1</sup> a 25 °C).

Para fines de cálculo se consideró que 0.64 g L<sup>-1</sup> de sal genera una conductividad eléctrica teórica de 1 dS m<sup>-1</sup>.

## Diseño experimental

Se utilizó un diseño factorial A×B×C, completamente al azar con cinco repeticiones. Donde A= concentración de sal, B= variedad de frijol y C= tipos de sal. El primer factor tuvo siete niveles (T0= 0 g L<sup>-1</sup>; T1= 0.64 g; T2= 1.472 g; T3= 2.304 g; T4= 3.2 g; T5= 4.032 g y T6= 5.76 g), el segundo tres (frijol Negro, Pinto y Azufrado) y el tercero tres (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>). Como unidad experimental se consideró una maceta con 10 semillas germinadas para la primera etapa y cinco plántulas para la segunda.

## Variables estudiadas

En la etapa de germinación se evaluó con la aparición del hipocótilo con los cotiledones sobre la agrolita y en la etapa de plántula cuando hubo efecto de la concentración de las sales en la primera hoja trifoliada. Para obtener el porcentaje

## Treatments

The concentration of the salt solutions of NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub> was calculated based on the theoretical electrical conductivities (CE) and decreasing yield of 0% to 150%, the equation used was proposed by Mass and Hoffman (1977):  $Y = 100 - b(CE_s - Su)$ ; where: Y= is the potential yield (%); CE<sub>s</sub>= is the electrical conductivity of the solution (dS m<sup>-1</sup>); Su= is the threshold salinity (dS m<sup>-1</sup>); b= is the decrease in yield per unit increase of salinity.

The treatments investigated were control 0% (T0), 0% threshold (T1), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4), 100% (T5) and 150% (T6) theoretical CE were: T0= 0 dS m<sup>-1</sup>; T1= 1 dS m<sup>-1</sup>; T2= 2.3 dS m<sup>-1</sup>; T3= 3.6 dS m<sup>-1</sup>; T4= 5 dS m<sup>-1</sup>; T5= 6.3 dS m<sup>-1</sup> and T6= 9 dS m<sup>-1</sup>.

## Preparation of solutions

The amount of salt in the treatments was calculated by applying the equations proposed by the Salinity Laboratory of the United States of America (Richards, 1990).

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

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

For calculation purposes it was considered that 0.64 g L<sup>-1</sup> salt generates a theoretical electrical conductivity of 1 dS m<sup>-1</sup>.

## Experimental design

A factorial design A×B×C was used, completely random with five replicates. Where A= salt concentration, B= bean variety and C= salt types. The first factor had seven levels (T0= 0 g L<sup>-1</sup>; T1= 0.64 g; T2= 1.472 g; T3= 2.304 g; T4= 3.2 g; T5= 4.032 g and T6= 5.76 g), the second had three (Black, Pinto and Azufrado bean) and the third had three (NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub>). As experimental unit it was considered a pot with 10 seeds germinated for the first stage and five seedlings for the second.

## Studied variables

In the germination stage it was evaluated with the appearance of the hypocotyl with the cotyledons on the agrolite and in the seedling stage when there was effect of the salts concentration in the first trifoliolate leaf. In order to obtain



de germinación se cuantificaron las semillas germinadas respecto al total. En la etapa de plántula, al término del experimento, a los 22 días, se midió la longitud en cm de la plántula y la raíz. La biomasa fresca y seca del vástago y la raíz, se evaluó con el peso fresco y seco en g, se usó una balanza analítica y estufa a 60 °C.

### Análisis estadístico

Se aplicó análisis de varianza usando el programa SAS (SAS Institute, 1999). Las diferencias entre las medias fueron comparadas por Tukey ( $p \leq 0.05$ ) y se realizaron análisis de regresión.

## Resultados y discusión

### Germinación

En la interacción factor frijol por concentración de sal se encontró que a una concentración de 2.304 g el frijol Negro disminuyó en mayor valor su germinación. En la interacción tipo de sal por tipo de frijol el frijol Azufrado y Pinto obtuvieron la mayor germinación con Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, pero con NaHCO<sub>3</sub> Azufrado y Pinto disminuyeron hasta alcanzar valores cercanos al del frijol Negro.

En general el porcentaje de germinación disminuyó conforme se incrementó la concentración salina (Cuadro 1), la CE teórica de 3.6 dS m<sup>-1</sup> con 2.304 g de sal la disminuyó 7%, la concentración de 4.032 g 31% y con 5.76 g 49%, con respecto al umbral, para todas las concentraciones y tipos de sal. La variedad de frijol más resistente en la etapa de germinación a todas las concentraciones y tipos de sal fue el Azufrado, seguido del Pinto y del Negro (Cuadro 2). El tipo de sal afectó de manera particular a cada variedad, el NaCl afectó más al frijol Pinto, el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al frijol Negro y el NaHCO<sub>3</sub> al frijol Pinto (Figura 1). El tipo de sal, a todas las concentraciones, que más disminuyó el porcentaje de germinación de todas las variedades de frijol fue el NaHCO<sub>3</sub> (33%), seguido del NaCl (18%) y el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (11%) (Cuadro 3).

### Parte aérea

En la interacción factor frijol por concentración de sal se encontró que la longitud, biomasa fresca y seca del vástago de la concentración 0.64 a 2.304 el frijol Azufrado fue el más afectado con menor valor para estas variables.

the germination percentage the germinated seeds were quantified compared to the total. In the seedling stage, at the end of the experiment, at 22 days, the length in cm of the seedling and the root were measured. Fresh and dry biomass of the stem and root were evaluated with fresh and dry weight in g, using an analytical balance and stove at 60 °C.

### Statistic analysis

Analysis of variance was applied using the SAS program (SAS Institute, 1999). Differences between means were compared by Tukey ( $p \leq 0.05$ ) and regression analysis were performed.

## Results and discussion

### Germination

In the interaction bean factor by salt concentration it was found that at a concentration of 2.304 g the Black beans decreased in higher value its germination. In the salt type interaction by bean type Azufrado and Pinto beans obtained the greatest germination with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, but with NaHCO<sub>3</sub> Azufrado and Pinto decreased to near-Black bean values.

Generally the germination percentage decreased as salt concentration increased (Table 1), the theoretical CE of 3.6 dS m<sup>-1</sup> with 2.304 g of the salt decreased 7%, the concentration of 4.032 g 31% and with 5.76 g 49% compared to the threshold, for all concentrations and types of salt. The most resistant bean variety in the germination stage at all concentrations and salt types was Azufrado, followed by Pinto and Negro (Table 2). The type of salt affected particularly each variety, the NaCl affected more the Pinto bean, the Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> affected Black beans and NaHCO<sub>3</sub> the Pinto beans (Figure 1). The type of salt, at all concentrations, that decreased the most the percentage of germination of all beans varieties was NaHCO<sub>3</sub> (33%), followed by NaCl (18%) and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (11%) (Table 3).

### Aerial part

In the interaction bean factor by salt concentration it was found that the length, fresh and dry biomass of the stem of the concentration of 0.64 to 2.304, the Azufrado bean was the most affected with lower value for these variables. In the

En la interacción tipo de sal por tipo de frijol la longitud, biomasa fresca y seca del vástago en frijol Azufrado fue de menor valor con NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pero con NaHCO<sub>3</sub> las tres variedades disminuyeron drásticamente los valores de estas variables y fueron cercanos entre si.

type of salt by bean type interaction, length, fresh and dry stem biomass, Azufrado showed lower values with NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> but with NaHCO<sub>3</sub> the three varieties drastically decreased the values of these variables and were close to each other.

**Cuadro 1. Efecto de las concentraciones de sal en la germinación, longitud, biomasa fresca y seca del vástago y raíz en frijol.**  
**Table 1. Effect of salt concentrations on germination, length, fresh and dry biomass of stem and root in beans.**

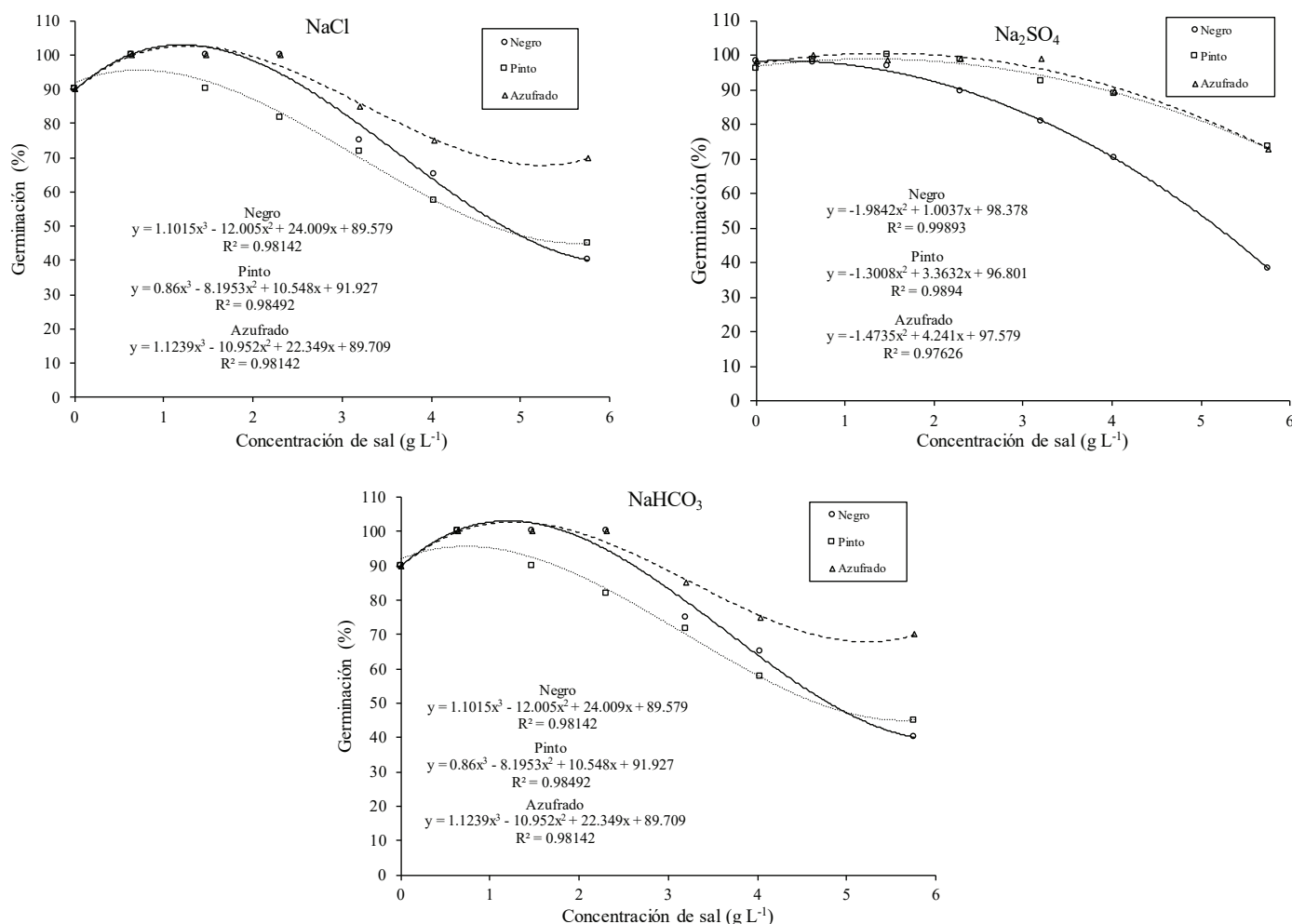
Concentración de sal (g L <sup>-1</sup> )	CEt (dS m <sup>-1</sup> )	PG (%)	Vástago			Raíz		
			Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)	Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)
0	0	95 c	7.624 a	0.686 a	0.182 a	16.027 a	0.471 a	0.05 b
0.64	1	99 a	6.219 b	0.649 b	0.181 a	12.628 b	0.452 b	0.055 a
1.472	2.3	96 b	5.12 c	0.536 c	0.155 b	10.249 c	0.379 c	0.047 c
2.304	3.6	92 d	4.164 d	0.412 d	0.108 c	7.588 d	0.293 d	0.035 d
3.2	5	79 e	3.592 e	0.378 e	0.101 d	5.070 e	0.17 e	0.026 e
4.032	6.3	68 f	3.082 f	0.345 f	0.093 e	3.698 f	0.106 f	0.019 f
5.76	9	50 g	2.278 g	0.298 g	0.083 f	2.096 g	0.055 g	0.012 g
DMS		0.792	0.265	0.006	0.002	0.321	0.004	0.001
R <sup>2</sup>		0.997	0.98	0.999	0.999	0.994	0.999	0.999
CV		1.526	9.242	2.057	2.017	6.252	2.577	3.251

Promedios en una columna con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). CEt= conductividad eléctrica teórica; PG= porcentaje de germinación; PF= peso fresco; PS= peso seco; DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación. Anova general, sin discriminar por tipo de sal ni variedad.

**Cuadro 2. Efecto de las variedades en la germinación, longitud, biomasa fresca y seca del vástago y raíz en frijol.**  
**Table 2. Effect of varieties on germination, length, fresh and dry biomass of stem and root in beans.**

Variedad	PG (%)	Vástago			Raíz		
		Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)	Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)
Negro	78 c	4.734 a	0.446 b	0.113 b	8.505 a	0.247 c	0.032 c
Pinto	83 b	4.519 b	0.623 a	0.174 a	8.273 b	0.313 a	0.04 a
Azufrado	87 a	4.495 b	0.347 c	0.101 c	7.804 c	0.266 b	0.033 b
DMS	0.411	0.138	0.003	0.001	0.167	0.002	0
R <sup>2</sup>	0.997	0.98	0.999	0.999	0.994	1	0.999
CV	1.526	9.242	2.057	2.017	6.252	2.577	3.251

Promedios en una columna con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PG= Porcentaje de germinación; PF= peso fresco; PS= peso seco; DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación. Los valores corresponden a la respuesta de cada variedad al factor salinidad sin discriminar concentración y tipo de sal.



**Figura 1. Germinación de variedades de frijol en condiciones de salinidad inducidas con NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>.**  
**Figure 1. Germination of bean varieties under induced saline conditions with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub>.**

**Cuadro 3. Efecto de los tipos de sal en la germinación, longitud, biomasa fresca y seca del vástago y raíz en frijol.**  
**Table 3. Effect of salt types on germination, length, fresh and dry biomass of stem and root in beans.**

Tipo de sal	PG (%)	Vástago			Raíz		
		Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)	Longitud (cm)	PF (g)	PS (g)
NaCl	82 b	6.172 a	0.761 a	0.152 b	11.263 a	0.585 a	0.066 a
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	89 a	5.773 b	0.497 b	0.163 a	10.332 b	0.222 b	0.033 b
NaHCO <sub>3</sub>	77 c	1.802 c	0.158 c	0.072 c	2.986 c	0.019 c	0.005 c
DMS	0.411	0.138	0.003	0.001	0.167	0.002	0
R <sup>2</sup>	0.997	0.98	0.999	0.999	0.994	1	0.999
CV	1.526	9.242	2.057	2.017	6.252	2.577	3.251

Promedios en una columna con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05). PG= porcentaje de germinación; PF= peso fresco; PS= peso seco; DMS= diferencia mínima significativa; CV= coeficiente de variación. Los valores corresponden a medias generales para todas las variedades y todas las concentraciones usadas para cada tipo de sal.

El Cuadro 1 mostro conforme incrementó la concentración salina la longitud, biomasa fresca y seca del vástago disminuyeron. A una concentración de 4.032 g L<sup>-1</sup> la longitud disminuyó 3.138 cm y a 5.76 g 3.942 cm, con respecto al umbral, para todas las concentraciones y tipos de sal. La variedad que alcanzó mayor biomasa fresca y seca para todas las concentraciones y tipos de sal fue el frijol Pinto (Cuadro 2). La etapa de plántula la sal que más afectó la longitud, biomasa fresca y seca de vástago y raíz de las variedades de frijol fue el NaHCO<sub>3</sub> (Cuadro 3), a una concentración de 2.304 g de NaHCO<sub>3</sub> ninguna variedad sobrevivió (Figura 2).

Table 1 shows that as the salt concentration increased, the length and fresh and dry biomass of the stem decreased. At a concentration of 4.032 g L<sup>-1</sup> stem length decreased 3.138 cm on average and 5.760 g 3.942 cm, with respect to the threshold, for all concentrations and types of salt. The variety that reached the highest fresh and dry biomass for all concentrations and salt types was Pinto beans (Table 2). In the seedling stage the salt that most affected the length, fresh and dry biomass of stem and root of bean varieties was NaHCO<sub>3</sub> (Table 3), at a concentration of 2.304 g of NaHCO<sub>3</sub> any variety survived (Figure 2).

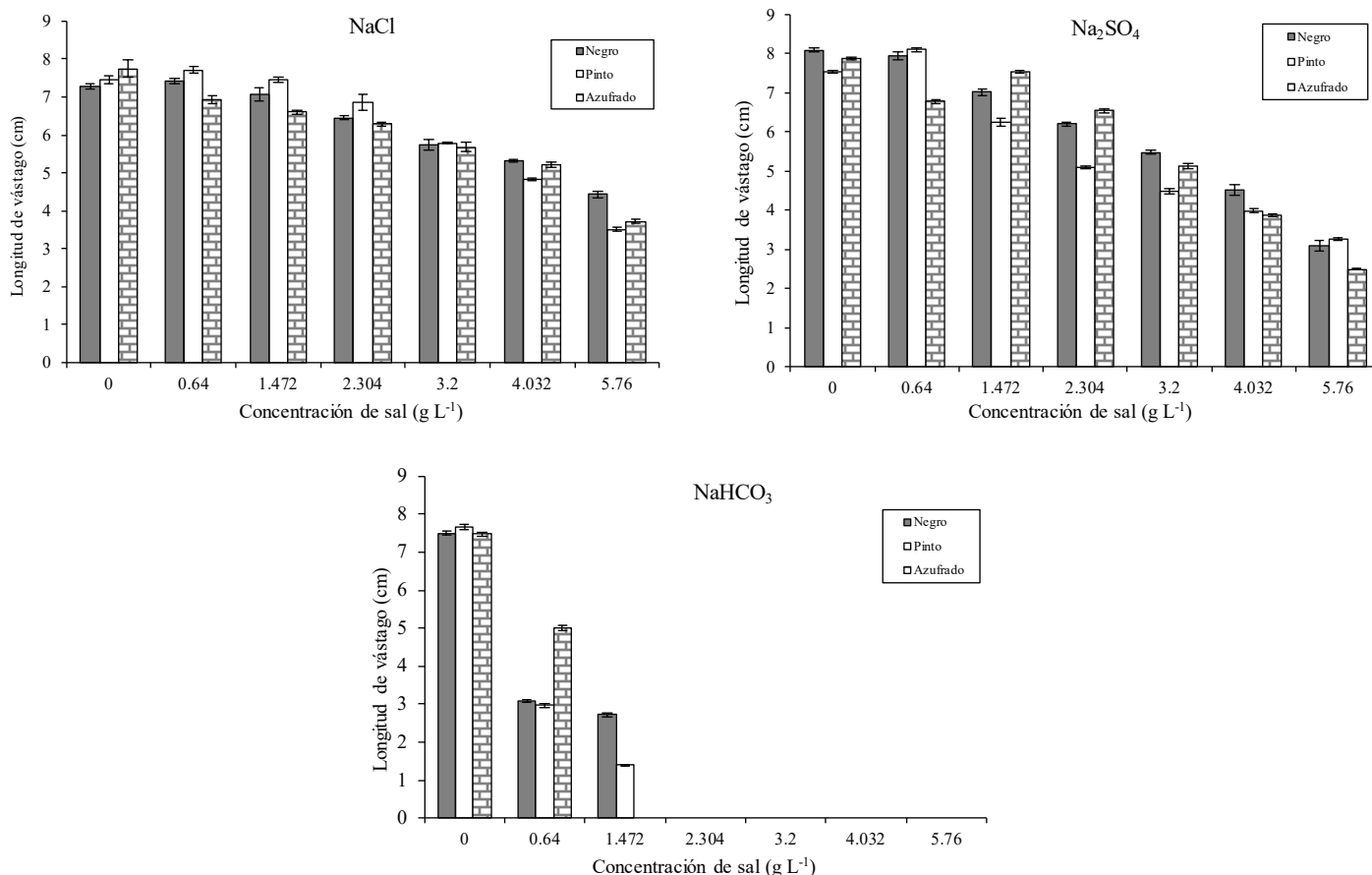


Figura 2. Longitud del vástago de variedades de frijol en condiciones de salinidad inducidas con NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>.  
 Figure 2. Stem length of bean varieties under induced saline conditions with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub>.

**Parte subterránea**

En la interacción factor frijol por concentración de sal se encontró que la longitud, biomasa fresca y seca de raíz de concentración 0.64 a 2.304 el frijol Azufrado fue el más afectado con menor valor para estas variables. En la

**Underground part**

In the interaction bean factor by salt concentration it was found that the length, fresh and dry biomass of root of the concentration 0.64 to 2.304 the Azufrado bean was the most affected with lower value for these variables. In the

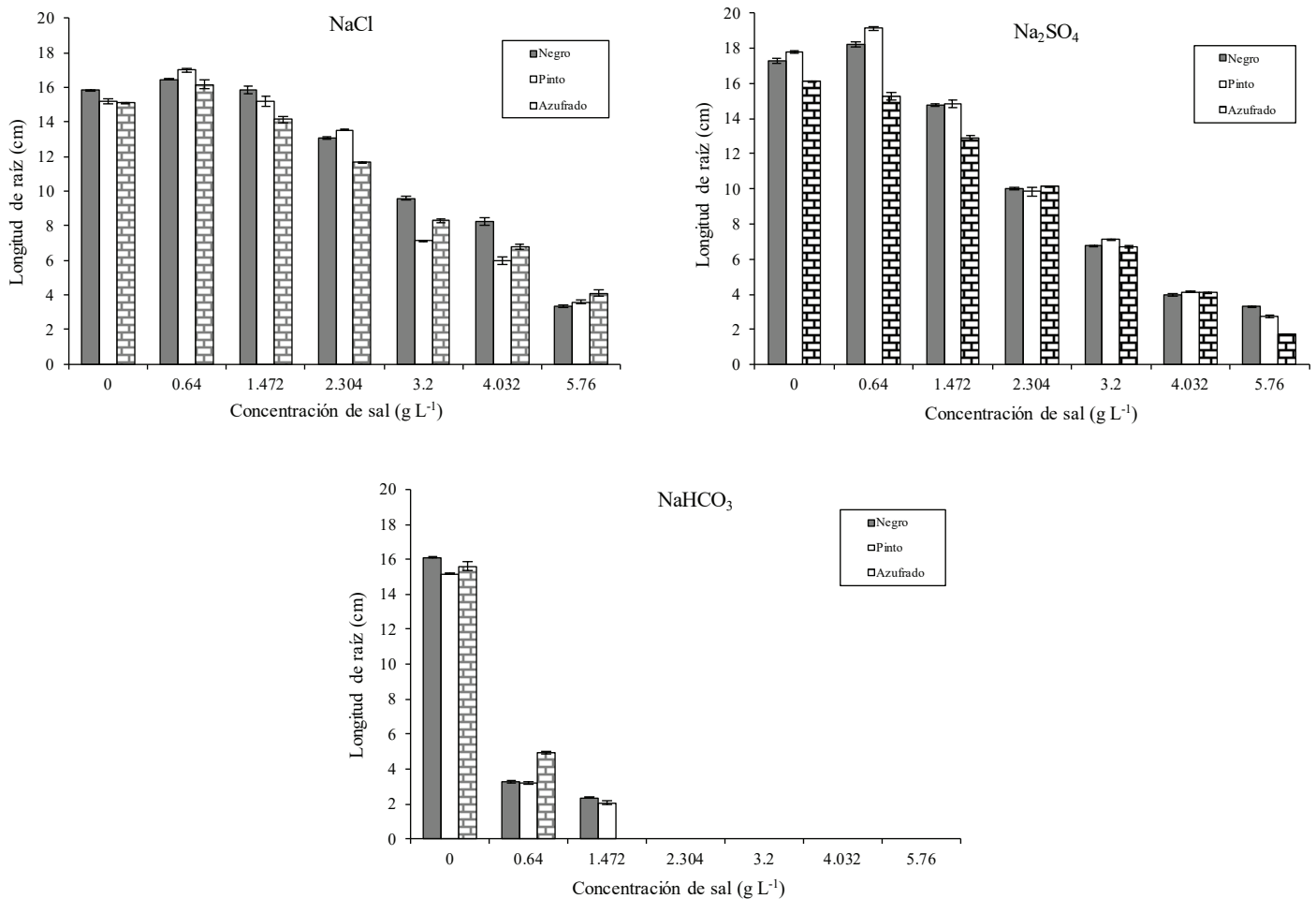


interacción tipo de sal por tipo de frijol la longitud, biomasa fresca y seca de raíz en frijol Azufrado fue de menor valor con NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pero con NaHCO<sub>3</sub> las tres variedades disminuyeron drásticamente los valores de estas variables y fueron cercanos.

La longitud, biomasa fresca y seca de la raíz disminuyó conforme incrementó la salinidad. La longitud de la raíz en relación con el umbral tuvo una diferencia en promedio de 8.93 cm a concentración de 4.032 g L<sup>-1</sup> y 10.532 a 5.76 g (Cuadro 1). El frijol Pinto obtuvo mayor biomasa fresca y seca para todas las concentraciones y tipos de sal, seguido del Azufrado y Negro (Cuadro 2). La Figura 3 muestra que el NaHCO<sub>3</sub> a concentración de 2.304 g no permitió el desarrollo de la raíz. El NaCl afecta menos la longitud de la raíz que el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

salt type by bean type interaction, length, fresh and dry root biomass of Azufrado bean showed lower values with NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> but with NaHCO<sub>3</sub> the three varieties drastically decreased those values and were close to each other.

The length, fresh and dry biomass of the root decreased as the salinity increased. The root length in relation to the threshold had a difference in average of 8.93 cm at a concentration of 4.032 g L<sup>-1</sup> and 10.532 at 5.76 g (Table 1). Pinto beans obtained higher fresh and dry biomass for all concentrations and salt types, followed by Azufrado and Black (Table 2). Figure 3 shows that NaHCO<sub>3</sub> at a concentration of 2.304 g did not allowed root development. NaCl affects less the length of the root than Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Figura 3. Longitud de raíz de variedades de frijol en condiciones de salinidad inducidas con NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaHCO<sub>3</sub>.  
Figure 3. . Root length of bean varieties under saline conditions induced with NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaHCO<sub>3</sub>.**

## Discusión

### Germinación

Mass y Hofman (1977) establecen, con base al porcentaje de rendimiento relativo, como límite de tolerancia del frijol (umbral) en términos de conductividad eléctrica  $1 \text{ dS m}^{-1}$  ( $0.64 \text{ g L}^{-1}$ ), los datos de este estudio coinciden, sin embargo el testigo (agua destilada) tuvo una germinación 4% menor al del tratamiento con  $0.64 \text{ g}$  de sal. La germinación en condiciones salinas donde no se utiliza agua destilada, condiciones de invernadero y sustrato inerte no reflejan esta diferencia. Sobre este resultado se infiere que la concentración de iones en las soluciones, hasta cierto límite superior e inferior, cumple una función importante en la activación del metabolismo de la semilla y funcionan como escarificadores para potenciar la germinación.

La tolerancia a la salinidad en la etapa de germinación es importante porque determina rápida implantación del cultivo y ventaja competitiva en el crecimiento y producción. La tolerancia a la salinidad entre variedades de frijol fue diferente y en general el incremento en salinidad disminuyó el porcentaje de germinación después del límite de tolerancia. Investigaciones sobre germinación en medios salinos demuestran esta tendencia, Yokoishi y Tanimoto (1994) con *Suaeda japonica* Makino y *Chenopodium quinoa* Willd, Madueño *et al.* (2006) con *Rhynchosia minima* L., Konak *et al.* (1999) y Bagci *et al.* (2007) con variedades y genotipos de *Triticum aestivum* L.

La semilla para germinar requiere absorber agua en cantidad suficiente para activar su metabolismo. La reducción en el porcentaje de germinación ocurre por estrés osmótico generado por las sales y la toxicidad de iones específicos. Un potencial osmótico menor en el medio de germinación debido a la presencia de altas concentraciones de sales promueve estrés osmótico. Mientras mayor sea la concentración de sales menor será el potencial osmótico, el potencial hídrico disminuirá y el agua estará menos disponible para la imbibición de la semilla.

El estrés osmótico con ciertas sales como el  $\text{NaHCO}_3$  ocasiona toxicidad, por lo que la disminución de la germinación es aún mayor. Nuestros resultados de germinación con el  $\text{NaCl}$

## Discussion

### Germination

Mass and Hofman (1977) set, based on the percentage of relative yield, as bean tolerance limit (threshold) in terms of electrical conductivity  $1 \text{ dS m}^{-1}$  ( $0.64 \text{ g L}^{-1}$ ), the data from this research are consistent, however the control (distilled water) had a germination 4% lower than that of the treatment with  $0.64 \text{ g}$  of salt. Germination in saline conditions where no distilled water is used, greenhouse conditions and inert substrate do not reflect this difference. On this result it is inferred that the concentration of ions in the solutions, up to a certain upper and lower limit, plays an important role in the activation of seed metabolism and function as scarifiers to enhance germination.

Tolerance to salinity in the germination stage is important because it determines rapid implantation of the crop and competitive advantage in the growth and production. The tolerance to salinity between bean varieties was different and in general the increase in salinity decreased the percentage of germination after the tolerance limit. Research in saline germination demonstrate this trend, Yokoishi and Tanimoto (1994) with *Suaeda japonica* Makino and *Chenopodium quinoa* Willd Madueño *et al.* (2006) with *Rhynchosia minima* L., Konak *et al.* (1999) and Bagci *et al.* (2007) with varieties and genotypes of *Triticum aestivum* L.

To germinate the seed requires absorbing enough water to activate its metabolism. The reduction in the germination percentage occurs by osmotic stress generated by the salts and the toxicity of specific ions. A lower osmotic potential in the germination medium due to the presence of high concentrations of salts promotes this osmotic stress. The higher the salt concentration the lower the osmotic potential, the water potential will decrease and the water will be less available for imbibition of the seed.

Osmotic stress with certain salts like  $\text{NaHCO}_3$  causes toxicity, so that lower germination is even greater. Our germination results with  $\text{NaCl}$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  match those of Huang and Redmann (1995) whom in species of barley and canola, found less affection by sulfate salts compared to  $\text{NaCl}$ .

y el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> coinciden con los de Huang y Redmann (1995) quienes en especies de cebada y canola, encontraron menos afecto por sales de sulfato en comparación con el NaCl.

### Parte aérea

Si la concentración de sal del medio de crecimiento supera al límite de tolerancia de la planta, la altura, biomasa fresca y seca del vástago, así como el contenido de agua en la planta disminuyen (Cachorro *et al.*, 1993; Hosseini *et al.*, 2002; Bai *et al.*, 2008; Keshavarzi, 2012; Habtamu *et al.*, 2014). Algunas plantas para tolerar niveles altos de salinidad en el medio de crecimiento realizan un ajuste osmótico, que les permite generar potenciales menores al medio y poder absorber el agua y los nutrientes. El ajuste osmótico permite mantener o incrementar la turgencia celular y el crecimiento de la planta (Bai *et al.*, 2008; Bahena-Betancourt *et al.*, 2008; Pratap y Sharma, 2010).

Las plántulas para disminuir su potencial osmótico absorben los iones en solución y los acumula en el tejido, así contrarrestan el potencial tóxico que generan las sales. Algunos iones absorbidos tienen efectos tóxicos cuando superan los límites específicos de tolerancia de cada planta. El Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> contribuyen con el ajuste osmótico (Ottow *et al.*, 2005). Bhivare y Nimbalkar (1984) encontraron que las sales NaCl y Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> propiciaron la succulencia de las hojas, sin embargo el NaCl reduce la altura y materia seca de la planta, además mejora el balance catiónico en comparación con el Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Cachorro *et al.* (1993) concluyeron que *Phaseolus vulgaris* L. es sensible a la salinidad por NaCl y la inhibición del crecimiento se debió a efectos tóxicos de ión Cl<sup>-</sup>. El bicarbonato a baja concentración tuvo efecto muy tóxico, en *Picea glauca* la biomasa aérea disminuyó con sodio en combinación con carbonato a bajas concentraciones (0.5 dS m<sup>-1</sup>) (Maynard *et al.*, 1997).

El mayor efecto del NaHCO<sub>3</sub> puede atribuirse al efecto osmótico y a la generación de pH alcalino que afecta la actividad de enzimas y procesos metabólicos en las células (Yildirim *et al.*, 2006; Pratap y Sharma, 2010).

En el presente trabajo, al finalizar la germinación se observó que el hipocótilo y la radícula a 2.304 g de NaHCO<sub>3</sub> resultaron fuertemente dañados, las que sobrevivieron a concentraciones menores a 2.304 g de NaHCO<sub>3</sub> tuvieron una reducción en la longitud del vástago y la raíz en la etapa de plántula. La disminución de la biomasa fresca y seca del vástago del frijol se atribuye al estrés salino que pudo provocar una reducción en la absorción de agua.

### Aerial part

If the salt concentration of the growth medium exceeds the tolerance of the plant, the height, fresh and dry stem biomass and the water content in the plant would decrease (Cachorro *et al.*, 1993; Hosseini *et al.*, 2002; Bai *et al.*, 2008; Keshavarzi, 2012; Habtamu *et al.*, 2014). Some plants in order to tolerate high salinity levels in the growth medium perform an osmotic adjustment, which allows them to generate potentials smaller than the medium and to be able to absorb water and nutrients. Osmotic adjustment allows to maintain or increase cell turgor and plant growth (Bai *et al.*, 2008; Bahena-Betancourt *et al.*, 2008; Pratap and Sharma, 2010).

The seedlings in order to decrease its osmotic potential absorb the ions in solution and accumulate them in the tissue, thus counteracting the toxic potential generated by the salts. Some absorbed ions have toxic effects when they exceed the specific tolerance limits of each plant. Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> contribute to osmotic adjustment (Ottow *et al.*, 2005). Bhivare and Nimbalkar (1984) found that NaCl and Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> salts led to the succulence of leaves, however NaCl reduces the height and dry matter of the plant, and improves cationic balance compared with Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Cachorro *et al.* (1993) concluded that *Phaseolus vulgaris* is sensitive to NaCl salinity and growth inhibition was due to toxic effects of Cl<sup>-</sup> ion. Bicarbonate at low concentrations had a very toxic effect in *Picea glauca* where aerial biomass diminished with sodium combined with carbonate at low concentrations (0.5 dS m<sup>-1</sup>) (Maynard *et al.*, 1997).

The greatest effect of NaHCO<sub>3</sub> is attributable to the osmotic effect and the generation of an alkaline pH that affects the enzymes activity and metabolic processes in cells (Yildirim *et al.*, 2006; Pratap y Sharma, 2010).

In this paper, at the end of germination it was observed that the hypocotyl and radicle at 2.304 g of NaHCO<sub>3</sub> were heavily damaged, those that survived concentrations below 2.304 g of NaHCO<sub>3</sub> had a reduction in the stem and root length in the seedling stage. The decrease of fresh and dry biomass of the bean stem is attributed to the saline stress that could cause a reduction in the water absorption.

The plant in order to perform the osmotic adjustment under salinity conditions activates adaptation mechanisms to generate organic compounds. In addition to the accumulation of Na<sup>+</sup> and Cl<sup>-</sup> in the tissues, the plant also produces proline

La planta para realizar el ajuste osmótico bajo condiciones de salinidad activa mecanismos de adaptación para generar compuestos orgánicos. Además de la acumulación de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en los tejidos, la planta también genera prolina como respuesta al estrés osmótico (Misra y Gupta, 2005; Slama *et al.*, 2007; Bai *et al.*, 2008). Bahena-Betancourt *et al.* (2008) mencionan que también se generan carbohidratos totales en hojas y tallos, para mantener la turgencia en etapas iniciales del agobio salino.

### Parte subterránea

La salinidad provocado por NaCl redujo la longitud, biomasa fresca y seca de la raíz lo cual fue más notorio conforme se incrementó la salinidad del medio y fue diferente entre variedades. Se observó que a partir de 2.3 g es el  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  más inhibitorio que el NaCl sobre la longitud de raíces. Esta tendencia se observó en especies forrajeras (Shen *et al.*, 2003), en especies de *Glycine max* (Kao *et al.*, 2006), en *Amaranthus* spp. (Omamt *et al.*, 2006), en *Phaseolus vulgaris* L. (Gama *et al.*, 2007; Bahena-Betancourt *et al.*, 2008; Radi *et al.*, 2013; Habtamu *et al.*, 2014) y en *Medicago sativa* L. (Farissi *et al.*, 2013).

Estudios en etapa de germinación de *Lactuca sativa* L. encontraron que la longitud de la plúmula y la radícula disminuyeron cuando aumento el nivel de salinidad (Keshavarzi, 2012). En este estudio, se encontró que a partir de 1.472 g de  $\text{NaHCO}_3$  el desarrollo del embrión se detuvo y a niveles más altos murieron. Reginato *et al.* (2014) en *Prosopis strombulifera* con NaCl y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  encontraron que el  $\text{SO}_4^{2-}$  tuvo un efecto más perjudicial sobre el crecimiento de la raíz que el  $\text{Cl}^-$ . En la Figura 3 de nuestro trabajo se observó un efecto drástico inhibitorio del crecimiento de raíz con el  $\text{NaHCO}_3$  a concentraciones de 2.034 g  $\text{L}^{-1}$ .

Bai *et al.* (2008) encontraron que el déficit de agua de los brotes fue mayor que el de las raíces y tuvo una correlación positiva con la concentración de sal. Bajo estrés salino el transporte de agua fue inhibido desde la raíz hasta la plántula y esto mantuvo al  $\text{Na}^+$  en las raíces. Hirpara *et al.* (2005) con *Butea monosperma* Taub y NaCl encontraron que el crecimiento de raíz fue mucho mayor que el vástago, y que el contenido de agua de todos los tejidos de raíces primarias y raíces laterales se redujo, resultando en déficit de agua interno y una inhibición de la succulencia. En esta investigación la biomasa fresca de la raíz con respecto al testigo fue menor y se atribuye al estrés hídrico que pudo causar una disminución del contenido de agua en la raíz.

in response to osmotic stress (Misra and Gupta, 2005; Slama *et al.*, 2007; Bai *et al.*, 2008). Bahena-Betancourt *et al.* (2008) mention that total carbohydrates are also generated in leaves and stems, in order to maintain the turgor in the early stages of the saline stress.

### Underground part

Salinity caused by NaCl reduced the length, fresh and dry biomass of the root, which was more noticeable as the salinity of the medium increased and it was different among varieties. It was observed that from 2.3 g is  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  more inhibitory than NaCl regarding the roots length. This trend was observed in forages species (Shen *et al.*, 2003), *Glycine* species (Kao *et al.*, 2006), in *Amaranthus* spp. (Omamt *et al.*, 2006), in *Phaseolus vulgaris* L. (Gama *et al.*, 2007; Bahena-Betancourt *et al.*, 2008; Radi *et al.*, 2013; Habtamu *et al.*, 2014) and *Medicago sativa* L. (Farissi *et al.*, 2013).

Studies on germination stage of *Lactuca sativa* L. found that the length of the plumule and radicle decreased when increasing the salinity level (Keshavarzi, 2012). In this research, it was found that from 1.472 g of  $\text{NaHCO}_3$  the embryo development stopped and at higher levels they died. Reginato *et al.* (2014) in *Prosopis strombulifera* with NaCl and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  found that  $\text{SO}_4^{2-}$  had a deleterious effect on root growth than  $\text{Cl}^-$ . In Figure 3 is shown a drastic inhibitory effect of root growth with  $\text{NaHCO}_3$  at concentrations of 2.034 g  $\text{L}^{-1}$ .

Bai *et al.* (2008) found that the water deficit of the shoots was greater than that of the roots and had a positive correlation with the salt concentration. Under salt stress water transport was inhibited from the root to the seedling and this kept the  $\text{Na}^+$  in the roots. Hirpara *et al.* (2005) with *Butea monosperma* Taub and NaCl found that root growth was much greater than the stem, and that the water content of all tissues of primary roots and lateral roots was reduced, resulting in lack of internal water and inhibition of succulence. In this research the fresh biomass of the root with respect to the control was smaller and it is attributed to the water stress that could cause a decrease of the water content in the root.

### Conclusions

The germination percentage, length and biomass of the stem and the bean root, was reduced with the increase of the concentration of the three salt types.



## Conclusiones

El porcentaje de germinación, longitud y biomasa del vástago y la raíz del frijol, se redujo con el incremento de la concentración en los tres tipos de sal.

En germinación el frijol Azufrado fue menos afectado por las sales. El NaHCO<sub>3</sub> fue la que más disminuyó el porcentaje de germinación de todas las variedades de frijol.

En plántula el frijol Azufrado fue el más afectado y el Negro obtuvo mayor longitud de vástago. A 2.304 g L<sup>-1</sup> (3.6 dS m<sup>-1</sup> teórico) de NaHCO<sub>3</sub> ninguna variedad sobrevivió.

El daño de las sales fue NaHCO<sub>3</sub>>NaCl>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México, 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

- 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, 81 p.
- Bagci, S. A.; Ekiz, H. and Yilmaz, A. 2007. Salt tolerance of sixteen wheat genotypes during seedling growth. Turk J Agric For 31: 363-372.
- Bahena, B. L.; Macías, R. L.; López, G. R. and Bayuelo, J. J. S. 2008. Crecimiento y respuestas fisiológicas de *Phaseolus* spp. en condiciones de salinidad. Rev. Fitotec. Mex. 31:213-223.
- Bai, W. B.; Li, P. F.; Li, B. G.; Fujiyama, H. and Fan, F. C. 2008. Some physiological responses of Chinese iris to salt stress. Pedosphere. 18:454-463.
- Bhivare, V. B. and Nimbalkar, J. D. 1984. Salt stress effects on growth and mineral nutrition of French beans. Plant and Soil. 80:91-98.
- Cachorro, P.; Ortiz, A. and Cerdá, A. 1993. Growth, water relations and solute composition of *Phaseolus vulgaris* L. under saline conditions. Plant Sci. 95:23-29.
- Farissi, M.; Ghoulam, C. and Bouizgaren, A. 2013. Changes in water deficit saturation and photosynthetic pigments of alfalfa populations under salinity and assessment of proline role in salt tolerance. Agric. Sci. Res. J. 3:29-35.

On germination the Azufrado bean was less affected by the salts. NaHCO<sub>3</sub> was the one that most decreased the germination percentage of all beans varieties.

In seedlings, the Azufrado bean was the most affected and the Negro obtained the largest stem length. At 2.304 g L<sup>-1</sup> (3.6 dS m<sup>-1</sup> theoretical) of NaHCO<sub>3</sub> any variety survived.

Salts damage was as follows: NaHCO<sub>3</sub>>NaCl>Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

*End of the English version*



- 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. 6:79-88.
- 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. Inter. J. Agric. Biol. 7:491-494.
- Habtamu, A.; Ermias, E.; Muluken, E.; Mulugeta, T. and Shitaye, N. 2014. Seed germination and early seedling growth of haricot bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars as influenced by salinity stress. Inter. J. Agric. Sci. 4:125-130.
- Hirpara, K. D.; Ramoliya, P. J.; Patel, A. D. and Pandey, A. N. 2005. Effect of salinisation of soil on growth and macro- and micro-nutrient accumulation in seedlings of *Butea monosperma* (Fabaceae). Anales de Biología. 27:3-14.
- Hosseini, M. K.; Powell, A. A. and Bingham, I. J. 2002. Comparison of the seed germination and early seedling growth of soybean in saline conditions. Seed Sci. Res. 12:165-172.
- Huang, H. and Redmann, R. E. 1995. Salt tolerance of *Hordeum* and *Brassica* species during germination and early seedling growth. Can. J. Plant Sci. 75:815-819.
- Kao, W. Y.; Tsai, T. T.; Tsai, H. C. and Shih, C. N. 2006. Response of three *Glycine* species to salt stress. Environ. Exp. Bot. 56:120-125.
- Keshavarzi, M. H. B. 2012. Studying the effects of different levels of salinity which caused by NaCl on early growth and germination of *Lactuca Sativa* L. seedling. J. Stress Physiol. Biochem. 8:203-208.
- Konak, C.; Yilmaz R. and Arabaci, O. 1999. Ege bölgesi bugdaylarında tuza tolerans. Tr. J. Agric. Forestry. 23:1223-1229.
- Kovda, V. A. 1961. Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones. In: UNESCO (Ed). Salinity problems in the arid zones: proceedings of the Teheran Symposium. Paris, Francia. 201-213 pp.
- Kovda, V. A.; Van, D. B. C. and Hagan, R. M. 1973. Irrigation, drainage and salinity. An international source book. Hutchinson/FAO/UNESCO. London, UK. 510 p.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal Irrigation and Drainage Division 103:115-134.
- Maas, E. V. 1990. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (Ed.). Agricultural salinity assessment and management. N. Y., USA. 262-304 pp.



- Madueño, M. A.; García, P. D.; Martínez, H. J. and Rubio, T. C. 2006. Germinación y crecimiento de frijolillo *Rhynchosia minima* (L.) DC con diferentes potenciales osmóticos. *Terra Latinoam.* 24:47-54.
- Maynard, D. G.; Mallett, K. I. and Myrholm, C. L. 1997. Sodium carbonate inhibits emergence and growth of greenhouse-grown white spruce. *Can. J. Soil Sci* 77:99-105.
- Misra, N. and Gupta, A. K. 2005. Effect of salt stress on proline metabolism in two high yielding genotypes of green gram. *Plant Sci.* 169:331-339.
- Miyamoto, S. and Pingitore, N. E. 1992. Predicting calcium and magnesium precipitation in saline solutions following evaporation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:1767-1775.
- Omamt, E. N.; Hammes, P. S. and Robbertse, P. J. 2006. Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus* spp.) genotypes. *New Zealand J. Crop Hortic. Sci.* 34:11-22.
- Ottow, E. A.; Brinker, M.; Teichmann, T.; Fritz, E.; Kaiser, W.; Brosché, M.; Kangasjärvi, J.; Jiang, X. and Polle, A. 2005. *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress. *Plant Physiol.* 139:1762-1772.
- Pratap, V. and Sharma, Y. K. 2010. Impact of osmotic stress on seed germination and seedling growth in black gram (*Phaseolus mungo*). *J. Environ. Biol.* 31:721-726.
- Radi, A. A.; Farghaly, F. A. and Hamada, A. M. 2013. Physiological and biochemical responses of salt-tolerant and salt-sensitive wheat and bean cultivars to salinity. *J. Biol. Earth Sci.* 3:B72-B88.
- Reginato, M.; Sosa, L.; Llanes, A.; Hampp, E.; Vettorazzi, N.; Reinoso, H. and Luna, V. 2014. Growth responses and ion accumulation in the halophytic legume *Prosopis strombulifera* are determined by Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaCl. *Plant Biol.* 16:97-106.
- Reyes, R. E.; Padilla, B. L. E.; Pérez, V. O. y López, J. P. 2008. Historia, naturaleza y cualidades alimentarias del frijol. *Rev. Invest. Científ.* 4:1-21.
- Richards, L. A. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos: manual núm. 60. Sexta reimpresión, Limusa. México. 172 p.
- Rogers, M. E.; Grieve, C. M. and Shannon, M. C. 1998. The response of lucerne (*Medicago sativa* L.) to sodium sulphate and chloride salinity. *Plant Soil.* 202:271-280.
- Sánchez, B. E. I.; 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.* 33:1-9.
- Sánchez, B. E. I.; Ortega, E. H. M.; G. T. Sandoval, O. R. A.; Hernández, V. y Estrada, V. C. 2012. Lavado de sales en suelos aluviales costeros de Oaxaca, México, con aguas residuales municipales tratadas. *Rev. Inter. Contaminación Amb.* 28:343-360.
- Shen, Y. Y.; Li, Y. and Yan, S. G. 2003. Effects of salinity on germination of six salt-tolerant forage species and their recovery from saline conditions. *New Zealand J. Agric. Res.* 46:263-269.
- Slama, I.; Ghnaya, T.; Messedi, D.; Hessini, K.; Labidi, N.; Savoure, A. and Abdelly, C. 2007. Effect of sodium chloride on the response of the halophyte species *Sesuvium portulacastrum* grown in mannitol-induced water stress. *J. Plant Res.* 120:291-299.
- SAS Institute. 1999. Statistical Analysis System (SAS) Versión 8 User's guide. North Carolina, USA. 584 p.
- Strogonov, B. P. 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants (as affected by various types of salinity). Israel Program for Scientific Translations. New York, USA. 279 p.
- Subbarao, G. V. and Johansen, C. 1994. Potential for genetic improvement in salinity tolerance in Legumes: Pigeon Pea. *In: M. Pessarakli* (Ed.). *Handbook of Plants and Crop Stress.* Marcel Dekker. New York, USA. 581-595 pp.
- Velázquez, M. M. A.; Ortega, E. M.; Martínez, G. Á.; Kohashi, S. J. y García, C. N. 2002. Relación funcional PSI-RAS en las aguas residuales y suelos del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Terra Latinoam.* 20:459-464.
- Yildirim, E.; Güvenc, I. and Turkey. E. 2006. Salt tolerance of pepper cultivars during germination and seedling growth. *Turk. J. Agric. For.* 30:347-353.
- Yokoishi, T. and Tanimoto, S. 1994. Seed germination of the halophyte *Suaeda japonica* under salt stress. *Journal Plant Res.* 107:385-388.