

Effect of sulphatic salinity in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Efecto de salinidad sulfática en quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Cisneros Almazán, Rodolfo^{1*}; Guadiana-Alvarado, Zoe Arturo¹; Erich Dietmar, Rössel Kipping²; Edgar Omar Rueda Puente³; Clemente Rodríguez Cuevas¹; Héctor M. Durán García¹

¹Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ingeniería. Dr. Nava No. 8, Zona Universitaria, San Luis Potosí, S. L. P., México. C. P. 78290. ²Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, S.L.P., México. C. P. 78600. ³Universidad Autónoma de Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Carretera a Bahía de Kino km 21, Hermosillo, Sonora, México. C. P. 83000.

*Autor de correspondencia: cisnerro@uaslp.mx.

ABSTRACT

Objective: To evaluate a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivar in a semi-hydroponic system, simulating different levels of sulphatic salinity ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ to 0, 3 000, 4 000 and 5 000 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Design/methodology/approach: The cultivation of quinoa established in a semi-hydroponic system, simulating different conditions of sulphatic salinity, taking as a source of salinity reactive grade dihydrated calcium sulphate ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), this salinity source is obtained to simulate the conditions of the evaporitic basin of Río Verde-Matehuala, San Luis Potosí, Mexico where a saline diversity of waters and soils mainly calcium sulphate is formed. The reactions were 0, 3,000, 4,000 and 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, being that null in salts, the treatment control.

Results: The seed yield per plant in sulfate salts treatments were for 3,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ with 30.65 g plant⁻¹, following the treatments of 4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ with 23.31 g plant⁻¹ and 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ with 19.13 g plant⁻¹; on the other hand, the control resulted in the highest value in yield with 43.41 g plant⁻¹.

Limitations on study/implications: It is important to develop more studies under biotic and abiotic conditions that occur in other regions and test another type of salinity such as hydrochloric.

Findings/conclusions: Under the conditions in which the study will be affected, it is possible to grow quinoa in sulphate soils, but with the restrictions imposed by the effect of the decrease in osmotic potential damaged by salts.

Keywords: greenhouse, quinoa, sulphatic salinity, semi-hydroponic system

RESUMEN

Objetivo: Evaluar un cultivar de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en un sistema semi-hidropónico, simulando diferentes niveles de salinidad sulfática ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a 0, 3,000, 4,000 y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

Diseño/metodología/aproximación: El cultivo de quinoa establecido en un sistema semi-hidropónico, bajo la simulación de diferentes condiciones de salinidad sulfática, tomando como fuente de salinidad sulfato de calcio dihidratado grado reactivo ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) utilizando esta fuente de salinidad para representar las condiciones de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehuala, San Luis Potosí, México, donde emerge una diversidad salina de aguas y suelos principalmente sulfato cálcicos. Las concentraciones fueron 0, 3,000, 4,000 y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, siendo aquella nula de sales, el tratamiento control.

Resultados: El rendimiento de semillas por planta en los tratamientos con sales sulfáticas, los valores altos fueron para 3,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con 30.65 g planta⁻¹, seguido de los tratamientos de 4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con 23.31 g planta⁻¹ y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ con 19.13 g planta⁻¹; por su parte el control resultó con el valor más alto en rendimiento con 43.41 g planta⁻¹.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Es importante desarrollar más estudios bajo condiciones bióticas y abióticas que pueden presentarse en otras regiones y probar otro tipo de salinidad tal como la clorhídrica.

Hallazgos/conclusiones: Bajo las condiciones del estudio, es posible cultivar quinoa en suelos sulfáticos pero con las restricciones que impone el efecto de la disminución del potencial osmótico causado por las sales.

Palabras clave: invernadero, quinoa, salinidad sulfática, sistema semi-hidropónico

INTRODUCCIÓN

Desde un inicio, la agricultura es considerada una actividad económica, social y ambiental, fundamental para el desarrollo integral del ser humano. Con la llegada de la agricultura y la ganadería, el hombre alcanzó una independencia y separación de la naturaleza. Fue necesario y apropiado convertir los sistemas naturales en agricultura y aprovechar la naturaleza para sostener el crecimiento de las poblaciones (Castillo *et al.*, 2017). Actualmente la agricultura enfrenta serios problemas donde destacan los factores abióticos generando alimentos en menor cantidad y calidad en la producción de cultivos. La sequía, salinidad y factores climáticos extremos son los principales tipos de estrés que generan problemas en el crecimiento y productividad de los cultivos. La sequía es mayor en las regiones secas áridas y calientes, en donde la concentración de sales incrementa en la capa superior del suelo debido a la evapotranspiración, que excede a la precipitación (Martínez *et al.*, 2011). El suelo y el agua son elementos de suma importancia para la producción agrícola. El agua tiene como principal función hidratar, almacenar y transportar los nutrientes del suelo a la planta; mientras que el suelo, actúa como sostén y aporte de nutrientes. En este sentido, la salinidad es un factor que reduce la productividad en los campos de cultivo. Este efecto puede ser observado con mayor frecuencia en cuencas cerradas que, a través de miles de años, han acumulado

paulatinamente sales en el perfil del suelo (Goykovic C. y Saavedra del R, 2007; López *et al.*, 2008). La SEMARNAT (2010) menciona que aproximadamente 3.5 millones de hectáreas en México son afectadas en zonas áridas y semiáridas; un millón en otras zonas no agrícolas 800 mil en zonas costeras, 1 millón en áreas agrícolas de temporal 500 mil en áreas agrícolas de riego lo cual da un total de 6.8 millones de hectáreas afectadas por sales en todo el país. Las principales sales que afectan a los vegetales y que se encuentran en los suelos corresponden a los cloruros y sulfatos, de sodio, calcio y magnesio, siendo para las plantas los principales iones citotóxicos (Shrivastava y Kumar, 2015). En particular en las zonas áridas, los suelos contienen sales y algunas de éstas pueden ser un problema cuando su concentración es alta en la zona radical del cultivo; ya que incrementa el efecto osmótico de la solución en el suelo con evidentes repercusiones de manera negativa sobre el desarrollo de las plantas y limitan la productividad de los cultivos (González *et al.*, 2011). Las zonas áridas demandan cultivos que se adapten a condiciones ambientales adversas (agua limitada y en ocasiones con altos niveles de salinidad)

La quinoa es una planta cultivada que puede adaptarse a condiciones ambientales en zonas áridas, además contener altos niveles de proteínas (Rojas *et al.*, 2016), y resultar redituable y con potencial de aprovechamiento agroindustrial (Morales *et al.*, 2009; Rasool *et al.*, 2013). Este cultivo constituye una alternativa para las regiones con limitaciones en la producción de alimentos (Rojas *et al.*, 2011). La quinoa es altamente atractiva debido a su adaptabilidad, tolerancia a ciertos niveles de salinidad, a su alto contenido nutricional y uso agroindustrial. En algunas regiones del estado de San Luis Potosí, México, debido a la condición climática del semi-desierto y a la sobre explotación de mantos acuíferos, se han generado problemas de desertificación, ensalitramiento de suelos y baja productividad en zonas de cultivo; actualmente existe demanda de generar conocimiento sobre cultivos y sistemas de producción que ayuden a reducir esta problemática. Existen estudios en los que el tipo de salinidad sea sulfática o clorhídrica, muestran diferencias en el rendimiento dependiendo del cultivo. Sin embargo, estudios relacionados con la quinoa en condiciones sulfáticas son nulos (Molina *et al.*, 2015). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo, consistió en evaluar un cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en un sistema semi-hidropónico, simulando diferentes niveles de salinidad sulfática ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a 0, 3,000, 4,000 y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente estudio, se preparó una solución nutritiva con agua destilada, adicionándose los macro y micro nutrientes; (con un total de mg L^{-1} de nitrógeno 136.5, fósforo 28.8, potasio 180.4, calcio 140, magnesio 19.3, sodio 1.5, sulfatos 38.7, hierro 0.10, cobre 0.01, zinc 0.02, boro 0.15, molibdeno 0.06, con base en las recomendaciones de Ranjit et al. (2018). Para su aplicación se utilizó arena, a la que se le adicionó diariamente la solución nutritiva, considerando también proveer condiciones sanitarias adecuadas para el desarrollo del cultivo. Con las plantas de quinoa establecidas en un sistema semi-hidropónico, se simuló diferentes condiciones de salinidad sulfática, tomando como fuente de salinidad sulfato de calcio dihidratado grado reactivo ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Esta fuente de salinidad se tomó con el fin de simular las condiciones de la cuenca evaporítica de Río Verde-Matehuala, donde se forma una diversidad de aguas salinas y suelos principalmente sulfato cálcicos. Los niveles de salinidad fueron 0, 3,000, 4,000 y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$, siendo aquella nula de sales, el tratamiento control. El aporte de sales en gramos se presenta en el Cuadro 1.

Fase experimental. La fase experimental del trabajo fue desarrollada en

la Unidad de Producción de Agricultura Protegida de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. El clima de la región según la clasificación climática de Köppen, modificado por García en 1978 (Ruiz et al., 2012) corresponde a un BS o KW(w)(i), y que corresponde a un clima seco-estepario frío, con temperatura media anual de 18 °C, siendo 7.5 °C la mínima y 35 °C la máxima, con una precipitación media anual de 374 mm.

Para la producción de plántulas de quinoa, existió una desinfección de charolas, agregándose cloro en una dosis de 1 L por 200 L de agua (5 mL Cl por litro de agua). El cloro comercial empleado tenía una concentración del 6% (v/v). Se sumergió la charola germinadora en la solución de agua y cloro por un período de 5 minutos. Posteriormente se realizó la siembra, colocándose turba como sustrato hasta llenar las charolas germinadoras y agregando el agua necesaria para humedecerlo; en cada cavidad de las charolas germinadoras con sustrato

humedecido se depositó una semilla. El riego inicial fue sólo con agua dulce corriente y se cubrieron con plástico las charolas germinadoras para conservar el calor y la humedad. La semilla emergió en un 95% a tres días después de la siembra con temperaturas de 25 °C a 30 °C.

El riego con la solución nutritiva inició cuando se formaron las dos primeras hojas verdaderas. El trasplante fue 25 días después de la siembra, buscando que las plantas tuviesen una altura uniforme de aproximadamente 10 cm. La solución nutritiva base utilizada al momento del trasplante para todos los tratamientos fue la solución previamente indicada e incrementando las concentraciones en algunos de sus componentes según las necesidades del cultivo de quinoa (Rojas et al., 2011).

El sistema semi hidropónico lo integraron macetas de plástico con diámetro de 20 cm y altura de 16 cm, colocadas en serie, el riego fue manual y de manera

diaria. Las macetas se llenaron con arena (con capacidad de retención de agua del 56%), la granulometría de la arena utilizada varió de 0.5 - 2 mm. Cabe indicar que previo al trasplante, la arena se tamizó, lavó, desinfectó con una solución de cloro al 0.5%

(v/v) y nuevamente se lavó. La temperatura ambiental durante el estudio fue de 16 ± 2 °C nocturna y 34 ± 2 °C diurna y una humedad relativa del 16%.

En el experimento se probaron cuatro tratamientos con 18 repeticiones cada uno (cada repetición consistió en una planta por repetición, con un total de 72 unidades experimentales) a los que se les proporcionó una misma solución nutritiva estándar tipo Steiner.

Variables evaluadas

Rendimiento. El rendimiento de semilla por planta consistió en la colecta de la misma por cada planta de cada tratamiento y procediendo a pesarla.

Número de hojas. Esta variable se realizó de forma manual y contabilizadas.

Altura de plantas. Esta variable fue realizada al final del experimento y expresada en cm.

Cuadro 1. Fuente de salinidad y aporte en gramos de los niveles de sales.

Diseño experimental	Fuente de Salinidad	Aporte (g)	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
Testigo (T1)	---	---	1,084
CaSO_4 3 000 (T2)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	550	3,000
CaSO_4 4 000 (T3)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	650	4,000
CaSO_4 5 000 (T4)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	850	5,000

Conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrógeno (pH). La medición de conductividad eléctrica (CE; $\mu\text{S cm}^{-1}$) y potencial de hidrógeno (pH) fue efectuada al final del experimento. Para ello se utilizó el potenciómetro y conductivímetro. Se desarrolló un análisis de correlación para establecer la relación o dependencia que existe entre variables que intervienen en una distribución bidimensional, es decir, determinar si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra y así afirmar que las variables están correlacionadas entre ellas. Finalmente, se realizó un análisis de regresión lineal, la cual marca la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición; con este análisis de regresión se pudo determinar las condiciones donde son producidos los mejores rendimientos y las condiciones que no permiten la producción (Gea et al., 2018).

RESULTADOS

Rendimiento. Se pudo apreciar que el rendimiento de semillas por planta en los tratamientos con sales sulfáticas, los valores más altos fueron para el de $3,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ con 30.65 gramos por planta (g planta^{-1}), siguiéndole los tratamientos de $4,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ con $23.31 \text{ g planta}^{-1}$ y $5,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ con $19.13 \text{ g planta}^{-1}$; por su parte el control resultó tener el valor más alto en rendimiento con $43.41 \text{ g planta}^{-1}$ (Cuadro 2).

Altura de planta. La altura de planta está directamente relacionada con la producción de biomasa. La prueba de Tukey para comparación de medias (Cuadro 2), permite indicarnos una diferencia significativa entre los tratamientos. En el bloque A, se detecta a los tratamientos (control-sin sales) con 173.22 cm y el tratamiento con $4,000 \mu\text{S cm}^{-1}$, con 163.61 cm; en el bloque B los tratamientos a base de $3,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ con 159.83 cm y el tratamiento tratado con $5,000 \mu\text{S cm}^{-1}$, resultando con 147.00 cm.

Número de hojas por planta. Las hojas son órganos vegetales muy importantes para la planta, pues son responsables del proceso de fotosíntesis. En el Cuadro 2 se presenta la prueba de Tukey para número de hojas por planta, observándose que la diferencia entre tratamientos no es significativa. La prueba muestra diferencia no significativa en el número de hojas por planta, deduciendo que la salinidad no fue un factor determinante en la formación de hojas. Esto no coincide con Coca et al. (2012) quienes indican que la salinidad reduce linealmente el número de hojas de las plantas.

DISCUSIÓN

Rendimiento. Es importante indicar que los rendimientos más altos fueron aquellos con menor conductividad eléctrica, y de hecho, el rendimiento más bajo se obtuvo en los tratamientos con la mayor conductividad eléctrica. Esto indica que existe una influencia negativa de la salinidad sobre el rendimiento, lo que coincide con Casierra et al. (2013), indicando que el nivel máximo de salinidad tolerado por las plantas, sin que cause reducción en la producción es de $2\,500 \mu\text{S cm}^{-1}$ en plantas ligeramente sensibles; arriba de esa concentración inicia una reducción del 10% en la producción, por cada unidad que incremente la conductividad eléctrica. Por ello la salinidad del suelo y del agua tiene un efecto muy importante sobre los cultivos agrícolas (Cuadro 2). Por su parte, Jaramillo et al. (2014), indican que el incremento de sales dificulta la capacidad de las raíces para absorber agua, lo que conduce a un progresivo decrecimiento en el desarrollo y rendimiento. Los principales efectos de la salinidad en las plantas se deben a un desbalance osmótico, toxicidad, oxidación y finalmente la muerte celular (Mirando et al., 2017). Los mismos autores indican que la tolerancia a la salinidad es un atributo finito y del mejoramiento genético a través de la selección y recombinación para dicho carácter, de igual forma depende de la disponibilidad y extensión de la variabilidad genética

Cuadro 2. Rendimiento promedio de semillas de quinoa por planta, conductividad eléctrica, altura de planta, hojas por planta y potencial de hidrógeno (pH).

Semillas por planta		Conductividad eléctrica (afde**)		Altura de planta		Número de hojas por planta		pH (afde)	
T*	Media (g)	T	Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	T	Media (cm)	T	Media # hojas	T	Media pH
1	43.44 a***	4	4 930 a	1	173.22 a	1	94.94 a	1	6.46
2	30.65 b	3	4 180 b	3	163.61 a	2	94.22 a	2	6.16
3	23.31 b	2	3 325 c	2	159.83 B	3	93.88 a	3	6.04
4	19.13 b	1	1 690 d	4	147.00 B	4	93.61 a	4	5.98

T*: Tratamiento; afde**: al final del experimento. ***: Diferencia estadísticamente significativa Tukey ($P \leq 0.05$).

existente dentro de la especie en cuestión. La tolerancia de las plantas a la salinidad puede ser medida a través de diferentes criterios, entre ellos presentan: la supervivencia de los cultivos a la salinidad; determinación de la respuesta del crecimiento o del rendimiento de los cultivos en condiciones de salinidad; determinación de la reducción relativa en el rendimiento como una función del incremento de la salinidad y la tolerancia relativa a las sales. Los resultados del presente estudio, concuerdan con lo mencionado por Mirando *et al.* (2017), pues mencionan que cuando el nivel de salinidad se incrementa, el potencial osmótico disminuye, y por lo tanto la disponibilidad de agua, generando un déficit que a su vez afecta el crecimiento de las hojas, la actividad fotosintética es disminuida y el rendimiento se ve afectado; esto quiere decir que las altas concentraciones de sales en suelos, pueden disminuir el crecimiento de las plantas por efectos osmóticos (desbalance de iones nutritivos) y por efectos tóxicos (excesiva acumulación de un ion) (Mirando *et al.*, 2017). Además de lo anterior, un suelo puede ser considerado salino, cuando la concentración de sales o la conductividad eléctrica es de $4,000 \mu\text{S cm}^{-1}$, afectando a las plantas, efecto que se vio apreciado en el tratamiento 3 con $4,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (23.31 g planta⁻¹) pero con resultados ligeramente superiores al rendimiento promedio de quinoa reportado por Bazile *et al.* (2014) (22.5 gramos por planta) en campo y en condiciones normales.

Altura de planta. La altura de la planta está estrechamente relacionada a la concentración de sales en el medio de siembra. En este estudio se observó que el tratamiento con conductividad eléctrica menor, presenta mayor altura de planta, y por el contrario, el tratamiento con la conductividad eléctrica mayor presentó una disminución en altura de planta, lo que coincide con Parés *et al.* (2008), quienes reportaron que la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos, retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos

fisiológicos, tales como: fotosíntesis, conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, además, puede afectar el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y deficiencia nutricional. Por su parte Soto (2015), reporta que no observaron diferencias significativas entre tratamientos en los valores de diámetro basal del tallo y altura de planta durante el ciclo de cultivo con respecto a la conductividad mostrando una tendencia lineal al incremento.

Número de hojas por planta. Los resultados obtenidos en la prueba de medias arrojan diferencias estadísticamente significativas entre todos los tratamientos (Cuadro 3). Se puede apreciar que la conductividad eléctrica inducida en cada uno de los tratamientos concuerda con la conductividad del extracto del suelo, lo que coincide con Cepeda *et al.* (2014) que menciona que en general, a mayor CE de la solución nutritiva presenta un aumento en la CE del sustrato, además coincide con Aguirre *et al.* (2012) que concluyen que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo está directamente relacionada con la composición del agua y añaden que los residuos provenientes de aguas salinas son generalmente 10 veces mayor que los del agua con calidad de riego. Por lo tanto, el uso de aguas entre moderada y altamente salinas son la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio. Lo anterior nos orienta a señalar que en todos los suelos fértiles, contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo es atribuida principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía, lo cual está relacionado con el pH, el cual juega un papel importante en la absorción y la disponibilidad de los nutrientes para la planta, sobre todo de fósforo y micronutrientes (Trasviña *et al.*, 2018). La concentración de iones hidrógeno es importante cuando se estudia un suelo, la escala de pH es utilizada como indicadora de la concentración de iones

Cuadro 3. Media de Rendimiento de semillas de quinoa por planta, conductividad eléctrica, altura de planta, hojas por planta y potencial de hidrógeno (pH).

Semillas por planta		Conductividad eléctrica afde**		Altura de planta		Número de hojas por planta		pH afde	
T*	Media (g)	T	Media ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	T	Media (cm)	T	Media # hojas	T	Media pH
1	43.44 a***	4	4 930 a	1	173.22 a	1	94.94 a	1	6.46
2	30.65 b	3	4 180 b	3	163.61 a	2	94.22 a	2	6.16
3	23.31 b	2	3 325 c	2	159.83 b	3	93.88 a	3	6.04
4	19.13 b	1	1 690 d	4	147.00 b	4	93.61 a	4	5.98

T*: Tratamiento; afde**: al final del experimento. ***: Diferencia estadísticamente significativa Tukey (P<0.05).

hidrógeno en el suelo. En el Cuadro 3, puede apreciarse que no hubo variabilidad estadística significativa, coincidiendo con lo referido por Acosta *et al.* (2007), donde indica que el uso de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ tiene como objetivo neutralizar los suelos alcalinos, mejorar la permeabilidad, proporcionar azufre y soporte catalítico para la utilización máxima de fertilizantes.

Con base al análisis de correlación y observar si existe correlación entre los tratamientos se realizó una prueba de coeficientes de correlación (Cuadro 4), donde el valor de uno representa el 100% y los decimales el porcentaje de correlación entre variables. Se pudo observar que la correlación existente entre el pH y el rendimiento es del 65%; entre el número de hojas y el pH del 70%; entre altura de planta y pH del 65%; la CE y el pH del 65%; entre el número de hojas y el rendimiento del 99%; por su parte entre la altura de planta y el rendimiento del 84%; entre la CE y el rendimiento del 99%, en la altura de la planta y el número de hojas del 80%; entre la CE y número de hojas del 99% y finalmente entre la CE y la altura de la planta del 79%. La menor correlación se dio entre la altura de la planta y el pH; la mayor entre la CE y el rendimiento. Respecto a la correspondencia directa entre la salinidad y el rendimiento, Rueda *et al.* (2009) mencionan que la presencia de sales ejerce una doble influencia en el suelo, en la primera, la posible toxicidad de algunos iones presentes, como el sodio, y por otro lado, el incremento de la presión osmótica de la solución, lo cual dificulta la absorción del agua por las plantas. Esto hace que los suelos salinos se comporten fisiológicamente como secos, aun con un nivel de humedad apreciable.

La salinidad influye en el crecimiento y producción de la planta. De acuerdo con Madueño *et al.* (2011), en condiciones salinas, el bajo potencial osmótico de la solución del suelo obliga a que las plantas expuestas a ese medio mantengan también un bajo potencial osmótico de sus células, de lo contrario pueden experimentar una dese-

cación osmótica, debido a que el agua se movería de la célula hacia el suelo, lo cual eventualmente le puede provocar la muerte.

En el análisis de regresión, los resultados del análisis de regresión para el rendimiento de semilla (Figura 1), se puede establecer que el comportamiento de la quinoa está determinado por la presencia de sales, logrando su óptimo desarrollo respecto al rendimiento de semilla, con una conductividad eléctrica igual o menor a $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ y el menor rendimiento con una conductividad eléctrica igual o mayor a $8000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Estos resultados coinciden con lo reportado por Parés *et al.* (2008) y Rueda *et al.* (2009), quienes encontraron que a mayor salinidad el rendimiento se afecta de forma negativa, lo cual es variable por la capacidad que tiene un cultivo para soportar la salinidad del suelo, ya que las plantas desarrollan diversas estrategias entre las cuales se citan la extracción de sales y ajustando la presión osmótica a través de la síntesis de sales compatibles como la prolina, la glicina-betaína y otros azúcares (Argentel *et al.*, 2010). Otras estrategias son la acumulación de sales en las vacuolas celulares, controlando de esta forma la concentración de sales en el citosol y manteniendo en

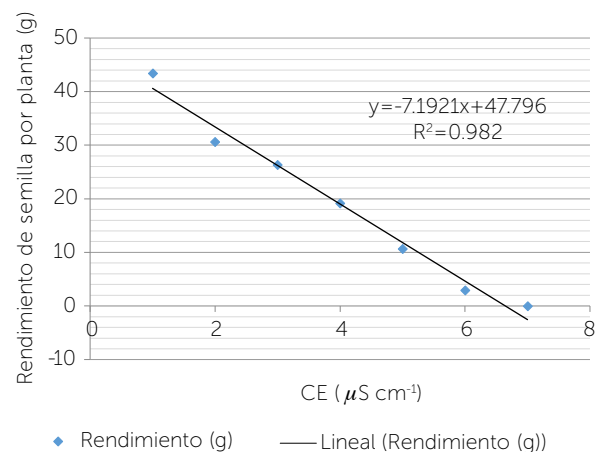


Figura 1. Análisis de regresión para rendimiento de semilla de quinoa respecto a la CE de la solución nutritiva.

Cuadro 4. Análisis de correlación de Pearson de variables evaluadas en la producción de quinoa en soluciones nutritivas salinas.

	pH	Rendimiento (g)	Número de hojas	Altura de Planta(cm)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
pH	1.0000				
Rendimiento (g)	0.6757	1.0000			
Número de hojas	0.7039	0.9957	1.0000		
Altura de planta (cm)	0.6515	0.8440	0.8022	1.0000	
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	0.6724	0.9964	0.9905	0.7967	1.0000



Figura 2. Cultivo de quinoa bajo condiciones de invernadero en semi-hidroponía con diferentes niveles de conductividad eléctrica debido a salinidad sulfática.

las células una relación K^+/Na^+ alta. Además, Ramírez y Hernández (2016), mencionan que los mecanismos de respuesta de las plantas al estrés salino se pueden resumir en tres fases fundamentales: 1) ajuste osmótico, 2) homeostasis iónica, y 3) eliminación de especies reactivas de oxígeno.

CONCLUSIONES

Se demuestra que la salinidad sulfática afecta el rendimiento de semilla del cultivo de quinoa bajo las condiciones de semi-hidroponía en las que se desarrolló el cultivo. Sin embargo, se muestra que la quinoa es moderadamente tolerante a estas sales sulfáticas dado que el cultivo produjo semilla aún en condiciones de alta CE. La parte vegetativa de la planta no se ve afectada por el incremento de salinidad sulfática. El cultivo de quinoa puede ser una alternativa de producción en suelos sulfáticos, considerando las restricciones que impone el efecto de la disminución del potencial osmótico causado por las sales. No obstante, lo anterior, es importante desarrollar más estudios bajo condiciones bióticas y abióticas que pueden presentarse en otras regiones y probar otro tipo de salinidad tal como la clorhídrica.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, el financiamiento recibido para el proyecto: "Sustentabilidad de la agricultura familiar en regiones áridas y semiáridas".

LITERATURA CITADA

Acosta, D. C., Ocampo, D., Cedillo, P. D., Nava, L. M. (2007). Efecto del sulfato de calcio y biosólidos en el rendimiento del cultivo de cacahuete. *Investigación Agropecuaria*, 4: 31-38.

- Aguirre, M. E., Elisei, V. R., Commegna, M. A., Santamaría R.M. (2012). Evolución de la salinidad en un suelo irrigado del sudoeste bonaerense. *Ciencia del Suelo*, 29: 265-276.
- Argentel, L., López, D. R., González, L. M., Ortega, E. (2010). Contenidos de prolina, glicina betaina y proteínas solubles totales en 12 variedades de trigo en condiciones salinas. *Cultivos Tropicales*, 31: 82-86.
- Bazile, D. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia). 724 p.
- Casierra-Posada, F., Arias-Aguirre, J. A., Pachón, C. A. (2013). Effect of salinity caused by NaCl on hybrid tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Miller). *Orinoquia*, 17 (1): 23-29.
- Castillo, S., Suárez, G., Mosquera, T. (2017). Naturaleza y sociedad: Relaciones y tendencias desde un enfoque eurocéntrico. *Luna Azul*, 44: 348-371.
- Cepeda, G., Valdez, A., Castillo, G., Ruiz, T., Robledo, V. (2014). Respuestas de lechuga a la conductividad eléctrica con riego superficial y subirrigación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5: 1233-1245.
- Coca, A., Carranza, C., Miranda, D., Rodríguez M. (2012). Efecto del NaCl sobre los parámetros de crecimiento, rendimiento y calidad de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) bajo condiciones controladas. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6: 196-212.
- Gea, M., Arteaga, P., Batanero, C., Ortiz, J. (2018). Conocimiento tecnológico sobre la correlación y regresión: un estudio exploratorio con futuros profesores. *Bolema*, 32: 134-155.
- González, R., Quero, C., Franco, M., Ramírez, A., Ortega, E., Trejo, L. (2011). Efecto de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento del pasto Banderita (*Boutelouacurtipendula*). *Ciencia Ergo Sum*, 18: 59-69.
- Goykovic, C., Saavedra, R. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia*, 25: 47-58.
- Jaramillo, V., Arahana, V., Torres, M. (2014). Determinación del nivel de tolerancia a salinidad en condiciones in vitro de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) provenientes de distintas localidades de la Sierra ecuatoriana. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 6: 44-50.

- López, M., Arbona, V., Pérez, C., Gómez, L. (2008). Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. *Environmental and Experimental Botany*, 62: 176-184.
- Madueño, A., García, P., Martínez, H., Bugarín, M., Bojórquez, S. (2011). Salinidad inducida CON NaCl y aplicación de fósforo sobre las propiedades bioquímicas de frijolillo (*Rhynchosia minima* L). *Universidad y Ciencia*, 27: 43-51.
- Martínez, V., López, A., Basurto, S., Pérez, L. (2011). Effects of salinity on vegetative growth. *Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*, 5: 156-177.
- Mirando, R., Caballero, A., Cadena, F., Bosque, H. (2017). Salinidad y el cultivo de la quinua. Una breve revisión bibliográfica. *Apthapi*, 3: 87-92.
- Molina, E., González, P., Moreno, R., Montero, Q., Bracho, B., Sánchez, U. (2015). Effects of diets with *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. on performance and digestibility of growing rabbits. *World Rabbit Science*, 23: 9-18.
- Morales, G., Vázquez, N., Bressani, R. (2009). El amaranto. Características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutricional. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Social, Pesca y Alimentación. México. 269 p.
- Parés, J., Arizaleta, M., Sanabria, M., García, G. (2008). Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de *Carica papaya* L. *Acta Botánica Venezuela*, 31: 27-34.
- Ranjit, S., Meera, D., Jaspal, S., Shweta, S., Ajender, N., Sukhpreet, S. (2018). Lettuce growth and yield in Hoagland solution with an organic concoction. *International Journal of Vegetable Science*, 24: 557-566.
- Ramírez, S., Hernández, O. (2016). Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. *Pastos y Forrajes*, 9: 235-245.
- Rojas, W., Alandía, G., Irigoyen, J., Blajos, J., Santivañez, T. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Oficina Regional Para America Latina y El Caribe, FAO. 58 p.
- Rueda, P., Barron, H., Preciado, R., López, R., Murillo, A., Tarazon, H., Troyo, D. (2009). La salinidad: ¿un problema o una opción para la agricultura? Plaza y Valdez Editores. México. 262 p.
- Ruiz, A., González, F. (2012). Caracterización climática para la región de bahía de banderas mediante el sistema de Köppen, modificado por García. *Técnicas de Sistemas de Información Geográfica*, 79: 7-19.
- Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M., Rehman, M., Siddiqi, T., Ahmad, P. (2013). Salt stress: Causes, types and responses of plants. In: Ahmad P, Azooz M.M., Prasad MNV (eds.) *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer: New York, USA. pp: 1-24.
- SEMARNAT-SAGARPA. (2010). Salinidad del suelo. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. 58 p.
- Shrivastava, P., Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22: 123-131.
- Soto, B. (2015). Oxifertirrigación química mediante riego en tomate. *Agronomía Mesoamericana*, 26: 277-289.
- Trasviña, B., Bórquez, O., Leal, A., Castro, E., Gutiérrez, C. (2018). Rehabilitación de un suelo salino con yeso agrícola en un cultivo de nopal en el Valle del Yaqui. *Terra Latinoamericana*, 36: 85-90.

