

Evaluación de la capacidad de fitodesalinización de cuatro halófitas en un suelo salino-sódico

José Mamani Flores ¹; Omar Arzabe Maure ²; Demis Andrade Foronda ³

¹ Maestrante AI/ARES-UMSS; ² Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, Universidad Mayor de San Simón; ³ Doctorante AI/ARES-UMSS

E mail: luisunibol@yahoo.com

Resumen. Diversos autores proponen el uso de especies halófitas para la fitodesalinización de suelos afectados por sales, debido a su capacidad de acumular sodio en sus brotes. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de dos halófitas nativas (*Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*) y dos introducidas (*Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*) para desalinizar un suelo salino-sódico en el Valle Alto de Cochabamba. El experimento se implementó en la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la UMSS, utilizando plántulas de 37 días de crecimiento, cultivadas bajo invernadero en macetas con 5 kg de suelo salino-sódico ($46.99 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $3.37 \text{ g Na}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ suelo), regadas con agua potable durante 70 días, sin lixiviación. Los resultados muestran que las cuatro especies disminuyeron significativamente la conductividad eléctrica del suelo en relación al control, al absorber sales solubles, principalmente iones de sodio. La halófita nativa *Sesuvium portulacastrum* fue la más productiva, con 1.65 t ha^{-1} en base seca; no obstante *Suaeda fruticosa* Moq. fue la más eficiente para acumular sodio en sus brotes, con una capacidad (C_{PH}) de $0.24 \text{ t Na}^+\cdot\text{ha}^{-1}$. En general, las halófitas nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, fueron las más adecuadas para remediar un suelo salino-sódico.

Palabras clave: Degradación y remediación de suelos; Salinidad; Biorremediación

Summary: Evaluation of the phytodesalination capacity of four halophytes in a saline-sodic soil. Several authors propose the use of halophyte species for the phytodesalinization of salt-affected soils, due to their capability to accumulate sodium in their shoots. The objective of this research was to evaluate the capability of two native halophytes (*Suaeda fruticosa* Moq and *Sesuvium portulacastrum*) and two introduced (*Atriplex hortensis* and *Kochia scoparia*) to desalinate a saline-sodic soil from the High Valley of Cochabamba. The experiment was implemented at the Faculty of Agricultural and Animal Sciences of the UMSS, using 37-day-old seedlings grown under greenhouse conditions in pots with 5 kg of saline-sodium soil ($46.99 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, $3.37 \text{ g Na}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ soil), irrigated with tap water for 70 days without leaching. The results show that, the four species significantly decreased the electrical conductivity of the soil compared to the control; by absorbing soluble salts, mainly sodium ions. The native halophyte *Sesuvium portulacastrum* was the most productive with $1.65 \text{ t DM}\cdot\text{ha}^{-1}$; However, *Suaeda fruticosa* Moq was the most efficient to accumulate sodium in its shoots with a capacity (C_{PH}) of $0.24 \text{ t Na}^+\cdot\text{ha}^{-1}$. In general terms, the native halophytes *Suaeda fruticosa* Moq and *Sesuvium portulacastrum* are more suitable to remedy a saline-sodic soil.

Keywords: Soil degradation and remediation; Salinity; Bio-remediation

Introducción

La salinidad es un problema crítico en regiones áridas y semiáridas, ya que la presencia excesiva de las sales causa la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo, con un impacto importante sobre la productividad de los cultivos. Flowers y Colmer (2008), afirman que las halófitas acumulan altos niveles de sodio para tolerar la salinidad y lograr un equilibrio osmótico en sus células. A nivel mundial, se estima que más de 1128 millones de hectáreas, están afectadas por la salinidad, de esta extensión el 60% corresponde a suelos salinos, el 26% a suelos sódicos y el 14% restante son salino-sódicos (Wicke *et al.* 2011).

En Bolivia, la salinidad abarca no solamente la cuenca del Río Desaguadero en el Altiplano Boliviano, sino también el Valle Alto y Central de Cochabamba, los Valles de Santa Cruz y el Chaco, donde las precipitaciones pluviales son insuficientes para llevar las sales fuera de la zona explorada por las raíces de las plantas, y también en lugares donde las condiciones físicas y topográficas, dificultan el drenaje natural, favoreciendo la acumulación de sales en el suelo. Una zona agro productiva importante, afectada por este problema, es el Valle Alto de Cochabamba, con superficie plana aproximada a 36052 ha, donde los procesos de salinización son significativos, ya que en el año 1990 el área afectada era de 7553.8 ha, para el año 2016 aumentó a 11433.4 ha, que representa una tasa de salinización aproximada de 149.2 ha año⁻¹ (Ramos 2017).

Para remediar el problema de la salinidad del suelo, varios autores (Graifenberg *et al.* 2003; Rabhi *et al.* 2010 b; Ravindran *et al.* 2007; Zhao *et al.* 2005,

entre otros), han propuesto el uso de especies halófitas para desalinizar el suelo, bajo el enfoque de bioremediación. Esta estrategia ha demostrado ser ventajosa en varios aspectos, como el económico, la efectividad para preservar las propiedades físico-químicas del suelo y la eficiencia para la remediación (Huang *et al.* 2004).

El presente trabajo tuvo por objeto evaluar la capacidad de dos halófitas nativas y dos exóticas, para desalinizar un suelo salino-sódico a nivel de la rizósfera.

Materiales y métodos

Sitio experimental

El experimento se desarrolló bajo condiciones controladas en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la UMSS, ubicada a 17°23'20" de latitud Sur y 66°09'35" de longitud Oeste, a una altitud de 2600 msnm. Las condiciones en el invernadero fueron, en promedio, temperatura de 35°C en el día y 12°C por la noche y 40% de humedad relativa.

Suelo y material vegetal

El suelo fue extraído de la localidad Santa Ana, municipio de Punata, ubicado a 17°32'38.6" latitud Sur y 65°51'41.9" longitud Oeste. Las características físico-químicas del suelo fueron: textura arcillosa (arena 23.6%, limo 22.7% y arcilla 53.8%); conductividad eléctrica (CE) 47.1 dS·m⁻¹; pH 8.3; MO 0.18%; K⁺ 0.8 g·kg⁻¹; Ca⁺⁺ 0.02 g·kg⁻¹; Mg⁺⁺ 0.01 g·kg⁻¹; Na⁺ 3.4 g·kg⁻¹ (en base a extracto de pasta saturada de suelo). Se determinó la categoría de suelo salino-sódico, con base en la clasificación del *US Salinity Lab / NRCS*.

En cuanto a la procedencia del material vegetal de las especies nativas, la *Suaeda fruticosa* Moq. (q'uchi) fue obtenida del *Proyecto de Manejo y Recuperación de Praderas Nativas* dependiente del gobierno autónomo departamental de Oruro; el *Sesuvium portulacastrum* (verdolaga salina), fue recolectado de la comunidad de San Isidro, municipio de Cliza (en enero de 2019). Las semillas de las halófitas exóticas *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, fueron adquiridas de propagadores comerciales en Europa.

La propagación sexual de *Suaeda fruticosa* Moq., *Sesuvium portulacastrum*, *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, se realizó en el mismo invernadero, donde las semillas fueron sembradas en plantaderas hortícolas, con sustrato 1:1 (50% turba y 50% arena fina).

Procedimiento experimental y analítico

Al cabo de 37 días, los plantines fueron transferidos a macetas plásticas no perforadas (sin lixiviación), con 5 kg de suelo tamizado a 4 mm, a razón de 9 plantas por maceta; el riego se llevó a cabo con agua potable, a casi 50% de la capacidad de campo del suelo. En este estado de plantines (37 días) algunos fueron evaluados a fin de obtener la materia seca inicial (MS i) para la estimación de productividad de las halófitas. Después de 70 días, los brotes fueron cortados, secados, pesados y molidos para obtener la materia seca final (MS f) para estimar la productividad de las halófitas. La concentración de Na^+ fue determinada a través de una digestión acida con $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (2:1) y medida con un espectrofotómetro de absorción atómica, del Laboratorio de Suelos y Aguas de la FCAYP-UMSS. Se tomaron muestras de suelo de las macetas para medir la concentración de Na^+ soluble y la CE del extracto de

pasta saturada, acorde con Richards (1954), medidas en un espectrofotómetro de absorción atómica y un conductímetro en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la FCAYP-UMSS.

Estimaciones y cálculos

La productividad de las especies halófitas se estimó a través de su densidad (9 plantas por maceta), el peso seco del brote y la superficie de la maceta, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ph} = \frac{(\text{MS f} - \text{MS i})}{\text{SS}} \times 10000$$

donde:

Ph es la productividad de la halófita en términos de tha^{-1} en base seca.

MS f y MS i son la biomasa seca final e inicial, respectivamente, expresadas en t en base seca.

SS es la superficie de suelo de la maceta de 19 cm de diámetro (por tanto 0.028 m^2 de superficie por maceta).

Para cuantificar la capacidad de fitodesalinización (C_f) y el rendimiento de fitodesalinización (R_f), se utilizaron las fórmulas propuestas por Rabhi *et al.* (2010 a) y Rabhi *et al.* (2015). Dado que el experimento se realizó sin lixiviación, el rendimiento de la bioremediación vegetativa (R_{bv}) es equivalente al de R_f , mismo que se estimó como porcentaje de las disminuciones de la CE y de la concentración de Na^+ soluble en el suelo ($R_f\%\text{CE}$ y $R_f\%\text{Na}^+$), con respecto al valor del suelo inicial.

Análisis estadístico

El diseño experimental empleado fue el diseño *Completo al Azar* (DCA), con un solo factor (especie halófita) y cuatro

tratamientos, además del control (sin cultivo). La unidad experimental fue la maceta, con 7 repeticiones, para un total de 35 unidades experimentales. El análisis de varianza empleado fue el unifactorial y la comparación de medias se la hizo con la prueba de Tukey al 5%, utilizando el software Minitab v. 18®.

Resultados y discusión

Conductividad eléctrica (CE) y rendimiento de fitodesalinización

La CE, como indicador del contenido de sales solubles en el suelo, presentó diferencias significativas entre las cuatro especies halófitas ($P < 0.001$). La disminución de la CE del suelo con las halófitas, fue significativa en contraste con el suelo no cultivado (46.99 dS m^{-1}).

Las especies nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, fueron más eficientes para reducir la CE a 35.50 dS m^{-1} y 36.07 dS m^{-1} , con rendimientos de fitodesalinización de 24.6% y 23.4%, respectivamente.

En cuanto a las especies exóticas, *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, fueron menos eficientes para disminuir la CE, con valores de 21.84% y 20.18%, respectivamente (Cuadro 1).

Resultados similares fueron obtenidos por Zahran y Abdel Wahid (1982) citados por Rabhi *et al.* (2008), utilizando *Juncus rigidus* y *Juncus acutus*, para recuperar suelos en Egipto, encontrando que la CE del suelo, a saturación del 50%, disminuyó de 33 dS m^{-1} a 22 dS m^{-1} , en un ciclo de crecimiento de *J. rigidus*. Asimismo Ravindran *et al.* (2007), evaluaron la capacidad de seis halófitas para desalinizar suelos salinos con 120 días de

cultivo, resultando las especies *Suaeda maritima* y *Sesuvium portulacastrum*, con mayor capacidad para reducir la CE de 4.9 a 1.4 y 2.5 dS m^{-1} , respectivamente. Adicionalmente Sassi *et al.* (2017), determinaron que un cultivo de cuatro meses con la especie *Sesuvium portulacastrum*, disminuyó significativamente la CE del suelo, con R_f de 26.6% y 32.3%.

Contenido de sodio soluble y rendimiento de fitodesalinización

Con respecto a la concentración final de sodio soluble en el suelo ($\text{g Na}^+ \text{kg}^{-1}$), existen diferencias significativas entre las cuatro halófitas evaluadas ($P < 0.001$), con respecto a la concentración en el suelo inicial ($3.37 \text{ g Na}^+ \text{kg}^{-1}$).

Las especies nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, lograron mayor eficiencia, con una disminución del sodio soluble a 3.18 y $3.23 \text{ g Na}^+ \text{kg}^{-1}$, respectivamente, en correspondencia con el R_f de 5.68 y 4.28% en términos de disminución de Na^+ soluble.

Las especies exóticas *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, alcanzaron valores de 3.87 y $2.05 \text{ g Na}^+ \text{kg}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 1).

Estos resultados son comparables con los de Sassi *et al.* (2017) para *Sesuvium portulacastrum*, que en cultivo de cuatro meses, redujo la concentración de Na^+ soluble en un suelo, de 1.8 y $2.6 \text{ g Na}^+ \text{kg}^{-1}$ a 1.3 y $1.9 \text{ g Na}^+ \text{kg}^{-1}$, respectivamente, con R_f de concentración de Na^+ soluble de 11.3% y 27.8%. Asimismo, Rabhi *et al.* (2009), evaluaron las especies *Suaeda fruticosa* y *Sesuvium portulacastrum* bajo condiciones no lixiviadas, por 170 días, y obtuvieron valores de R_f entre 8% y 26 % del sodio soluble, contenido inicialmente en el suelo.

Cuadro 1. Concentración de Na^+ soluble y conductividad eléctrica en suelos cultivados y no cultivados y rendimientos de fitodesalinización (R_F)

Parámetros	Especies nativas		Especies exóticas	
	<i>Suaeda fruticosa</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Atriplex hortensis</i>	<i>Kochia scoparia</i>
CE suelo no cultivado (dS m^{-1})	46.99	46.99	46.99	46.99
CE suelo cultivado (dS m^{-1})	35.50 <i>d</i>	36.07 <i>c</i>	36.80 <i>b</i>	37.59 <i>a</i>
Na^+ no cultivado $\text{g Na}^+ \text{kg}^{-1}$	3.37	3.37	3.37	3.37
Na^+ cultivado $\text{g Na}^+ \text{kg}^{-1}$	3.18	3.23 <i>b</i>	3.24 <i>b</i>	3.30 <i>a</i>
Y_{PH} (% CE) ^a	24.61 <i>a</i>	23.39 <i>b</i>	21.84 <i>c</i>	20.18 <i>d</i>
Y_{PH} (% Na^+) ^b	5.68 <i>a</i>	4.28 <i>b</i>	3.87 <i>b</i>	2.05 <i>c</i>

Los valores son medias de siete réplicas. En cada línea, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes entre sí, según la prueba de Tukey (<0.05). ^a: Y_{PH} expresado en porcentaje de disminución de conductividad eléctrica; ^b: Y_{PH} disminución de Na^+ sodio soluble del suelo, a 70 días de cultivo.

Contenido de sodio en la parte foliar

La parte foliar de las especies nativas *S. fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, presentaron una concentración de 91.57 y 83.06 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ en base seca (MS), respectivamente, siendo mayor que los valores hallados en las especies exóticas *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, con 61.61 y 33.92 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ en base seca, respectivamente (Figura 1).

Estos resultados son comparables con los obtenidos por Rabhi *et al.* (2010 b), para *Suaeda fruticosa* Forssk, con un contenido de 97.3 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ (MS) en los brotes; y por Muchate *et al.* (2016) para *S. portulacastrum* a los 90 días, con una acumulación de 76.4 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ (MS) en los brotes, con respecto al control. Rabhi *et al.* (2009), hallaron una concentración de 163 y 176 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ (MS) en brotes de *S. portulacastrum* y *Suaeda fruticosa* Forssk, respectivamente, cultivadas durante 170 días en un suelo salino.

En otro estudio, la especie *S. portulacastrum*, cultivada cuatro meses a diferentes niveles de salinidad, acumuló concentra-

ciones correlativas de sodio, llegando a un nivel máximo de 160 - 170 $\text{mg Na}^+ \cdot \text{g}^{-1}$ en base seca (Sassi *et al.* 2017).

Productividad de materia seca (MS)

Las especies *Sesuvium portulacastrum* y *Suaeda fruticosa* Moq., generaron una mayor productividad de materia seca con 1.54 y 1.65 t ha^{-1} , respectivamente, después de 70 días ($P \leq 0.05$), casi duplicando los valores de las especies *Atriplex hortensis* y *Kochia scoparia*, con 0.40 y 1.06 t ha^{-1} , respectivamente (Figura 2).

Estos resultados coinciden con los obtenidos en trabajos de Zorrig *et al.* (2012), quien evaluó la productividad de *S. portulacastrum* y *Suaeda fruticosa* Forssk, con 6.64 y 2.04 t ha^{-1} (MS), respectivamente, cultivadas durante 170 días en un suelo salino. Similares resultados se reportan en otro estudio con *Sesuvium portulacastrum* donde se alcanzó 4.4 t ha^{-1} a 15.5 dS m^{-1} (Sassi *et al.* 2017) y con reportes de Rabhi *et al.* (2010 a) para *Sesuvium portulacastrum*, con una productividad de 7.7 t ha^{-1} (MS), cultivada durante 189 días.

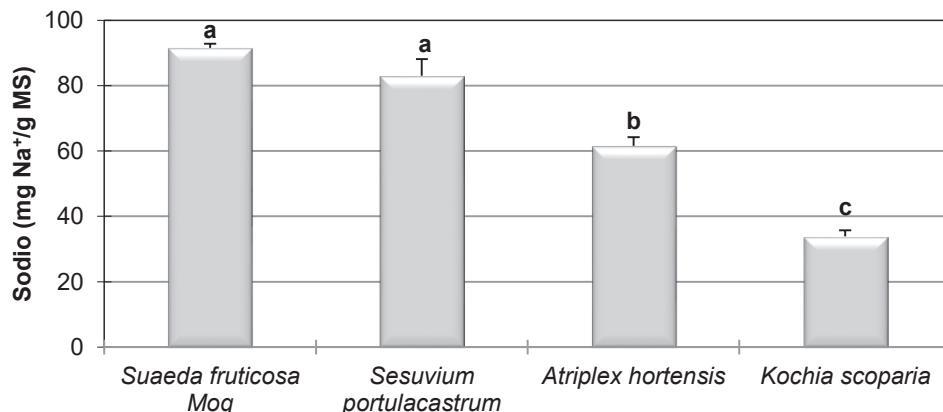


Figura 1. Contenido de sodio (Na⁺) en la parte foliar (mg Na⁺ g⁻¹ MS) en halófitas nativas y exóticas, a 70 días de cultivo

Barras que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey al 5%)

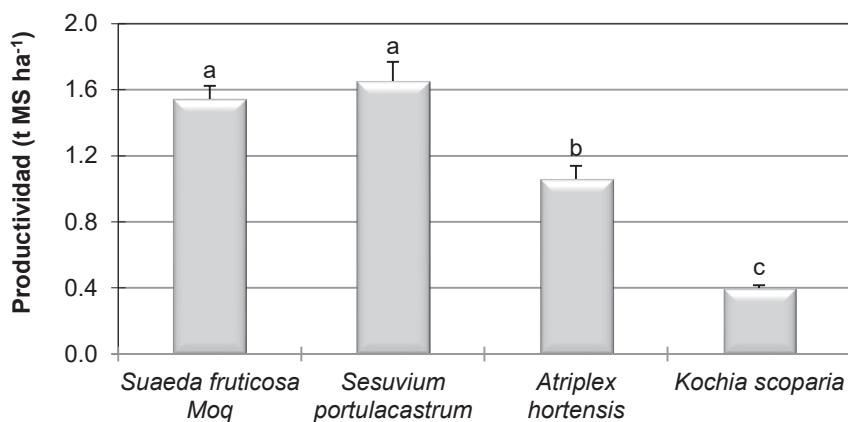


Figura 2. Productividad (t ha⁻¹ MS) en halófitas nativas y exóticas, a 70 días de cultivo

Barras que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey al 5%)

Capacidad de fitodesalinización (C_F)

Existen diferencias significativas entre las cuatro especies halófitas, respecto a la capacidad de fitodesalinización ($P<0.001$).

Las especies nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, exhibieron una mayor capacidad de acumulación de sales en sus tejidos y por ende una mayor reducción de sales en el suelo

salino-sódico, con valores de C_F de 0.24 y 0.23 t Na⁺ ha⁻¹, respectivamente, en 70 días de cultivo (Figura 3).

El resultado concuerda con la evaluación de Ravindran *et al.* (2007), para *Sesuvium portulacastrum* que acumuló 0.47 t Na ha⁻¹, en un suelo salino, durante cuatro meses. Asimismo, Zorrig *et al.* (2012) evaluó las especies *Sesuvium. portulacastrum*, *Tecticornia indica* y *Suaeda fruti-*

cos, con capacidades de fitodesalinización de 0.99, 0.26 y 0.36 t Na⁺ ha⁻¹, después de 170 días, en un suelo salino. Adicionalmente, Rabhi *et al.* (2009) trabajando con las halófitas *Suaeda fruticosa*, *Sesuvium portulacastrum* y *Arthrocnemum indicum carnosa*, encontraron una C_F de 0.8, 2.5 y 0.7 t Na⁺ ha⁻¹ en un suelo salino, respectivamente; además de lo hallado por Sassi *et al.* (2017) para *S. portulacastrum* en cuanto a la C_F de 0.66 t Na ha⁻¹ a 15.5 dS m⁻¹. Cabe resaltar que las especies nativas, empleadas en el presente estudio, son de ciclo corto, lo cual afecta la magnitud de la C_F.

Conclusiones

- Para el rendimiento de fitodesalinización (R_F), en términos de reducción en los valores de CE, las halófitas nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, fueron más efectivas, con 24.61% y 23.39%, respectivamente. En función a la disminución

del Na⁺ soluble, *Suaeda fruticosa* Moq. fue la más eficiente, con 5.68%.

- Las halófitas nativas *Suaeda fruticosa* Moq. y *Sesuvium portulacastrum*, reflejaron una mayor capacidad de producir biomasa, con 1.54 y 1.65 t ha⁻¹ en base seca, en 70 días, respectivamente, en consecuencia una mayor capacidad de fitodesalinización (C_F) con 0.24 y 0.23 t Na⁺ ha⁻¹.
- En términos generales, la especie *Suaeda fruticosa* Moq. fue la especie nativa más eficaz para desalinizar el suelo salino-sódico; en base a *esta cualidad*, se recomienda emplear la misma como cultivo fitoremediador.
- Se recomienda contemplar evaluaciones futuras con énfasis en halófitas nativas y considerando otros factores, como tipos de suelo, enmiendas, el uso potencial de la halófita y el aspecto ecológico.

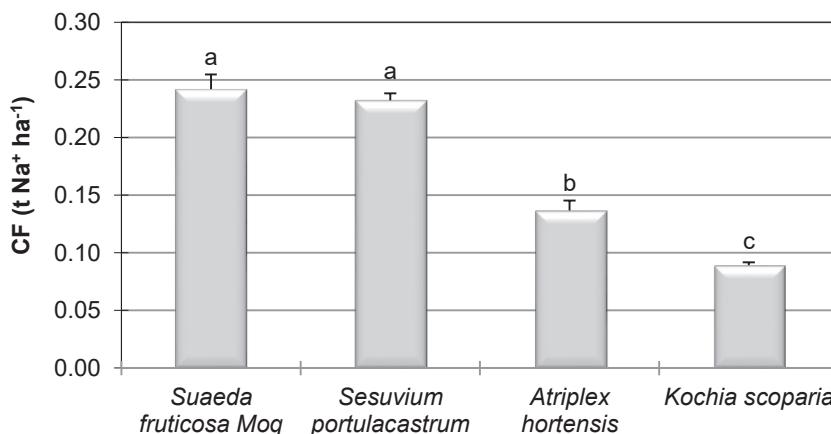


Figura 3. Capacidad de fitodesalinización de sodio CF (t Na⁺ ha⁻¹) en halófitas nativas y exóticas, a 70 días de cultivo

Barras que no comparten una letra son significativamente diferentes (Tukey al 5%)

Referencias citadas

- Flowers T., Colmer T. 2008. Salinity tolerance in Halophytes. *New Phytologist*, 179(4), 945-963. *En línea*. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/25150520?seq=1> Consultado en octubre de 2019.
- Graifenberg A., Botrini L., Giustiniani L., Filippi F., Curadi M. 2003. Tomato growing in saline conditions with biodesalinating plants: *Salsola soda* L., and *Portulaca oleracea* L. International Symposium on Managing Greenhouse Crops in Saline Environment. 609 p.
- Huang X., El-Alawi Y., Penrose D., Glick B., Greenberg B. 2004. A multiprocess phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. *Environmental Pollution*. 130(3), 465-476.
- Muchate N., Nikalje G., Rajurkar N., Suprasanna P., Nikam T. 2016. Physiological responses of the halophyte *Sesuvium portulacastrum* to salt stress and their relevance for saline soil bio-reclamation. *Flora*. 224, 96-105.
- Rabhi M., Atia A., Abdelly C., Smaoui A. 2015. New parameters for a better evaluation of vegetative bioremediation, leaching, and phytodesalination. *J Theor Biol*, 383, 7-11. *En línea*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519315003720> Consultado en diciembre de 2018.
- Rabhi M., Ferchichi S., Jouini J., Hamrouni M., Koyro H., Ranieri A., Smaoui A. 2010a. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. *Bioresour Technol*, 101(17), 6822-6828. *En línea*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410005742> Consultado en diciembre de 2018.
- Rabhi M., Karray-Bouraoui N., Medini R., Attia H., Abdelly C., Smaoui A. 2010b. Seasonal variations in phytodesalination capacity of two perennial halophytes in their natural biotope. *Journal of Biological Research*. 14, 181.
- Rabhi M., Hafsi C., Lakhdar A., Hajji S., Barhoumi Z., Hamrouni M., Smaoui A. 2009. Evaluation of the capacity of three halophytes to desalinize their rhizosphere as grown on saline soils under nonleaching conditions. *African Journal of Ecology*. 47(4), 463-468. *En línea*. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2028.2008.00989.x> Consultado en agosto de 2018.
- Rabhi M., Talbi O., Atia A., Abdelly C., Smaoui A. 2008. Selection of a halophyte that could be used in the bioreclamation of salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *Biosaline agriculture and high salinity tolerance*. pp. 241-246: Springer.
- Ramos T. 2017. Estudio multitemporal para delimitar áreas salinas en el Valle Alto de Cochabamba. Tesis de grado. FCAyP-UMSS. Cochabamba Bolivia. 65 p.
- Ravindran K., Venkatesan K., Balakrishnan V., Chellappan K., Balasubramanian, T. 2007. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(10), 2661-2664.
- Richards L. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook No. 60. US Department of Agriculture. Washington, DC.
- Sassi H., Farhat N., Jendoubi R., Elkhouni A., Zorrig W., Smaoui A., Rabhi M. 2017. Optimal soil salinity levels for the highest phytodesalination parameters in the obligate halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. *Agrochimica*, 61(4), 329-339.
- Wicke B., Smeets E., Dornburg V., Vashev B., Gaiser T., Turkenburg W., Faaij A. 2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy & Environmental Science*. 4(8), 2669-2681.
- Zahran M., Abdel Wahid, A. 1982. Contributions to the ecology of halophytes. *Tasks for Vegetation Science*. 2, 235-257.
- Zhao K., Fan H., Song J., Sun M., Wang B., Zhang S., Ungar I. 2005. Two Na^+ and Cl^- hyperaccumulators of the Chenopodiaceae. *Journal of Integrative Plant Biology*. 47(3), 311-318.
- Zorrig, W., Rabhi, M., Ferchichi, S., Smaoui, A., & Abdelly, C. 2012. Phytodesalination: a solution for salt-affected soils in arid and semi-arid regions. *J Arid Land Stud*, 22, 299-302.

Trabajo recibido el 24 de marzo de 2020 - Trabajo aceptado el 9 de septiembre de 2020