



Ecofisiología de *Sarcocornia neei* (Amaranthaceae) proveniente de dos humedales de la costa central de Lima, Perú

Ecophysiology of *Sarcocornia neei* (Amaranthaceae) from two wetlands of the central coast of Lima, Peru

Rafael La Rosa^{1,2,3} , Astrid Flores-Nuñez¹ , Mily Chávez¹ , Gonzalo Flores¹ , Miguel Alcalde¹ , Héctor Zeña¹ , Lisbeth Arieta¹ , Noelia Valderrama¹ , César Huerta¹ , Gustavo Sandoval¹

Resumen:

Antecedentes y Objetivos: Los humedales de la costa central de Lima, Perú, están siendo fuertemente impactados de forma negativa por actividad antrópica, debido a que se han establecido asentamientos humanos en las cercanías de estos frágiles ecosistemas. *Sarcocornia neei* es una Amarantácea halófita, que habita estos humedales, con potencial de ser usada como alimento; está siendo desplazada por la actividad humana y se desconocen aún aspectos básicos de su biología. Por lo tanto, nuestro objetivo fue conocer la ecofisiología de esta especie bajo condiciones de invernadero y de laboratorio, viendo la posibilidad de ser cultivada fuera de su ambiente natural.

Métodos: Las plantas de *S. neei* fueron colectadas tanto en el Humedal de Ventanilla, como en el de Paraíso, Lima, Perú. Para la prueba de germinación se usaron 600 semillas sometidas a diferentes concentraciones de NaCl (0 M, 0.1 M, 0.3 M y 0.58 M), con tres repeticiones por 15 días. También se plantaron esquejes en sustrato orgánico y adicionando las mismas concentraciones de sal, con tres repeticiones por cuatro meses. Al final de este periodo se realizaron cortes histológicos y también se hicieron extractos de proteínas.

Resultados clave: Se obtuvo una mejor germinación en 0.3 M de NaCl. No hubo diferencias significativas en el crecimiento de los esquejes. Se encontraron variaciones histológicas en los tallos dependiendo de los tratamientos y no hubo diferencias significativas en la concentración total de proteínas, aunque sí se encontró una sobreexpresión de proteínas de bajo peso molecular en el tratamiento de 0.58 M de NaCl.

Conclusiones: Los resultados muestran que esta especie podría ser cultivada en terrenos salinos y usada en la alimentación humana o de animales, o como especie promisoria en la descontaminación de suelos salinos contaminados con plomo.

Palabras clave: germinación, halófita, histología, proteínas, salinidad.

Abstract:

Background and Aims: The wetlands of the central coast of Lima, Peru, are being negatively impacted by anthropic activity, because human settlements have been established in the vicinity of these fragile ecosystems. *Sarcocornia neei* is a halophytic Amaranthaceae, which inhabits these wetlands and with potential to be used as food. However, it is being displaced by the human activities, while basic aspects of its biology remain unknown. Hence, our goal was to investigate the ecophysiology of this species under greenhouse and laboratory conditions, looking at the possibility of being grown outside its natural environment.

Methods: Plants of *S. neei* were collected in both Ventanilla and Paraíso Wetlands, Lima, Peru. For the germination test, 600 seeds were subjected to different concentrations of NaCl (0 M, 0.1 M, 0.3 M and 0.58 M), with three repetitions for 15 days. Cuttings were also planted in organic substrate and adding the same concentrations of salt, with three repetitions for four months. At the end of this period histological sections were made and protein extracts were also realized.

Key results: A better germination was obtained in 0.3 M of NaCl. There were no significant differences in the growth of cuttings. Histological variations were found in the stems depending on the treatments and there were no significant differences in the total protein concentration, although overexpression of low molecular weight proteins was found in the treatment of 0.58 M NaCl.

Conclusions: The results show that this species could be cultivated in saline lands and used in human or animal feed, or as a promising species in the decontamination of lead-contaminated saline soils.

Key words: germination, halophyte, histology, proteins, salinity.

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Venezuela s/n cuadra 34, Lima, Perú.

²Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRNA), Calle Germán Amézaga Núm. 375-Edificio Jorge Basadre, Cd. Universitaria, Lima, Perú.

³Autor para la correspondencia: rlarosal@unmsm.edu.pe

Recibido: 12 de marzo de 2020.

Revisado: 4 de mayo de 2020.

Aceptado por Marie-Stéphanie Samain: 12 de junio de 2020.

Publicado Primero en línea: 17 de junio de 2020.

Publicado: Acta Botanica Mexicana 127(2020).

Citar como: La Rosa, R., A. Flores-Nuñez, M. Chávez, G. Flores, M. Alcalde, H. Zeña, L. Arieta, N. Valderrama, C. Huerta y G. Sandoval. 2020. Ecofisiología de *Sarcocornia neei* (Amaranthaceae) proveniente de dos humedales de la costa central de Lima, Perú. Acta Botanica Mexicana 127: e1695. DOI: 10.21829/abm127.2020.1695



Este es un artículo de acceso abierto bajo la licencia Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional).

e-ISSN: 2448-7589

Introducción

Los humedales de la costa peruana son producto del surgimiento de aguas subterráneas y, en menor medida, del aporte de aguas superficiales. Cumplen con el importante rol de servir de refugio a numerosas especies animales y vegetales, así como también de brindar servicios ecosistémicos (Arana y Salinas, 2003; García y Lleellish, 2011). Por otro lado, las lagunas o humedales ubicados en la costa central peruana en Lima están siendo perturbados por las poblaciones aledañas mediante acciones como incendios, forraje para animales (Aponte et al., 2015), contaminación con metales pesados (Fajardo et al., 2017), y el avance de especies invasoras con la consecuente fragmentación de la vegetación (Aponte y Cano, 2013; Aponte y Ramírez, 2014). Sin embargo, también se puede observar que donde la actividad ganadera no es intensa, aún se tienen áreas intactas con abundante vegetación nativa (Aponte y Ramírez-Huamoto, 2011).

León et al. (1996) y Alonso y Crespo (2008) mencionan que dentro de las especies de amplia distribución que habitan estos ecosistemas resaltan *Batis maritima* L., *Ruppia maritima* L., *Salicornia* spp. y *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. De las especies mencionadas, se decidió estudiar el comportamiento de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo (basónimo: *Salicornia neei* Lag.), principalmente debido a que, como mencionan Alonso y Crespo (2008), esta especie puede tener una amplia variación morfológica en las diferentes zonas en las que se distribuye, agregando que se ignora si estos cambios están relacionados con adaptaciones fisiológicas. También se desconoce la expresión de proteínas de respuesta al estrés salino de *S. neei*, como sí lo reportan Chiconato et al. (2019), Guo et al. (2019) y Pérez-Labrada et al. (2019) en plantas de caña de azúcar, de *Suaeda salsa* (L.) Pall. y de tomate, respectivamente, sometidas a salinidad.

La importancia de *S. neei* radica en que esta especie podría ser empleada en la alimentación humana como una verdura (Riquelme et al., 2016), gracias a que es una herbácea áfila de tallos suculentos. Sin embargo, se debe tener precaución porque esta especie acumula Pb (Riquelme et al., 2016). Por otro lado, se podrían utilizar sus se-

millas de la misma manera que se hace con *Sarcocornia ambigua* (Michx.) M.Á. Alonso & M.B Crespo, del sur de Brasil, cuyas semillas oleaginosas pueden ser utilizadas como alimento para animales o como biocombustible (D'oca et al., 2012; Costa et al., 2014). De la misma forma, *Salicornia bigelovii* Torr., *Salicornia persica* Akhani y *Sarcocornia fructicosa* (L.) A.J. Scott poseen una buena calidad de aceites en sus semillas y son regadas con agua de mar (Ventura et al., 2011; Lonard et al., 2012). Gracias a que los humedales de la costa central de Lima son Áreas de Conservación Regional, *S. neei* no tiene problemas de conservación.

Por lo tanto, *S. neei* tiene un gran potencial en la alimentación humana o de animales, o como especie promisoria en la descontaminación de suelos salinos contaminados con plomo. Sin embargo, aún se desconocen aspectos básicos de su biología. Por eso nos planteamos como objetivo estudiar la ecofisiología de esta especie, bajo condiciones de invernadero y de laboratorio, viendo la posibilidad de ser cultivada fuera de su ambiente natural.

Materiales y Métodos

El material biológico así como de tierra fue traído de dos humedales: A) Humedal de Ventanilla, ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, Distrito de Ventanilla (11°52'40.9"S, 77°09'02.4"W) y B) Humedal de Paraíso, ubicado en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, Región Lima (11°12'27.2"S, 77°35'43.1"W) (Fig. 1).

El trabajo de laboratorio se realizó entre abril y noviembre 2015, tanto en el invernadero del Laboratorio de Anatomía y Farmacognosia Vegetal, como en el Laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. La especie *S. neei* fue determinada y su voucher depositado en el Herbario USM de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Germinación

Para realizar la prueba de germinación se recolectaron diez ramas con frutos maduros de aproximadamente 30-40 cm de longitud, provenientes de 10 individuos de ambos humedales. A partir de esos frutos se extrajeron 600 semi-

LIMA

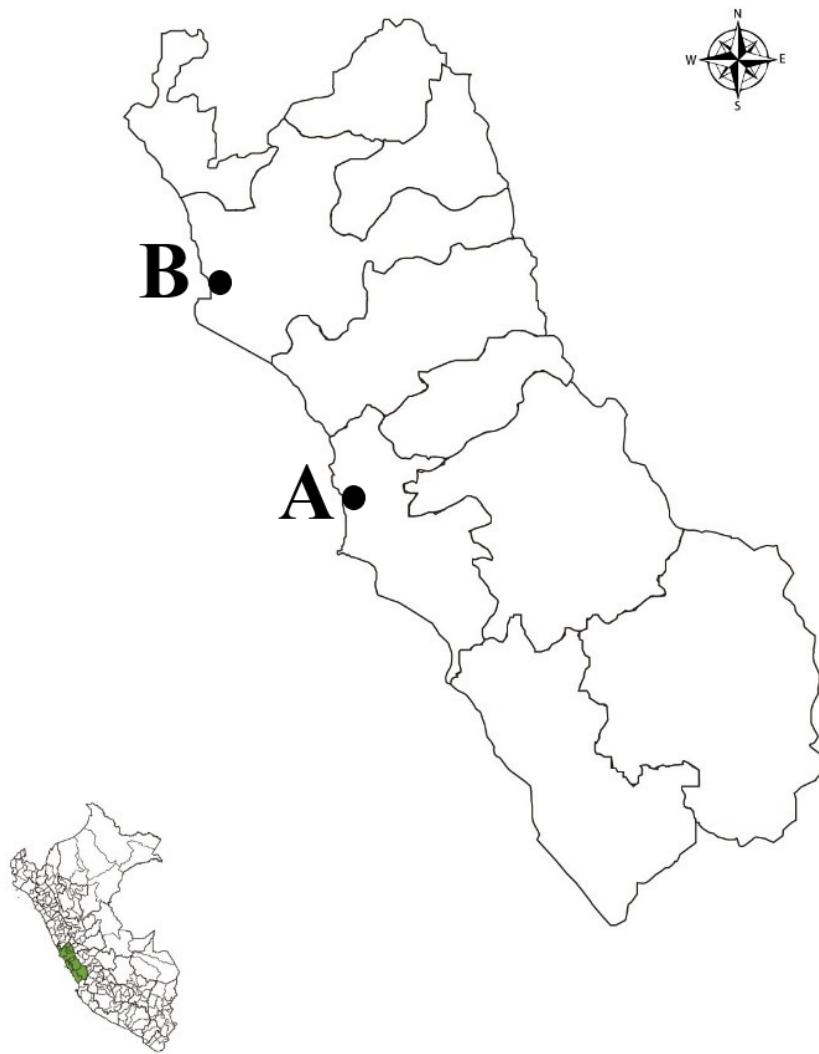


Figura 1: Mapas de las zonas de muestreo en Lima, Perú. A. Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, ubicado en la Provincia Constitucional del Callao, Distrito de Ventanilla, el punto de muestreo corresponde a 11°52'40.9"S, 77°09'02.4"W; B. Hacia el Norte, Área de Conservación Regional Humedal “El Paraíso”, ubicado en la Provincia de Huaura, Distrito de Huacho, el punto de muestreo corresponde a 11°12'27.2"S, 77°35'43.1"W ([Anthoncode, 2020](#)).

llas. Éstas fueron sometidas a diferentes concentraciones de NaCl (0 M, 0.1 M, 0.3 M y 0.58 M). Se propuso la máxima concentración de NaCl (0.58 M), porque a esa concentración se tiene una fuerza iónica similar al agua de mar ([Bustos-Serrano, 2017](#)).

Cada tratamiento tuvo tres repeticiones y cada repetición se realizó con 50 semillas. La evaluación de la germinación fue diaria por un periodo de 15 días. Las placas Petri, donde se realizó la prueba de germinación, fueron cubiertas con papel aluminio, con la finalidad de disminuir la intensidad luminosa y las semillas fueron colocadas so-

bre papel toalla humedecido con agua o con solución salina según el tratamiento.

Por cada fecha de evaluación se calculó el porcentaje de germinación ((número de semillas germinadas/número de semillas sembradas) × 100), el índice de velocidad de germinación (IVG) (número de semillas germinadas/número de días en el cual germinaron). Al final se realizó la sumatoria de todas las divisiones ([Maguire, 1962](#)). Para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95% y su análisis se realizó con el complemento estadístico del programa Excel 2016.

Propagación por esquejes

Se colectaron 36 esquejes de 6 cm de longitud, en promedio, provenientes del humedal Paraíso. Se plantaron tres esquejes en cada uno de los 12 recipientes de plástico de 250 ml de capacidad, dispuestos para su propagación. Los recipientes se situaron a un lado del invernadero. El sustrato utilizado consistió en tierra del mismo lugar de colecta para permitir una mejor aclimatación. Los esquejes se regaron con una solución nutritiva hidropónica y se mantuvieron con luz solar directa hasta su aclimatación. Se consideraron aclimatados cuando se observó crecimiento longitudinal, situación que se dio a los 15 días. Pasado ese periodo los esquejes se colocaron en bolsas de plástico con sustrato sólido (humus y tierra agrícola (1:1)), con tres esquejes por bolsa y con el mismo tratamiento salino que el de la prueba de germinación (0 M, 0.1 M, 0.3 M y 0.58 M); se mantuvieron en el mismo lugar y con luz solar directa durante cuatro meses bajo las siguientes condiciones ambientales: temperatura mínima de 17.7 °C, máxima de 21.7 °C y temperatura media de 19.7 °C.

En un diseño completamente aleatorio, con tres repeticiones y para la comparación de medias, se empleó la prueba de Tukey con un nivel de confianza de 95% y su análisis se realizó con el complemento estadístico del programa Excel 2016.

Estudio histológico

De la evaluación anterior se tomaron ramas jóvenes que estuvieron sometidas a diferentes concentraciones salinas y se les hicieron cortes a mano alzada. Se usó una modificación de la técnica de coloración directa con safranina, se clarificaron los cortes con hipoclorito de sodio al 2.5% por 15 min. Posteriormente se lavaron tres veces con agua destilada durante 10 min. La muestra fue fijada con alcohol 70° por 24 horas para luego ser lavada tres veces con agua destilada durante 10 min. La tinción se realizó con safranina diluida (1:1) por un minuto, se retiró el exceso de colorante con glicerina diluida (1:1) por 40 segundos, se adicionó una gota de glicerina diluida en una lámina, y encima de esa gota se dispuso el corte histológico. Finalmente, se añadió una gota de gelatina líquida para el sellado de la lámina. La observación de los tejidos se realizó en un microscopio Leica (DM 750, Wetzlar, Alemania) con cámara incorporada

ICC50 HD y se promediaron las medidas de los tejidos en 10 secciones de tallo.

Estudio de niveles de proteína

Cuantificación de proteínas

Se tomó, por tratamiento, 1 g de tejido de los tallos secos, se homogenizó en 20 ml de buffer Tris-HCl 0.05M pH 7.5 a 4 °C, para luego ser centrifugado a 6000 rpm durante 15 minutos en una centrífuga (Pro-Research K241R, West Sussex, Reino Unido) y las proteínas fueron cuantificadas a partir del sobrenadante mediante el método de Bradford (1976).

Purificación de proteínas

Se empleó el método de precipitación en metanol-cloroformo (Wessel y Flügge, 1984). Para este fin, a partir de 1 ml de muestra se agregaron 4 ml de metanol puro, 1 ml de cloroformo y 3 ml de agua destilada. Se mezcló y posteriormente se centrifugó a 6000 rpm por 30 min. De forma cuidadosa, se extrajo el sobrenadante y se agregaron 4 ml de metanol. La muestra se centrifugó a 6000 rpm por 30 min, se descartó el sobrenadante y se secó el pellet a 37 °C por 30 min. Finalmente, el pellet fue resuspendido en buffer de carga para PAGE-SDS.

Separación de proteínas

Se hicieron geles de poliacrilamida al 12% en condiciones desnaturalizantes, las cuales fueron mezcladas con buffer compuesto de SDS 0.1%, DTT 1 mM y azul de bromofenol. La electroforesis fue realizada a 100 V por 1 hora. Posteriormente, el gel fue teñido con Azul Brillante de Coomassie durante 30 minutos, decolorado con una mezcla de metanol, ácido acético y agua, y finalmente las bandas resultantes fueron analizadas visualmente.

Resultados

Germinación

Se puede observar que la germinación se incrementa conforme aumenta la concentración salina, pero solo hasta 0.3 M, ya que a los 0.58 M hay un descenso del porcentaje de germinación (Cuadro 1). Esto es corroborado con el dato de índice de velocidad de germinación (IVG) (Cuadro 2), donde se puede ver que la velocidad de germinación disminuye

Cuadro 1: Porcentaje de germinación de las semillas de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo en diferentes concentraciones de NaCl y en diferentes días después de la siembra (dds). Letras iguales significan que no hay diferencias y letras distintas que las diferencias son significativas ($p \leq 0.05$), también se incluyen los datos de la Desviación Estándar.

NaCl	7 dds	9 dds		17 dds	
0 M	14.7±3.4	a,b	16.0±3.3	a,b	34.0±5.9
0.1 M	18.0±5.9	a,b	18.7±6.6	a,b	38.0±14.0
0.3 M	23.3±7.4	a	27.3±3.4	a	51.3±5.7
0.58 M	4.7±3.8	b	5.3±4.7	b	11.3±10.4

Cuadro 2: Índice de velocidad de germinación (IVG) de las semillas de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo en diferentes concentraciones de NaCl. Letras iguales significan que no hay diferencias y letras distintas que las diferencias son significativas ($p \leq 0.05$).

NaCl	IVG
0 M	2.9a,b
0.1 M	3.4a,b
0.3 M	4.7a
0.58 M	1.0b

Cuadro 3: Incremento de la longitud (cm) de esquejes de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo en diferentes concentraciones de NaCl y en diferentes días después de plantados (ddp). Letras iguales significan que no hay diferencias y letras distintas que las diferencias son significativas ($p \leq 0.05$), también se incluyen los datos de la Desviación Estándar.

NaCl	0 ddp	30 ddp		120 ddp	
0 M	5.4±1.0	a	11±2.5	a	23.0±1.0
0.1 M	5.5±1.2	a	11.7±2.1	a	26.7±1.3
0.3 M	5.1±1.0	a	10.7±2.4	a	26.3±2.9
0.58 M	5.8±1.1	a	12.2±1.9	a	25.0±2.8

a la máxima concentración de NaCl, aunque no la detiene completamente.

Propagación por esquejes

No se observan diferencias significativas ($p \geq 0.05$) en el crecimiento de los esquejes, entre las diferentes concentraciones de NaCl y en todas las fechas evaluadas; es decir, los tallos de *S. neei* pueden crecer incluso si son regadas con el agua de mar (Cuadro 3).

Estudio histológico

Los cortes transversales de los tallos regados sin NaCl presentan los siguientes tejidos: epidermis monoestratificada con células de 33 μm en promedio y estomas del tipo paracítico (Fig. 2A); un parénquima subepidérmico con células alargadas (210 μm de largo), la cual incluye además haces xilemáticos que llegan hasta la epidermis (Fig. 2B); éstos

son ramas del tejido vascular más interno. En la región medular se ubica un tejido parenquimático, caracterizado por células grandes y esféricas (50 μm de diámetro). Esta misma anatomía se encontró para todos los tallos que fueron regados con diferentes concentraciones de NaCl, con la principal diferencia de que la cantidad de ramas de xilema cortical aumentó con la concentración salina, así como también la cantidad de tejido esclerenquimático se incrementó en la zona medular (Figs. 3A, B). Además, en los tallos que se encuentran en estructura secundaria se aprecia un tejido aerenquimático en la zona cortical (Fig. 4).

Estudios de niveles de proteína

Cuantificación de proteínas

No se observan diferencias significativas entre los tratamientos ($p \geq 0.05$), a los 120 días después de plantado, en

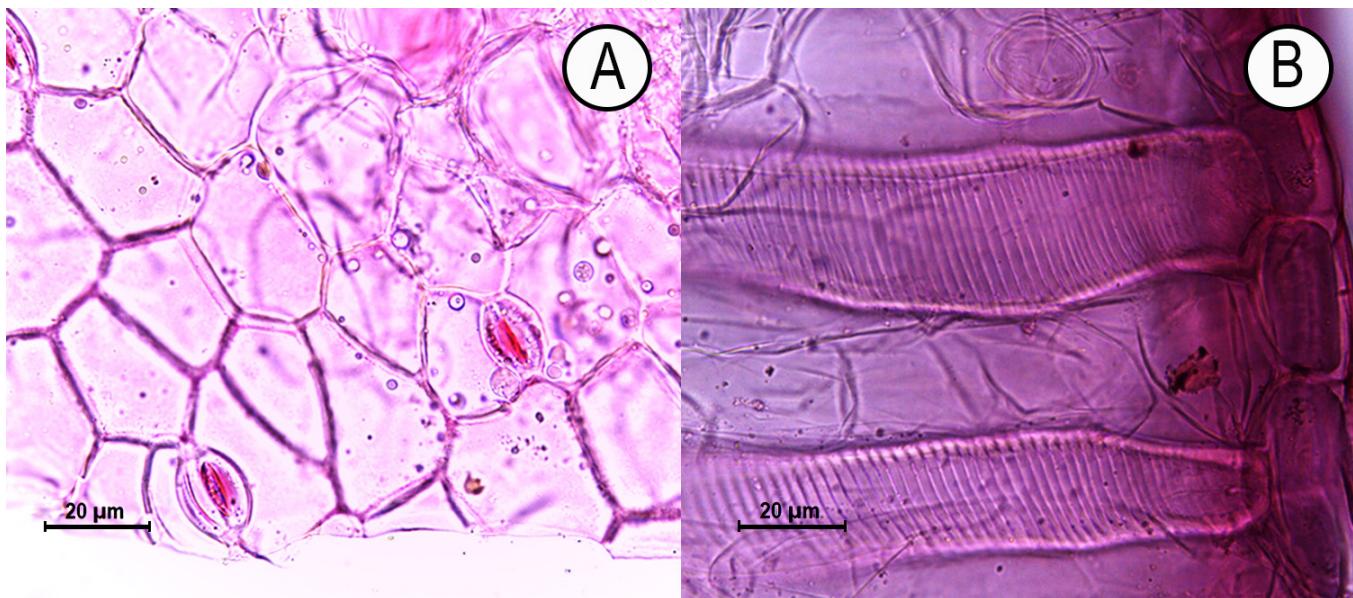


Figura 2: Corte transversal de tallo joven de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo. A. epidermis con estomas del tipo paracítico; B. los vasos xilemáticos corticales llegando hasta la epidermis. 400x.

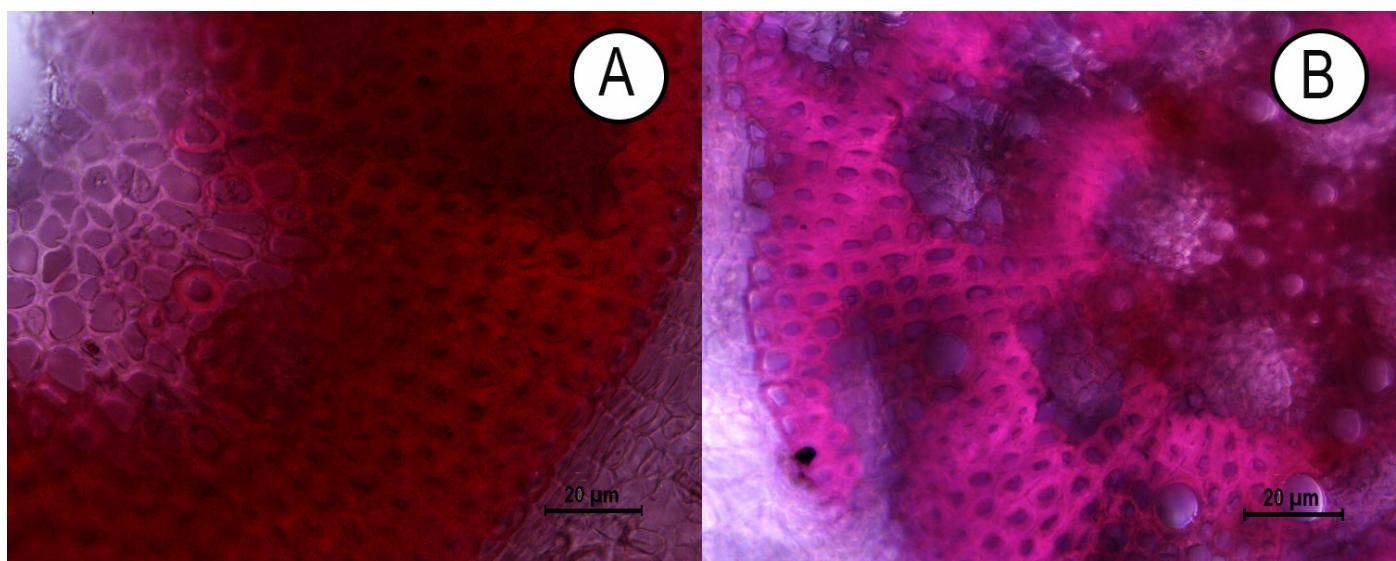


Figura 3: Comparación de corte transversal de tallo *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo, mostrando las variaciones del esclerénquima en la zona medular. A. tratamiento sin NaCl; B. tratamiento 0.58 M de NaCl. 100x.

los tallos de *S. neei* sometidos a diferentes concentraciones de NaCl (**Cuadro 4**).

Purificación y separación de proteínas

Después de purificar y separar las proteínas en gel de poliacrilamida se observó un incremento de proteínas de bajo peso molecular en el tratamiento con la más alta concentración de NaCl (**Fig. 5**).

Discusión

Sarcocornia neei es una especie halófita que presenta adaptaciones tanto anatómicas, como es la ausencia de hojas, pues sus tallos son suculentos fotosintetizadores, como también histológicas, pues se observa disposición de vasos xilemáticos debajo de la epidermis. Por otro lado, la especie presenta la capacidad de germinar en concentraciones de cloruro de sodio tan altas como la equivalente al agua

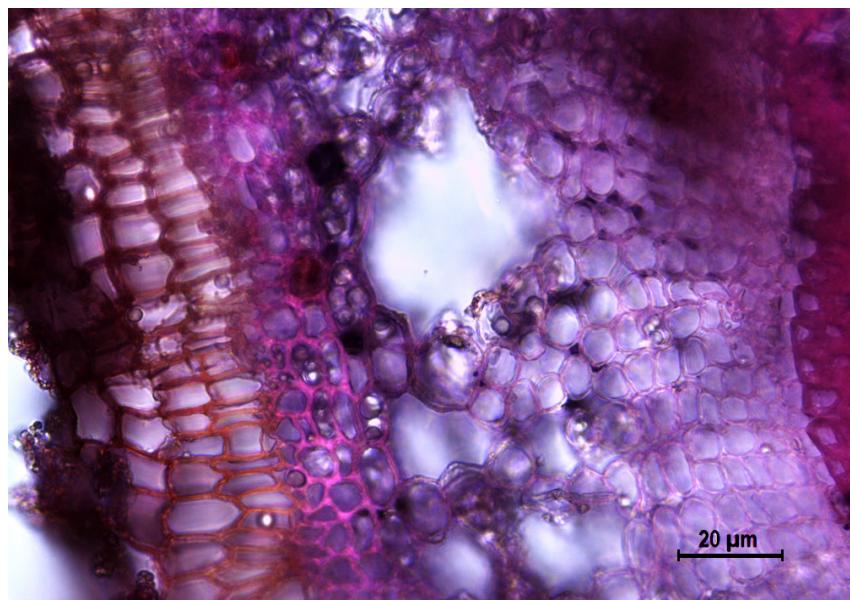


Figura 4: Tallo de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo, en estructura secundaria mostrando el tejido aerenquimático en la zona cortical. 400x.

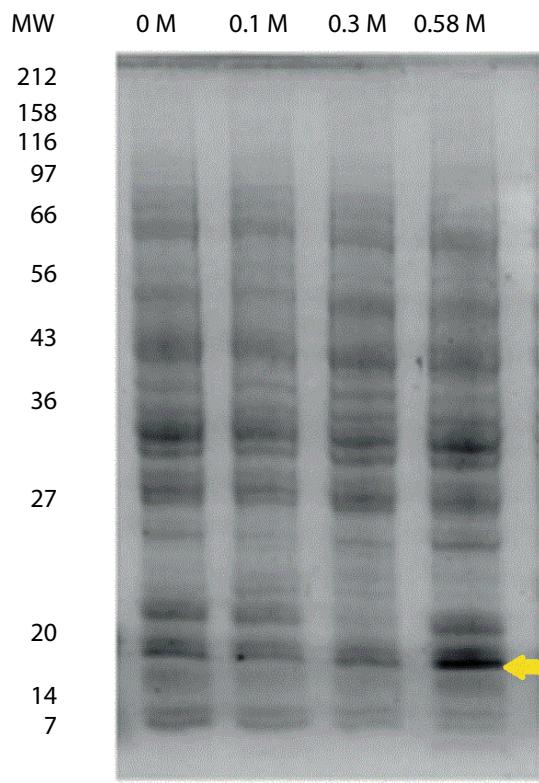


Figura 5: Patrón de SDS-PAGE de las proteínas de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo, bajo diferentes concentraciones de NaCl. Los marcadores moleculares de masa (1), y las muestras respectivas a diferentes concentraciones 0, 0.1, 0.3, 0.58 M de NaCl (2 a 5). MW=Peso molecular. En el último carril se observan algunas de las bandas de proteínas de bajo peso molecular expresadas en mayor proporción (flecha amarilla).

Cuadro 4: Concentración de proteínas en los tallos de *Sarcocornia neei* (Lag.) M.Á. Alonso & M.B. Crespo, crecidas en diferentes concentraciones de NaCl.

NaCl	Concentración de proteína (μg/g de tejido)
0 M	4.2a
0.1 M	3.8a
0.3 M	3.9a
0.58 M	4.1a

de mar, así como la posibilidad de elongar sus ramas a esa misma concentración salina, pero con un incremento de proteínas de bajo peso molecular. Todo esto nos hace pensar que su forma de sobrevivir es permitiendo el ingreso del cloruro de sodio desde la raíz para luego transportarlo vía el xilema hacia todo su cuerpo, y el excedente liberarlo al ambiente a través de los estomas caulinares. Para poder mantener su homeostasis hace uso de proteínas de bajo peso molecular.

La germinación de las semillas de *Sarcocornia neei* disminuye con la concentración de NaCl (0.58 M), que es equivalente a la concentración de NaCl del agua de mar,

aunque no llega a ser inhibida (**Cuadros 1, 2**). Sin embargo, a la concentración de 0.3 M se encuentra el mayor porcentaje de germinación, a los 17 días después de sembrado (**Cuadro 1**). Este es un comportamiento característico de muchas especies de la familia Amaranthaceae en donde más de la mitad de sus especies son halófitas (**Glenn y Brown, 1999**). Sigue de manera similar en la germinación de *Chenopodium quinoa* Willd. (**Jacobsen et al., 1997; Chilo et al., 2009; Hariadi et al., 2011**) y en *Sarcocornia perennis* (Mill.) A.J. Scott, *Atriplex portulacoides* L., *Sarcocornia fruticosa* (L.) A.J. Scott, *Salicornia ramosissima* J. Woods, *Arthrocnemum macrostachyum* (Moric.) K. Koch, *Salsola vermiculata* L. y *Sarcocornia alpini* (Lag.) Castrov. (**Muñoz-Rodríguez et al., 2017**). Sin embargo, no todas las especies de esta familia presentan esta característica, es el caso de *Kalidium caspicum* (L.) Ung.-Sternb. (**Qu et al., 2008**) o el de *Chenopodium pallidicaule* Aellen (**La Rosa et al., 2016**), cuya germinación es inhibida totalmente a concentraciones de NaCl entre 0.2 M y 0.5 M, respectivamente.

Los esquejes de *Sarcocornia neei* muestran que esta especie puede crecer en altas concentraciones de NaCl (**Cuadro 3**), lo cual se debe a que bajo condiciones salinas se activan proteínas que están relacionadas con la obtención de energía, a fin de reforzar su tolerancia y evitar que el estrés salino detenga su crecimiento tal como sucede en *Salicornia europaea* L. (**Wang et al., 2009**), caña de azúcar (**Chiconato et al., 2019**), *Suaeda salsa* (**Guo et al., 2019**) y tomate (**Pérez-Labrada et al., 2019**).

La concentración de proteínas en sus tallos se mantiene constante en todos los tratamientos de NaCl, así como el incremento de fibras esclerénquimáticas conforme esta última aumenta. Esto resulta en que *S. neei* sea una especie promisoria para ser domesticada y ser usada como verdura para consumo humano o animal, y porque en Perú no figura como especie amenazada, tal como se hace con algunas especies de *Salicornia* y de *Sarcocornia* que ya son usadas para consumo humano (**Ventura y Sagi, 2013**), aunque cuidando que el entorno de las raíces no esté contaminado con metales pesados (**Riquelme et al., 2016; Meza et al., 2018**). Por esta razón es muy importante conocer la fisiología y la bioquímica de las especies halófitas (**Shuyskaya et al., 2014**).

La succulencia de los tallos estaría dada por un ingreso de la sal en las células parenquimáticas con la finalidad de diluir su concentración, tal como sucede con *Salicornia fruticosa* (**Duarte et al., 2013**), aunque **Kosová et al. (2013)** afirman que debido a que la eliminación de Na⁺ no es suficiente, este ión es introducido a las células mediante el “secuestro vacuolar”; o también, que los niveles de K⁺ pueden disminuir, tal como en *S. europaea* (**Wang et al., 2009; Wang et al., 2015**). De esta forma se puede disminuir el potencial hídrico de la planta y absorber agua (**Wang et al., 2015**).

La histología muestra que los tallos de esta especie presentan adaptaciones importantes, como la presencia de una cutícula delgada sobre la epidermis, con estomas paracíticos (**Fig. 2 A**), característica propia del género (**De la Fuente et al., 2015**), que le permiten no solo vivir en ambientes salinos, sino también en ambientes inundados.

Otro hecho importante es el número de vasos xilemáticos que salen del sistema vascular interno del tallo y que llegan hasta la zona subepidérmica (**Fig. 2B**). Éstos podrían expulsar el exceso de sal a través de los estomas, debido a la ausencia de glándulas salinas, a diferencia de otras Amarantáceas que sí presentan estas glándulas, como es el caso de *Chenopodium quinoa* (**La Rosa et al., 2008**). Además, las glándulas salinas también servirían como una estructura de defensa frente a los herbívoros (**LoPresti, 2014**), aunque **Fahn (1988)** afirma que las glándulas salinas no están conectadas a los haces vasculares.

Los tallos jóvenes y los que tienen estructura secundaria (**Figs. 3A, B**) no presentan un tejido colenquimático, que sí está presente en otras Amarantáceas halófitas como *Salsola soda* L. (**Milić et al., 2013**) o *Suaeda maritima* (L.) Dumort (**Polić et al., 2009**). Además, se observa una mayor formación y lignificación de vasos xilemáticos en los tallos de las plantas bajo salinidad, lo que favorecería el flujo dirigido por la transpiración y la acumulación de la sal como se observa en *Salicornia europaea* L. (**Wang et al., 2009**) o el incremento del desarrollo de los vasos xilemáticos por la síntesis de la enzima metionina sintasa en las hojas de *Halogeton glomeratus* (M. Bieb.) Ledeb. (**Wang et al., 2015**).

Finalmente, se observó que el tejido aerenquimático está en la zona cortical (**Fig. 3**) y no en la zona medular

como ocurre en *Allenrolfea patagonica* (Moq.) Kuntze (Pérez y Hermann, 2014), lo que nos indica que *S. neei* puede vivir en suelos sobresaturados de agua.

Si bien no hay diferencias significativas en la concentración de proteínas totales entre los diferentes tratamientos de sal (Cuadro 4), sí podemos observar el incremento de la banda correspondiente a las proteínas de bajo peso molecular (alrededor de 20 KDa) (Fig. 5), como consecuencia de las altas concentraciones de NaCl (0.58 M), que son sintetizadas para poder sobreponerse a la condición estresante; revelando así, la actividad de las plantas tolerantes (Kosová et al., 2013). Estas proteínas pueden ser, por ejemplo, las que se sintetizan para contrarrestar la actividad de las especies reactivas de oxígeno (ROS) que se forman por un estrés oxidativo (Duarte et al., 2013). También puede ser la presencia de proteínas del tipo LEA que funcionan como osmoprotectores (Kosová et al., 2013), o la síntesis de chaperonas de la familia HSP (Wang et al., 2009), o para mantener los niveles de fijación de CO₂ constantes (Fan et al., 2011).

Conclusiones

Sarcocornia neei es una halófita que para poder vivir en este ambiente extremo modifica su anatomía y fisiología, ya sea incrementando la succulencia o aumentando el crecimiento de vasos xilemáticos para llevar el exceso de sales al exterior de la planta. Además, contrarresta los efectos negativos de la salinidad haciendo uso de proteínas de bajo peso molecular.

De acuerdo con las respuestas de propagación de la especie, ya sea por semillas o por esquejes en condiciones de invernadero, podemos afirmar que *S. neei* puede ser cultivada en terrenos calificados como salinos. También podemos afirmar, por los datos histológicos y de proteínas, que podría ser consumida tanto por humanos como por animales o como planta fitoremediadora.

Contribución de autores

RLR y AF concibieron y diseñaron el estudio. RLR realizó los análisis y escribió el manuscrito con la ayuda de AF y MC. GF, MA, HZ, LA, NV, CH y GS contribuyeron con la adquisición de datos y la interpretación de los resultados. Todos los autores contribuyeron con la discusión, revisión y aprobación del manuscrito final.

Financiamiento

Este estudio fue apoyado económicamente por el Vice Rectorado de Investigación y Posgrado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, aprobado con RR N° 01435-R-15 para grupos de estudio de alumnos de pregrado.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a las autoridades del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla por el permiso para realizar las colectas de *Sarcocornia neei*. También agradecen a Eleucy Pérez Tuesta, jefe del Laboratorio de Anatomía y Farmacognosia Vegetal de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por facilitarnos las instalaciones del laboratorio para la ejecución del presente trabajo; a Shirley Chanduví y Kevin Martel por su colaboración en el desarrollo del mismo.

Literatura citada

- Alonso, M. A. y M. B. Crespo. 2008. Taxonomic and nomenclatural notes on South America taxa of *Sarcocornia* (Chenopodiaceae). Annales Botanici Fennici 45(4): 241-254.
- Anthoncode. 2020. Mapa de Lima de Anthoncode blog. <https://anthoncode.com/mapa-del-peru-y-departamentos-para-colorear> (consultado junio de 2020).
- Aponte, H. y A. Cano. 2013. Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): actualización y nuevos retos para su conservación. Revista Latinoamericana de Conservación 3(2): 15-27.
- Aponte, H. y D. W. Ramírez. 2014. Riqueza florística y estado de conservación del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Callao, Perú. The Biologist (Lima) 12(2): 283-295.
- Aponte, H. y D. W. Ramírez-Huaroto. 2011. Humedales de la costa central del Perú: estructura y amenazas de sus comunidades vegetales. Ecología Aplicada 10(1): 31-39.
- Aponte, H., W. Ramírez, G. Lértora, R. Vargas, F. Gil, N. Carazas y R. Liviac. 2015. Incendios en los humedales de la costa central del Perú: ¿una amenaza frecuente? Científica 12(1): 70-81.
- Arana, C. y L. Salinas. 2003. Flora vascular de los Humedales de Chimbote, Perú. Revista Peruana de Biología 10(2): 221-224.

- Bradford, M. 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.
- Bustos-Serrano, H. 2017. Manual de Prácticas de Laboratorio en Oceanografía Química 2017-1. Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México. 137 pp.
- Costa, C., J. Vicenti, J. Morón-Villarreyes, S. Caldas, L. Cardoso, R. Freitas y M. D'oca. 2014. Extraction and characterization of lipids from *Sarcocornia ambigua* meal: a halophyte biomass produced with shrimp farm effluent irrigation. Anais da Academia Brasileira de Ciências 86(2): 935-943. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130022>
- Chiconato, D. A., G. Sousa, D. Mathias y R. Munns. 2019. Adaptation of sugarcane plants to saline soil. Environmental and Experimental Botany 162: 201-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.021>
- Chilo, G., M. Vacca, R. Carabajal y M. Ochoa. 2009. Efecto de la temperatura y salinidad sobre la germinación y crecimiento de plántulas de dos cultivares de *Chenopodium quinoa*. Agriscientia 26: 15-22.
- De La Fuente, V., L. Rufo, N. Rodríguez, D. Sánchez-Mata, A. Franco y R. Amils. 2015. A study of *Sarcocornia* A.J. Scott (Chenopodiaceae) from Western Mediterranean Europe, Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology 150(2): 343-356. DOI: <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1022239>
- D'oca, M., J. Morón-Villarreyes, J. Lemões y C. Costa. 2012. Fatty acids composition in seeds of the South American glasswort *Sarcocornia ambigua*. Anais da Academia Brasileira de Ciências 84(3): 865-870. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0001-37652012005000044>
- Duarte, B., D. Santos, J. C. Marques e I. Caçador. 2013. Ecophysiological adaptations of two halophytes to salt stress: Photosynthesis, PS II photochemistry and anti-oxidant feedback - Implications for resilience in climate change. Plant Physiology and Biochemistry 67: 178-188. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2013.03.004>
- Fan, P., J. Feng, P. Jiang, X. Chen, H. Bao, L. Nie, D. Jiang, S. Lv, T. Kuang y Y. Li. 2011. Coordination of carbon fixation and nitrogen metabolism in *Salicornia europaea* under salinity: Comparative proteomic analysis on chloroplast proteins. Proteomics 11(22): 4346-4367. DOI: <https://doi.org/10.1002/pmic.201100054>
- Fahn, A. 1988. Secretory tissues in vascular plants. New Phytologist 108: 229-257.
- Fajardo, N., H. Solís y F. G. Villacres. 2017. Determinación de metales pesados en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Región Callao, Perú. Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM 20(39): 149-158.
- García, E. y M. Lleellish. 2011. Estimación espacial de la evapotranspiración usando imágenes de satélite Landsat y el modelo SEBAL en el humedal Paraíso, Huacho. Revista Peruana Geo-atmosférica RPGA 3: 73-81.
- Glenn, E. P. y J. Brown. 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. Critical Reviews in Plant Sciences 18(2): 227-255. DOI: <https://doi.org/10.1080/07352689991309207>
- Guo, S-M., Y. Tan, H-J. Chu, M-X. Sun y J-C. Xing. 2019. Transcriptome sequencing revealed molecular mechanisms underlying tolerance of *Suaeda salsa* to saline stress. PLoS ONE 14(7): e0219979. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219979>
- Hariadi, Y., K. Marandon, Y. Tian, S. Jacobsen y S. Shabala. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. Journal of Experimental Botany 62(1): 185-193. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>
- Jacobsen, S., A. Mujica y O. Stlen. 1997. Tolerancia de la quinua a la sal durante la germinación. Agronomía Tropical 48: 359-366.
- Kosová, K., I. T. Prásil y P. Vítámvás. 2013. Protein Contribution to Plant Salinity Response and Tolerance Acquisition. International Journal of Molecular Sciences 14(4): 6757-6789. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms14046757>
- La Rosa, R., E. Anaya, Z. Flores, M. Bejarano, L. Brito y E. Pérez. 2016. Germinación de *Chenopodium pallidicaule* Aelle "kañiwa" bajo diferentes condiciones de salinidad y temperatura. The Biologist (Lima) 14(1): 5-10. DOI: <https://doi.org/10.24039/rbt201614180>
- La Rosa, R., Y. Macabilca, A. Mendoza y A. Gutiérrez. 2008. Respuestas de la quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) a dos condiciones de riego en costa. The Biologist (Lima) 6(1): 13-21.
- León, B., K. R. Young y A. Cano. 1996. Observaciones sobre la flora vascular de la Costa Central del Perú. Arnaldoa 4(1): 67-85.

- Lonard, R. I., F. W. Judd y R. Stalter. 2012. The Biological Flora of Coastal Dunes and Wetlands: *Salicornia bigelovii* J. Torrey. Journal of Coastal Research 28(3): 719-725. DOI: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-11-00125.1>
- LoPresti, E. F. 2014. Chenopod salt bladders deter insect herbivores. Oecologia 174: 921-930. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-013-2827-0>
- Maguire, D. 1962. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science 2: 176-177.
- Meza, V., C. Lillo, D. Rivera, E. Soto y R. Figueroa. 2018. *Sarcocornia neei* as an Indicator of Environmental Pollution: A Comparative Study in Coastal Wetlands of Central Chile. Plants 7: 1-9. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7030066>
- Milić, D., J. Luković, L. Zorić y L. Merkulov. 2013. Structural adaptation of *Salsola soda* L. (Chenopodiaceae) from inland and maritime saline area. Journal of Natural Science, Matica Srpska Novi Sad 125: 55-67. DOI: <https://doi.org/10.2298/ZMSPN1325055M>
- Muñoz-Rodríguez, A. F., I. San José, B. Márquez-García, M. D. Infante-Izquierdo, A. Polo-Ávila, F. J. Nieva y J. M. Castillo. 2017. Germination syndromes in response to salinity of Chenopodiaceae halophytes along the intertidal gradient. Aquatic Botany 139: 48-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2017.02.003>
- Pérez, V. y P. M. Hermann. 2014. Anatomía foliar y caulinar de tres *Salicornieae* (Chenopodiaceae) halófilas argentinas. Phyton 83: 369-377.
- Pérez-Labrada, F., E. López-Vargas, H. Ortega-Ortiz, G. Cadenas-Pliego, A. Benavides-Mendoza y A. Juárez-Maldonado. 2019. Responses of Tomato Plants under Saline Stress to Foliar Application of Copper Nanoparticles. Plants 8(151): 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060151>
- Polić, D., J. Luković, L. Zorić, P. Boža, L. Merkulov y A. Knežević. 2009. Morpho-anatomical differentiation of *Suaeda maritima* (L.) Dumort 1827 (Chenopodiaceae) populations from inland and maritime saline area. Central European Journal of Biology 4(1): 117-129. DOI: <https://doi.org/10.2478/s11535-008-0060-3>
- Qu, X., J. M. Baskin, L. Wang y Z. Huang. 2008. Effects of cold stratification, temperature, light and salinity on seed germination and radicle growth of the desert halophyte shrub, *Kalidium capsicum* (Chenopodiaceae). Plant Growth Regulation 54: 241-248. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-007-9246-3>
- Riquelme, J., J. O. Olaeta, L. Gálvez, P. Undurraga, C. Fuentealba, A. Osses, J. Orellana, J. Gallardo y R. Pedreschi. 2016. Nutritional and functional characterization of wild and cultivated *Sarcocornia neei* grown in Chile. Ciencia e Investigación agraria 43(2): 283-293. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-16202016000200011>
- Shuyskaya, E. V., E. V. Li, Z. F. Rahmankulova, N. A. Kuznetsova, K. N. Toderich y P. Y. Voronin. 2014. Morphophysiological adaptation aspects of different *Haloxylon aphyllum* (Chenopodiaceae) genotypes along a salinity gradient. Russian Journal of Ecology 45(3): 181-187. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1067413614030114>
- Ventura, Y. y M. Sagi. 2013. Halophyte crop cultivation: The case for *Salicornia* and *Sarcocornia*. Environmental and Experimental Botany 92: 144-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.010>
- Ventura, Y., W. A. Wuddineh, M. Myrzabayeva, Z. Alikulov, I. Khozin-Goldberg, M. Shpigel, T. M. Samocha y M. Sagi. 2011. Effect of seawater concentration on the productivity and nutritional value of annual *Salicornia* and perennial *Sarcocornia* halophytes as leafy vegetable crops. Scientia Horticulturae 128: 189-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.02.001>
- Wang, X., P. Fan, H. Song, X. Chen, X. Li y Y. Li. 2009. Comparative Proteomic Analysis of Differentially Expressed Proteins in Shoots of *Salicornia europaea* under Different Salinity. Journal of Proteome Research 8(7): 3331-3345. DOI: <https://doi.org/10.1021/pr801083a>
- Wang, J., Y. Meng, B. Li, X. Ma, Y. Lai, E. Si, K. Yang, X. Xu, X. Shang, H. Wang y D. Wang. 2015. Physiological and proteomic analyses of salt stress response in the halophyte *Halopeplon glomeratus*. Plant, Cell and Environment 38: 655-669. DOI: <https://doi.org/10.1111/pce.12428>
- Wessel, D. y U. I. Flügge. 1984. A method for the quantitative recovery of protein in dilute solution in the presence of detergents and lipids. Analytical Biochemistry. 138(1): 141-143. DOI: [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(84\)90782-6](https://doi.org/10.1016/0003-2697(84)90782-6)