

Especies tolerantes al boro en sitios impactados por la actividad de la industria boratera

Boron tolerant species in sites impacted by the borate industry

Celia Carolina Zimicz^{1*}, Alicia Susana Moretto^{1, 2}

RESUMEN

La contaminación por boro constituye un importante problema en regiones áridas y semiáridas del mundo. En la provincia de Salta (Argentina) la presencia de boro en suelos y cursos de agua ha sido bien documentada. En el Valle de Lerma (Salta) la actividad de la industria boratera ha dejado sitios con concentraciones tóxicas de boro en suelo, que limitan el crecimiento de la vegetación. El objetivo de este estudio fue caracterizar la vegetación de un área con registros históricos de elevados contenidos de boro en suelo, a fin de identificar especies tolerantes con potencial fitoestabilizador. Se realizaron 20 censos mensuales (período junio 2015-enero 2017) en un sitio altamente contaminado por boro ubicado en la ciudad de Salta. Se identificaron las especies presentes, se les clasificó de acuerdo a su porte y ciclo de vida, y se registraron datos sobre su cobertura. Se detectaron 11 especies herbáceas (*Alternanthera pungens*, *Chenopodium album*, *Lepidium bonariensis*, *Cynodon dactylon*, *Setaria* sp., *Chloris virgata*, *Taraxacum officinale*, *Clematis montevidensis*, *Spharalcea bonariensis*, *Heliotropium curassavicum* y *Nicotiana longiflora*) y 2 arbustivas (*Nicotiana glauca* y *Tamarix ramosissima*). *Cynodon*, *Setaria*, *Alternanthera* y *Nicotiana* fueron los géneros con mayor cobertura. Dadas las características de *Tamarix ramosissima* (tolerancia al estrés salino, buen desarrollo del sistema radical, glándulas de sal), se proponen estudios posteriores para evaluar su capacidad como especie fitoestabilizadora. Este trabajo constituye uno de los primeros estudios de campo en los que se evalúa la vegetación que se desarrolla naturalmente en un área fuertemente impactada por la contaminación por boro de la provincia de Salta (Argentina). Los resultados obtenidos sugieren que las especies identificadas tendrían potencial fitoestabilizador y que por ende sería factible emplearlas para revegetar el área de estudio con fines de restauración.

Palabras clave: Salta, contaminación, boro, vegetación, potencial fitoestabilizador.

ABSTRACT

*Boron pollution is a major problem in arid and semi-arid regions around the world. In the Province of Salta (Argentina), the presence of boron in soils and watercourses has been well documented. In the Lerma Valley (Salta), the activity of the borate industry has left sites with toxic concentrations of boron in soil, which limit vegetation growth. The objective of this study was to characterize the vegetation of an area with historical records of high soil boron concentrations, in order to identify tolerant species with phytostabilizing potential. Twenty monthly censuses were conducted (June 2015- January 2017) in a site highly contaminated by boron located in Salta city. The species present were identified, classified according to their habit and life cycle, and data were recorded on their cover. Eleven herbaceous species (*Alternanthera pungens*, *Chenopodium album*, *Lepidium bonariensis*, *Cynodon dactylon*, *Setaria* sp., *Chloris virgata*, *Taraxacum officinale*, *Clematis montevidensis*, *Spharalcea bonariensis*, *Heliotropium curassavicum* and *Nicotiana longiflora*) and two shrub species (*Nicotiana glauca* and *Tamarix ramosissima*) were identified. *Cynodon*, *Setaria*, *Alternanthera* and *Nicotiana* were the genera with the highest cover. Given the characteristics of *Tamarix ramosissima* (salt stress tolerance, good development of root system, salt glands), further studies are proposed to evaluate its capacity as a phytostabilizing species. The present study is one of the first field studies to evaluate the vegetation that develops naturally in an area heavily impacted by boron contamination in the Province of Salta (Argentina). The results obtained suggest that the identified species would have phytostabilizing potential and therefore could be feasible to be used to revegetate the study area for restoration purposes.*

Keywords: Salta, pollution, boron, vegetation, phytostabilizing potential.

¹ Instituto de Ciencias Polares, Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Nacional de Tierra del Fuego, Ushuaia, Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur Argentina.

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

* Autor de correspondencia: cczimicz@untdf.edu.ar

Introducción

Las actividades antrópicas han constituido históricamente una fuente de contaminación ambiental. En el caso particular de la contaminación por boro, las actividades que más contribuyen a los incrementos de este elemento en el ambiente son, en primer lugar, la extracción y procesamiento de boratos, el uso excesivo de fertilizantes y el empleo de aguas de riego o enmiendas con elevados tenores (Nable *et al.*, 1997).

La provincia de Salta (ubicada al noroeste de Argentina) constituye el principal productor de boratos de América Latina y el tercero a nivel mundial (Moraga *et al.*, 2014). Ya sea por cuestiones inherentes a las tareas de extracción y procesamiento (transporte, generación de residuos, etc.) o por falta de regulación y controles, la actividad de la industria boratera en esta provincia ha producido contaminación de suelos y cursos de agua, registrándose contenidos de boro que superan ampliamente los niveles de toxicidad permisibles para la salud humana y tolerancia de la mayoría de las especies vegetales (Lomniczi *et al.*, 1997; Velasco *et al.*, 2007; Albarracín Franco y otros, 2008; Moraga *et al.*, 2014; Walter, 2018, 2019) (Tabla 1). En la región del Valle de Lerma (ubicada en el centro geográfico de Salta), la industria boratera ha tenido un desarrollo importante y los efectos de su contaminación han quedado evidenciados a través de diferentes estudios (Bundschuh, 1992; Lomniczi *et al.*, 2007; Albarracín Franco *et al.*, 2008; Moraga *et al.*, 2014).

La contaminación por boro en suelos y cursos de agua amenaza la diversidad de especies vegetales en regiones áridas y semiáridas alrededor del mundo (Rámila *et al.*, 2016). Se ha observado que en sitios impactados por la actividad de la industria del boro, se establece una relación inversa entre

el número de especies vegetales y el contenido de boro presente en un suelo (Türe y Bell 2004; Ozturk *et al.*, 2010). Türe y Bell (2004) observaron que en áreas ubicadas al noroeste de Turquía con contenidos de boro en suelo en el rango 0,1-2,0 mg/kg, el número de especies detectadas fue 84, mientras que en aquellas zonas con concentraciones de 10 mg/kg y 35 mg/kg sólo se registraron 28 y 2 especies para cada concentración de boro en suelo, respectivamente. Entre los géneros que han sido reportados en sitios con altos contenidos de boro en suelo, se pueden mencionar *Gypsophila*, *Puccinellia*, *Catapodium*, *Chenopodium*, *Plantago*, *Amaranthus*, *Tamarix* y *Cynodon* (Babaoglu *et al.*, 2004; Türe y Bell 2004; Ozturk *et al.*, 2010).

Debido a que la contaminación por boro representa un grave problema ambiental, se requiere de técnicas que reduzcan la concentración de este elemento en suelos y cursos de agua o los efectos de su toxicidad. Las tecnologías tradicionales de remoción de boro en suelos (lixiviado, reemplazo de suelos) suelen ser costosas e inaplicables en regiones áridas y semiáridas (Rámila *et al.*, 2016), donde el agua representa un recurso limitado. Una de las alternativas de saneamiento planteadas para este tipo de ambientes ha sido la fitorremediación, una técnica basada en la capacidad natural que poseen ciertas especies vegetales y los microorganismos asociados a ellas para reducir la concentración de un contaminante en un suelo u otro sustrato o los efectos de su toxicidad (Evangelou *et al.*, 2015). Las estrategias de fitorremediación que han sido estudiadas en las últimas décadas para tratar sitios contaminados con boro se pueden incluir en tres categorías: fitoextracción, fitomanejo y fitorestauración (Rámila *et al.*, 2016).

- *Fitoextracción*: consiste en la remoción de un contaminante del suelo mediante la utilización de plantas con capacidad para absorber dicho contaminante a través de sus raíces y acumularlo en la porción aérea, la que luego es cosechada.
- *Fitomanejo*: se basa en la utilización de plantas y enmiendas para reducir el riesgo ambiental que representa un sitio contaminado, al tiempo que se usa la biomasa generada para obtener un beneficio económico.
- *Fitorestauración*: consiste en revegetar con plantas tolerantes un sitio contaminado, lo que incrementa el contenido de materia orgánica del suelo, mejora sus propiedades y favorece el

Tabla 1. Valores máximos de boro permitidos por la legislación argentina.

Niveles guía nacionales de calidad	
Agua (mg/L)	
Consumo humano	1
Irrigación	0,5
Consumo de ganado	5
Suelo (mg/kg de peso seco)	
Uso agrícola	2

desarrollo de microorganismos asociados a las raíces, favoreciendo el establecimiento posterior de otras especies vegetales (Rámila *et al.*, 2016).

A nivel mundial se han evaluado especies como *Salsola soda*, *Ricinus communis* L., *Gypsophila sphaerocephala*, *Populus* sp. y *Stizolobium aterrimum*, encontrando buenos resultados en términos de tolerancia al boro y acumulación de este elemento en tejidos (Babaoglu *et al.*, 2004; Robinson *et al.*, 2007; Aparecida de Abreu *et al.*, 2012; Centofanti y Bañuelos, 2015; Costa *et al.*, 2019). En el caso particular de la provincia de Salta, se ha evaluado la tolerancia experimental de 18 especies vegetales: *Acacia aroma*, *Acacia caven*, *Acacia praecox*, *Aspidosperma quebracho blanco*, *Bahuinia forticata*, *Canna indica*, *Caesalpinia paraguariensis*, *Crotalaria insignis*, *Crotalaria micans*, *Dichondra sericea*, *Jacaranda mimosifolia*, *Nicotiana glauca*, *Opuntia* sp., *Sesbania punicea*, *Tecoma stans*, *Medicago sativa*, *Spinacea oleracea* l. y *Lolium multiflorum* Lam (Albarracín Franco *et al.*, 2007).

En el contexto actual de creciente interés en el uso de especies tolerantes al boro para la remediación de sitios contaminados con este elemento (Rámila *et al.*, 2016), el objetivo del estudio fue caracterizar la vegetación (especie, porte, ciclo de vida, cobertura) de un área con registros históricos de elevados tenores de boro en suelo, a fin de identificar especies tolerantes con potencial fitoestabilizador. Se espera que los resultados generados provean información útil para futuras investigaciones que analicen la factibilidad de implementar fitoestabilización para la restauración del área de estudio.

Material y métodos

Área de estudio

El área de estudio comprende 6 hectáreas ubicadas en la zona sur de la ciudad de Salta (24°50' S; 65°26' O) (Figura 1). El suelo de este terreno posee pH 8,1, contenido de materia orgánica de 2,8%, elevada salinidad y alto contenido de boro



Figura 1. Localización del área de estudio. En los cuadros inferiores se observa la ubicación de la ciudad de Salta (círculo blanco, figura izquierda) y del área de estudio (círculo blanco, figura derecha). En el cuadro superior, el área delimitada por líneas blancas representa el área de estudio.

(4500 mg/kg de suelo) (Moraga *et al.*, 2014). En términos generales, se observó que el área estaba fuertemente degradada, con evidentes signos de abandono, presencia de residuos y señales de intervención antrópica (tráfico peatonal intenso).

El clima característico de la región es mesotermal subhúmedo con estación seca y poca variación de temperatura a lo largo del año (Burgos y Vidal, 1951). La estación húmeda abarca el período comprendido entre los meses de noviembre y marzo, mientras que la estación seca se extiende de abril a octubre. Los vientos superficiales son principalmente del noroeste, tanto en la estación seca como en la húmeda, y la precipitación media anual se encuentra en el rango 700-800 mm (Romero Orué *et al.*, 2017). En la Tabla 2 se presentan los datos de precipitaciones mensuales y anuales para el período comprendido en este estudio.

Tabla 2. Datos de precipitaciones mensuales (mm) para los años comprendidos en este estudio (Estación Experimental Agropecuaria Cerrillos, Salta).

	Precipitación mensual (mm)
2015 (Pp. anual: 685,5 mm)	
Enero	121,4
Febrero	185,7
Marzo	205,5
Abril	28,2
Mayo	3,8
Junio	5,6
Julio	8,9
Agosto	8,6
Septiembre	2,5
Octubre	12,2
Noviembre	45,2
Diciembre	57,9
2016 (Pp. anual: 986,9 mm)	
Enero	236,0
Febrero	322,6
Marzo	79,0
Abril	114,3
Mayo	7,4
Junio	17,8
Julio	1,5
Agosto	8,1
Septiembre	3,8
Octubre	18,3
Noviembre	101,9
Diciembre	76,2
2017 (Pp. anual: 449,0 mm)	
Enero	98,3

Censos de vegetación

En el período comprendido entre junio de 2015 y enero de 2017 se realizaron 20 censos de vegetación mensuales, a fin de obtener datos sobre el número de especies presentes en el área y dinámica de las poblaciones vegetales y de las especies capaces de crecer en terrenos con altos contenidos de boro. Para esto se trazaron 30 transectos lineales de 50 m de longitud (en dirección noroeste-sudeste), a lo largo de los cuales se registró metro a metro la ocurrencia de especies (método de interceptación puntual), junto con sus características distintivas. Para la estimación de la cobertura se consideró la proporción de presencia de cada especie, sobre la longitud total del transecto. Adicionalmente, se colectaron ejemplares de cada una de las especies. Para la determinación taxonómica se consultaron los diferentes volúmenes que componen la serie Flora del Valle de Lerma (Novara, 2012). Cada especie fue clasificada de acuerdo a su porte (herbáceo, arbustivo) y a su ciclo de vida (anual o perenne).

Resultados y discusión

En los 20 censos realizados en este estudio se observó un predominio de suelo desnudo, con valores que oscilaron entre 81% (septiembre de 2015) y 56% (mayo de 2016) (Figura 2). En el caso del porcentaje de cobertura vegetal, se determinó que los valores de esta variable aumentaron durante la estación húmeda (valor máximo de 29% en febrero de 2016) y disminuyeron hacia la estación seca (valor mínimo de 6,0% en agosto de 2015), momento en el que se produjo un incremento en el porcentaje de materia vegetal seca (máximo de 30% para los meses de mayo y junio de 2016) (Figuras 2 y 3). En términos generales, el año con mayor cobertura vegetal fue 2016 (11% promedio entre junio y diciembre de 2016 vs 8,6% promedio en igual período de 2015). Esto en parte podría ser explicado por un aumento del 44% en el valor anual de precipitaciones para el 2016 (986,9 mm), respecto al año anterior (685,5 mm) (Estación Meteorológica EEA Cerrillos, Salta), lo que favorece el desarrollo de la vegetación no solo por una mayor disponibilidad de agua, sino también por un incremento en la lixiviación del boro de las zonas más superficiales del suelo.



Figura 2. Aspecto general de un sector del predio durante época seca (izquierda) y húmeda (derecha).

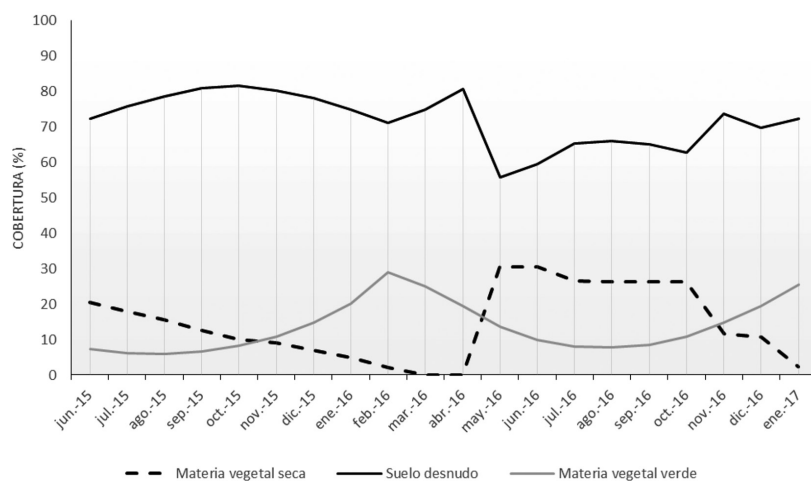


Figura 3. Cobertura de suelo desnudo (%), materia vegetal seca (%) y materia vegetal verde (%), en el período analizado (junio 2015-enero 2017).

Composición de especies y cobertura

Las especies registradas en los 20 censos se muestran en la Tabla 3. Se identificaron 13 especies pertenecientes a 12 géneros y 9 familias, de las cuales 3 pertenecen a Poaceae y 2 a Solanaceae. Estas dos familias junto con Amaranthaceae fueron el componente dominante de la vegetación natural en el período bajo estudio, mientras que *Cynodon*, *Setaria*, *Alternanthera* y *Nicotiana* son los géneros con mayores coberturas. Se observó un incremento en el número de especies registradas cuando se comparan los censos del período junio-diciembre de 2015 (11 especies) con los censos del período enero 2016-enero 2017 (13 especies). Algunos de los géneros detectados en el estudio (*Chenopodium*, *Cynodon* y *Tamarix*) han sido identificados en relevamientos realizados en sitios afectados por contaminación bórica en Turquía (Ozturk *et al.*, 2010).

La mayoría de las especies relevadas en este estudio son plantas herbáceas (4 anuales y

7 perennes) y representan el 84,6% del total de especies (Figuras 4a y 4b), lo que revela la tolerancia de este grupo a las condiciones edáficas del sitio. Gran parte de estas especies son consideradas malezas o invasoras, asociadas a sitios modificados antrópicamente (Novara, 2012; Busso *et al.*, 2013), lo cual no debe sorprender, ya que este tipo de plantas son las primeras en aparecer en áreas que han sido disturbadas (Mohler, 2001). Sin embargo, la capacidad de desarrollarse en un terreno con alto contenido de boro ocurre en simultáneo con múltiples factores de estrés (salinidad, déficit hídrico durante gran parte del año y elevada irradiación), por lo cual resulta importante determinar las características que les permiten sobrevivir a estas especies en este tipo de ambiente.

Al analizar el comportamiento temporal de la cobertura de especies (%) de acuerdo a su porte (Figura 4c), se observa que las especies herbáceas mantienen su predominio a lo largo del tiempo (valores promedio de 12%), con valores máximos de

Tabla 3. Datos de cobertura (%) estimados para las especies detectadas en cada uno de los censos realizados en el período junio 2015-enero 2017. P y A indican valores de cobertura inferiores a 1,0% y especie no detectada en el censo, respectivamente.

	<i>A. pungens</i>	<i>C. album</i>	<i>L. bonariensis</i>	<i>C. dactylon</i>	<i>Setaria</i> sp.	<i>C. virgata</i>	<i>T. officinale</i>	<i>S. bonariensis</i>	<i>C. montevidensis</i>	<i>H. curassavicum</i>	<i>N. longiflora</i>	<i>N. glauca</i>	<i>T. ramosissima</i>
6/15	1,5	P	P	P	3,0	1,0	A	P	P	A	A	1,0	P
7/15	1,5	P	P	A	2,5	1,0	A	A	P	A	A	P	P
8/15	1,5	P	P	A	2,0	1,0	P	A	P	A	A	P	P
9/15	1,5	P	P	P	1,7	1,0	P	A	1,2	A	A	P	P
10/15	1,5	P	P	P	2,1	1,0	P	P	1,2	A	A	1,6	P
11/15	1,5	P	P	P	4,0	1,0	P	P	1,2	A	A	2,0	P
12/15	1,5	P	P	P	7,3	1,0	P	P	1,2	A	A	2,4	P
1/16	1,5	P	P	1,0	12,0	1,0	A	P	1,0	A	A	1,8	P
2/16	1,7	P	P	1,8	19,5	1,0	A	P	P	A	A	3,5	P
3/16	1,7	P	P	1,8	16,3	1,0	A	P	P	A	A	2,9	P
4/16	1,7	P	P	1,5	11,5	1,3	A	P	P	A	A	2,2	P
5/16	1,9	P	P	P	7,1	1,3	A	P	P	A	A	1,7	P
6/16	2,1	P	P	P	4,0	1,5	A	P	P	A	A	1,2	P
7/16	2,1	P	P	A	2,8	1,5	A	A	P	A	A	P	P
8/16	2,1	P	P	A	2,1	1,5	P	A	1,2	A	A	P	P
9/16	2,1	P	P	P	1,9	1,5	P	A	1,6	A	A	P	P
10/16	2,1	P	P	P	2,5	1,5	P	P	1,6	A	A	1,8	P
11/16	2,1	P	P	P	5,2	1,5	A	P	1,6	A	P	2,6	P
12/16	2,1	P	P	P	9,5	1,5	A	P	1,6	P	P	2,7	P
1/17	2,1	P	P	1,5	14,0	1,5	P	P	1,6	P	P	3,2	P

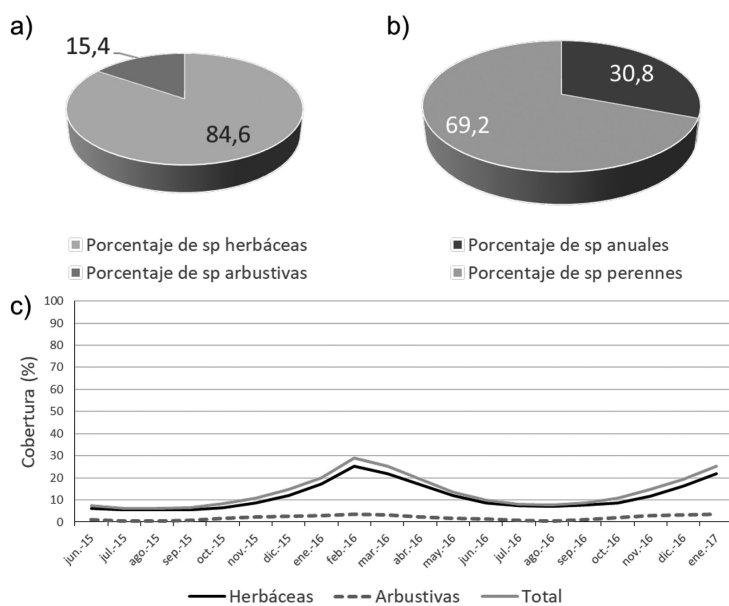


Figura 4. a) Porcentaje de especies de acuerdo a su porte (herbáceo o arbustivo), b) Porcentaje de especies de acuerdo a su ciclo de vida (anual o perenne), c) Porcentaje de especies de acuerdo a su porte a lo largo de los diferentes censos realizados.

25% (febrero de 2016) y mínimos de 6,2% (agosto a octubre de 2015). Al comparar estos datos con los valores de cobertura total, se observa que las fluctuaciones en el porcentaje de cobertura total están supeditadas a la dinámica de las especies herbáceas. En el caso de las especies arbustivas, mantienen porcentajes de cobertura más bajos, pero relativamente constantes a lo largo del tiempo (1,9% en promedio).

Especies identificadas y alternativas de fitorremediación

La fitorremediación incluye un conjunto de técnicas que usan las capacidades que presentan determinadas plantas para reducir la concentración de un contaminante en un suelo u otro sustrato o los efectos de su toxicidad. Dentro de estas técnicas, la que ha sido más estudiada para sanear suelos contaminados por boro ha sido la fitoextracción (Rámila *et al.*, 2016). No obstante, esta técnica tiene una serie de limitaciones, entre las cuales el elevado tiempo requerido para reducir la concentración del contaminante es una de las más importantes (Robinson *et al.*, 2015). Se requirieron 5 años para reducir en un 24% la concentración inicial de boro en suelo (1 a 10 mg/kg) mediante el uso de *Lotus corniculatus* L, *Festuca arundinacea* Schreb e *Hibiscus cannabinus* L (Bañuelos *et al.*, 1993). Por su parte, de Abreu *et al.* (2012) encontraron que se necesitaba de 12 a 16 años para extraer el 50% de la concentración inicial de boro de un suelo (3,8 mg/kg) utilizando *Ricinus communis*. En los casos en los que la concentración de un contaminante en el suelo es muy elevada y la penetración del contaminante en el perfil del suelo es profunda, se suele optar por la fitoestabilización (Van Nevel *et al.*, 2007), una técnica cuyo principal objetivo es contener el contaminante en la zona radical. Teniendo en cuenta el elevado contenido de boro en suelo del área de estudio (4500 mg/kg), la fitoextracción constituye una técnica poco viable debido al tiempo que se requeriría para disminuir las concentraciones hasta valores aceptables. Sobre esta base, sería importante realizar evaluaciones futuras acerca de la capacidad fitoestabilizadora de las especies relevadas en la investigación para ser utilizadas en la restauración del área de estudio.

Uno de los primeros pasos involucrados en un estudio de fitorremediación consiste en identificar las especies silvestres tolerantes creciendo en sitios

contaminados. Albarracín Franco y otros (2008, 2009) evaluaron la respuesta en parámetros de germinación y supervivencia de especies nativas de la provincia de Salta con crecimiento rápido y especies comerciales tolerantes al boro, de las cuales sólo una de ellas (*Nicotiana glauca*) se desarrolla naturalmente en sitios con altos contenidos de boro. Si bien estos autores encontraron que algunas de estas especies mostraban potencial para extraer boro del suelo y almacenarlo en su tejido, las tasas de supervivencia se reducían dramáticamente frente al incremento en los niveles de boro en suelo por encima de 30 mg/kg. Considerando que los contenidos de boro en suelo del área de estudio alcanzan a 4500 mg/kg de suelo, la fitorremediación *in situ* con estas especies no sería viable. Adicionalmente, estos estudios no discriminaron entre el contenido de boro en raíces y el que está presente en la porción aérea, aspecto que es crucial a la hora de definir el tipo de estrategia que se implementará (fitoextracción, fitoestabilización, etc.).

En este estudio se pudo detectar la presencia de 11 especies herbáceas y dos arbustivas (*Nicotiana glauca* y *Tamarix ramosissima*). Las especies herbáceas silvestres suelen contribuir a la formación de suelo, ya que incrementan la cantidad de biomasa descomponible y evitan los procesos erosivos mediante su extenso sistema radical y su biomasa aérea (Pandey *et al.*, 2015). De las dos especies arbustivas identificadas, *Tamarix ramosissima* no registra hasta el momento estudios en los que se haya evaluado su grado de tolerancia al boro. Sin embargo, sí se ha reportado su supervivencia en condiciones de alta salinidad (Imada *et al.*, 2015). Esto se atribuye al desarrollo de un mecanismo mediante el cual esta especie es capaz de captar sales del suelo a través de sus raíces y transportarlas a través del xilema hacia las hojas, desde donde las excreta mediante glándulas de sal. Para varias especies del género *Tamarix*, se ha reportado que por medio de dichas glándulas, es posible excretar una amplia variedad de iones entre los cuales se incluyen el boro y diferentes metales (Wilson *et al.*, 2016). Por esta propiedad, las especies del género *Tamarix* son seleccionadas en esquemas de fitorremediación para eliminar metales pesados en terrenos con alto contenido de sales (Newete *et al.*, 2019). Teniendo en cuenta las características de *Tamarix ramosissima* (porte arbustivo, tolerancia al estrés salino, buen desarrollo

del sistema radical, capacidad para absorber iones y luego excretarlos a través de glándulas de sal), sería importante evaluar de manera experimental la capacidad de esta especie para extraer boro del suelo o inmovilizarlo en la rizósfera y así establecer la factibilidad de su uso como especie fitoestabilizadora.

Conclusiones

Esta investigación constituye (al menos para nuestro conocimiento) uno de los primeros estudios de campo en los que se evalúa la vegetación que se desarrolla naturalmente en un área fuertemente impactada por la contaminación por boro de la provincia de Salta (Argentina). Se detectaron 13 especies con capacidad para sobrevivir en condiciones de alto contenido de boro en suelo, 11 de ellas de

porte herbáceo y dos arbustivas. Una de ellas es *Tamarix ramosissima*. Dadas las características que presenta, se estima que esta especie tendría potencial para fitoestabilizar los suelos contaminados por boro. De este modo, se plantea la realización de estudios futuros en los que se evalúe la capacidad fitoestabilizadora de *Tamarix ramosissima*.

Considerando que las especies identificadas se desarrollan actualmente en el área de estudio, y dadas sus características, se propone su utilización como especies fitoestabilizadoras para la revegetación del sitio con fines de restauración. Para ello, en principio sería importante establecer un cerco perimetral que impida el acceso al área de estudio y su deterioro, la colecta de semillas y su posterior siembra, el estudio de los microorganismos asociados a las raíces de las especies identificadas y el monitoreo de la evolución del área.

Literatura citada

- Albarracín Franco, S.; de Viana, M.
2009. *Aspidosperma Quebracho balnco y Lolium multiflorum*: dos especies capaces de remediar suelos contaminados con boro. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13: 107-112.
- Albarracín Franco, S.; de Viana, M.; Flores, H.
2007. Germinación y supervivencia de dos especies vegetales en altas concentraciones de boro. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11: 49-56.
- Aparecida de Abreu, C.; Coscione, A.; Moreno Pires, A.; Paz-Ferreiro, J.
2012. Phytoremediation of a soil contaminated by heavy metals and boron using castor oil plants and organic matter amendments. *Journal of Geochemical Exploration*, 122: 3-7.
- Babaoglu, M.; Gezgin, S.; Topal, A.; Sade, B.; Dural, H.
2004. *Gypsophila sphaerocephala* Fenzl ex Tchihat.: a boron hyperaccumulator plant species that may phytoremediate soils with toxic B levels. *Turkish Journal of Botany*, 28: 273-278.
- Bundschuh, J.
1992. Boron contamination of the ground- and surface waters of Lerma Valley, Argentina. *Journal of water supply research and technology Aqua*, 41(1): 13-17.
- Burgos, J.; Vidal, A.
1951. Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros*, 1(1): 3-32.
- Busso, C.A.; Bentivegna, D.J.; Fernández, O.A.
2013. A review on invasive plants in rangelands of Argentina. *Interciencia*, 32(8): 95-103.
- Centofanti, T.; Bañuelos, G.
2015. Evaluation of the halophyte *Salsola soda* as an alternative crop for saline soils high in selenium and boron. *Journal of Environmental Management*, 159: 96-102.
- Costa, B.G.P.; Justino, G.C.; Aguiar, L.F.; Souza, L.A.; Camargos, L.S.
2019. Boron phytoremediation: *Stizolobium aterrimum* is tolerant and can be used for phytomanagement of boron excess in soils. *International Journal of Environmental Studies* 76: 329-337.
- Evangelou, M.W.H.; Papazoglou, E.G.; Robinson, B.H.; Schulin, R.
2015. Phytomanagement: Phytoremediation and the production of biomass for economic revenue on contaminated land. In Ansari (eds). *Phytoremediation*. Springer, Cham. pp. 115-132.
- Imada, S.; Matsuo, N.; Acharya, K.; Yamanaka, N.
2015. Effects of salinity on fine root distribution and whole plant biomass of *Tamarix ramosissima* cuttings. *Journal of Arid Environments*, 114: 84-90.
- Lomniczi, I.; Musso, H.; Pereyra, R.
1997. Assessment of boron concentration in surface and groundwaters in the Lerma and Calchaquí Valleys (Salta province-Argentina). *Anales de la Asociación Química Argentina*, 85: 283-293.
- Lomniczi, I.; Boemo, A.; Musso, H.
2007. Location and characterisation of pollution sites by principal component analysis of trace contaminants in a slightly polluted seasonal river: a case study of the Arenales River (Salta, Argentina). *Water*, 33(4): 479-486.
- Mohler, C.L.
2001. Weed evolution and community structure. In Liebman, M.; Mohler, C.L.; Staver C.P. (eds.). *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge University Press. pp. 444-493.
- Moraga, N.B.; Poma, H.R.; Amoroso, M.J.; Rajal, V.B.
2014. Isolation and characterization of indigenous *Streptomyces* and *Lentzea* strains from soils containing boron compounds in Argentina. *Journal of Basic Microbiology*, 54 (2014): 568-577.
- Nable, R.O.; Bañuelos, G.S.; Paull, J.G.
1997. Boron toxicity. *Plant and Soil*, 193: 181-198.

- Newete, S.W.; Allem, S.M.; Venter, N.; Byrne, M.J.
2019. *Tamarix* efficiency in salt excretion and physiological tolerance to salt-induced stress in South Africa. *International Journal of Phytoremediation*, 22: 1-7.
- Novara, L.J.
2012. Aportes botánicos de Salta- Flora del Valle de Lerma. Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina. 65 p.
- Ozturk, M.; Sakcali, S.; Gucel, S.; Tombuloglu, H.
2010. Boron and Plants. En: Ashraf, M.; Ozturk, M.; Ahmad, M.S. (eds.). *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Springer. New York, US. pp. 275-297.
- Pandey, V.M.; Prakash, P.; Bajpai, O.; Kumar, A.; Singh, N.
2015. Phytodiversity on fly ash deposits: evaluation of naturally colonized species for sustainable phytoremediation. *Environmental Science Pollution Research*, 22: 2776-2787.
- Rámila, C.D.P.; Pizarro, G.E.; Bonilla, C.A.
2016. Phytoremediation of boron-contaminated sites. En: Ansari, A.A. (eds.). *Phytoremediation*. Springer International Publishing. Switzerland. Pp. 547-566.
- Robinson, B.; Green, S.; Chancerel, B.; Mills, T.; Clothier, B.
2007. Poplar for the phytomanagement of boron contaminated sites. *Environmental Pollution*, 150(2): 225-233.
- Robinson, B.H.; Anderson, C.W.N.; Dickinson, N.M.
2015. Phytoextraction: Where's the action? *Journal of Geochemical Exploration*, 151: 34-40.
- Romero Orué, M.; Gaiero, D.; Paris, M.; Fórmica, S; Murray, J.; De la Hoz, M.; López, E.; Kirschbaum, A.
2017. Precipitaciones húmedas en el norte de Argentina: caracterización química de los componentes solubles en el Valle de Lerma, Salta. *Andean Geology*, 44(1): 59-78.
- Türe, C.; Bell, W.
2004. Plant distribution and its relationship to extractable boron in naturally-occurring high boron soils in Turkey. *Israel Journal of Plant Sciences*, 52: 125-132.
- Van Nevel, L.; Mertens, J.; Oorts, K.; Verheyen, K.
2007. Phytoextraction of metals from soils: How far from practice? *Environmental Pollution*, 150: 34-40.
- Velasco, J.; Villaflor, G.; Bisonard, E.; González, H.; Soria, E.
2007. Influencia en el medio ambiente de los vertidos intencionales de boratos a orillas de la ruta nacional 51-Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 11: 67-72.
- Walter, P.
2018. Niveles de boro en las aguas del río Calchaquí y sus afluentes. Salta, Argentina. *IDESIA*, 36(1): 41-48.
- Walter, P.
2019. El área modificada antrópicamente para uso agropecuario en los valles Calchaquíes salteños y sus limitaciones por efecto de contaminación. *IDESIA*, 37(1): 85-92.
- Wilson, H.; Mycock, D.; Weiersbye, I.
2016. The salt glands of *Tamarix usneoides* E. Mey. ex Bunge (South African Salt Cedar). *International Journal of Phytoremediation*, 19(6): 587.

