

# El área modificada antrópicamente para uso agropecuario en los valles Calchaquíes salteños y sus limitaciones por efecto de contaminación

*The Anthropically modified area for agricultural use in the Calchaquíes Valleys of Salta and their limitations due to pollution*

Pablo Walter<sup>1,2\*</sup>

## RESUMEN

Este trabajo se desarrolló en el valle Calchaquí salteño, Argentina. En esta zona se ha definido un área modificada antrópicamente, que a lo largo del tiempo se ha aprovechado para uso agropecuario y favoreció la economía de la región. En algunos de los ríos que atraviesan el valle se ha detectado presencia de boro (B) con niveles mayores a  $1 \text{ mg L}^{-1}$ , que son considerados niveles tóxicos y producen limitaciones en la diversificación productiva y en la potencialidad económica de la zona. Se intenta definir las áreas que se encuentran a las orillas de los ríos con aguas permanentes de los departamentos Cachi y Molinos. Se utilizará una metodología de análisis basada en imágenes satelitales y sistema de información georeferencial, aplicando una variable de corte que ayudará a establecer áreas definidas e identificando qué espacios modificados poseen niveles de contaminación perjudicial para una mayor diversidad agrícola y productividad. Esta identificación ayudará a proyectar y diseñar políticas públicas para establecer programas de mitigación en las áreas contaminadas.

**Palabras clave:** Valle Calchaquí, boro, área, toxicidad, riego

## ABSTRACT

*This work was developed in the Calchaqui Valley of Salta, Argentina. In this area an anthropically modified area has been defined, which over time has been used for agricultural use and favored the economy of the area. In some of these rivers, the presence of boron (B) with levels greater than  $1 \text{ mg L}^{-1}$  has been detected, it is considered to be toxic levels and produces limitations in the productive diversification and in the economic potential of the area. We try to define the areas that are on the banks of the rivers with permanent waters of the Cachi and Molinos departments. An analysis methodology using satellite images and a geo-referenced information system will be used, applying a cutting variable that will help establish defined areas and identifying which modified spaces have levels of contamination that are detrimental to greater agricultural diversity and productivity. This identification will help to project and design public policies to establish mitigation programs in contaminated areas.*

**Key words:** Calchaqui Valley, boron, area, toxicity, irrigation

## Introducción

El valle Calchaquí se encuentra en la provincia de Salta, Argentina, y está regado por el río Calchaquí, que forma una cuenca de norte a sur junto con sus afluentes. Sus aguas se utilizan para el regadío de los departamentos La Poma, Cachi, Molinos y San

Carlos. Este río tiene aguas todo el año al igual que sus afluentes. Las subsuperficiales son utilizadas para consumo humano (solo con un tratamiento de decantación, filtración y cloración) y riego.

Los departamentos observados (Cachi y Molinos) se encuentran en la zona centro y están administrados políticamente por cuatro municipios. El departamento

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> Instituto de Prospectiva y Políticas Públicas (IPyPP) del Centro de Investigaciones en Ciencias Políticas, Económicas y Sociales (CICPES). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

\* Autor por correspondencia: walter.pablo@inta.gob.ar

de Cachi está integrado por las municipalidades de Payogasta y de Cachi, y el departamento de Molinos por las municipalidades de Seclantás y de Molinos (Figura 1).

En esta región, a lo largo del tiempo, los habitantes se han ido asentando en las márgenes de los ríos, constituyendo pueblos y algunas ciudades, y conformando oasis de riego para la producción, rodeados por desierto y montañas. La población de los departamentos está compuesta por 12.967 habitantes

(INDEC, 2010), en su mayoría población rural con un alto porcentaje de pequeños agricultores. Se puede caracterizar como una región de precariedad y pobreza rural generalizada. En ella predomina el latifundio combinado con minifundio. Existen, en los dos departamentos, 7 explotaciones con el 97% de la superficie y 724 explotaciones agropecuarias productivas con un 3% de la superficie restante -11.611 ha- (INDEC, 2002).



Figura 1. Provincia de Salta y el valle Calchaquí salteño centro.  
Fuente: Google Earth 2014. Elaboración propia.

La población económicamente activa ha modificado estas áreas para el uso agrícola, pecuario y habitacional, con el aporte de las aguas de los ríos debido a la fuerte aridez de la zona. Se producen cereales para grano, legumbres, principalmente el poroto pallar; hortalizas y plantas aromáticas destinadas al mercado fuera de la región. También forrajes, ya que es una zona con alta carga de ganado. La mayor parte de los productores posee una reducida cantidad de hacienda caprina, ovina y, en algunos casos, vacuna. El ganado es alimentado gran parte del año en campos comuneros o en campos privados donde el campesino debe pagar un canon por pastaje.

Según Cabrera 1994, el paisaje de esta región es de Provincia Fitogeográfica de Monte, con precipitaciones que no superan los 300 mm anuales, un relieve variado y temperaturas promedio que no pasan los 17 °C. En esta zona, los oasis de riego de los valles no presentan las diferentes especies cultivables que se esperarían para este paisaje, principalmente frutales,

como señala Papadakis (1974). Sí se identificaron frutales en las áreas regadas por los ríos Las Arcas (Cachi Adentro), Brealito (Seclantás Adentro) y Cuchiyaco (Refugio) y poca a nula existencia de estos en las áreas de producción de regadío con aguas de los ríos Calchaquí (Figura 2) y Luracatao (Figura 3). En este caso, si estaban presentes, era en malas condiciones para una producción comercial, evidenciando una caída en el crecimiento vegetativo, con una cantidad pobre de frutos, sin poder alcanzar una producción estable en condiciones aceptables.

Esta área de los valles Calchaquíes está al este del departamento de los Andes (la Puna salteña), el cual posee una cuenca endorreica que atraviesa salares, de gran aprovechamiento para la actividad minera. Muchos de esos salares tienen depósitos de boratos. Asimismo, todos los arroyos nacen de los aportes que descienden de las estribaciones de las sierras que están a 5.000 msnm, formándose por las aguas de deshielo de las altas cumbres y por las escasas



Figura 2. Río Calchaquí, departamento de Cachi, valles Calchaquíes salteños.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Río Luracatao, departamento de Molinos, valles Calchaquíes salteños.  
Fuente: Elaboración propia.

precipitaciones. Siguen por las vaguadas y quebradas, arrastrando durante su curso escombros de las laderas, desprendidos por la disgregación mecánica, y productos de levigación –sales y boratos en disolución– hacia las cuencas más bajas, hacia el este (el valle Calchaquí). La presencia de boro en las aguas de los ríos analizados de este valle puede deberse a este proceso de bajante de aguas en conexión con las salinas con contenido de boro. Según Walter 2018, existe una determinada cantidad de B en los ríos de estos departamentos (Molinos y Cachi) que los define y caracteriza. Además el río Calchaquí y algunos de sus afluentes poseen un efecto de contaminación de B que afectaría la posibilidad de cultivar, de forma diversificada, productos aptos agroecológicamente.

### **Limitaciones para la vegetación**

Existen varios autores que definieron, a través de sus estudios, rangos de concentración de B

relacionados con la respuesta de las especies vegetales. Se han tomado estas investigaciones como parámetros y las respuestas de las especies para uso productivo han sido clasificadas en variables, que van de muy sensible a muy tolerante. En la Tabla 1 encontramos las categorías definidas según Wilcox (1960) en tres rangos.

Paralelamente podemos observar otro estudio realizado por Maas (1984); Ayers y Westcot (1985), donde vemos una respuesta óptima de los diferentes cultivos agrícolas según siete rangos de nivel de B (Tabla 3). A nivel menor de B a  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$  se podrán realizar todo tipo de cultivos y a niveles mayores de  $6 \text{ mg L}^{-1}$  de B solo los muy tolerantes.

Paralelamente existen estudios que han definido rangos de tolerancia de cultivos según los niveles presentes de B en el extracto de saturación de suelo, que en este trabajo no se profundiza. Según Ortega (2006), la presencia de B produce factores limitantes para el desarrollo de los cultivos en cantidades menores

Tabla 1. Guía de interpretación de calidad de agua.

Calidad de aguas para riego	Tolerancia relativa de cultivos y plantas ornamentales		
	Muy sensibles y/o Sensibles	Moderadamente sensible /o Tolerantes	Tolerantes y/o Muy tolerantes
Wilcox (1960)	0,3 a 1 mg L <sup>-1</sup>	1 a 2 mg L <sup>-1</sup>	2 a 4 mg L <sup>-1</sup>

Fuente: Wilcox (1960).

Tabla 2. Características químicas, estadística descriptiva y observaciones de B de los ríos en estudio.

Río	CE dS/m	pH	B mg/L <sup>-1</sup>	Salinidad	Sodicidad
Trancas	392,3	7,4	1,2	M	B
Cachi	495,75	7,4	1,09	M	B
Calchaquí	918,33	7,28	2,4	A	Ma B
Luracatao	771,42	7,74	3,56	A a M	B
Hoyada	80	6,5	0,19	B	B
Percayo	770	7,1	3,62	A	M
Cabrería	732,5	7,36	2,47	A a M	M a B
Cuchiyaco	270	7,13	0,5	M a B	B
Aguadita	220	6,5	0,56	B	B
Brealito	498	7,86	0,54	M	B

Fuente. Laboratorio de Suelos y Análisis Fitosanitario de la EEA Salta. 2014. Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de cultivos según nivel de B en las aguas de riego

Cultivos						
Muy sensible	Sensible 1	Sensible 2	Moderadamente sensible	Moderadamente Tolerante	Tolerante	Muy tolerante
mg L <sup>-1</sup>						
< 0,5	0,5-0,75	0,75-1,0	1,0-2,0	2,0-4,0	4,0 -6,0	6,0-15,0
<i>Citrus limón</i> (Limón), <i>Rubus ssp.</i> (Zarzamora)	<i>Persea Americana</i> (Palta), <i>Citrus X paradise</i> (Pomelo), <i>Citrus sinensis</i> (Naranja), <i>Prunus armeniaca</i> (Damasco), <i>Prunus persica</i> (Durazno), <i>Prunus domestica</i> (Ciruelo), <i>Diospyrus kaki</i> (Caqui), <i>Ficus carica</i> (Higo), <i>Vitis vinifera</i> (Uva), <i>Junglans regia</i> (Nogal), <i>Carya illinoensis</i> (Pecan), <i>Vigna unguiculata</i> (caupi), <i>Allium cepa</i> (Cebolla)	<i>Allium sativum</i> (Ajo), <i>Ipomoea batatas</i> (Batata), <i>Triticum eastivum</i> (Trigo), <i>Hordeum vulgare</i> (Cebada), <i>Helianthus annuus</i> (Girasol), <i>Vigna radiate</i> (Poroto chino), <i>sesamun indicum</i> (Sésamo), <i>Lupinus hartwegii</i> (Lupino), <i>Fragaria spp</i> (Fruetilla), <i>Helianthus tuberosus</i> (Tupinambo), <i>phaseolus vulgaris</i> (Poroto), <i>phaseolus lunatus</i> (Poroto pallar), <i>Arachis hypogaea</i> (Maní)	<i>Capsicum annium</i> (Pimiento rojo), <i>Pisum sativa</i> (Arveja), <i>Daucus carota</i> (Zanahoria), <i>Raphanus sativus</i> (Rábano), <i>Solanum tuberosum</i> (Papa), <i>Cucumis sativus</i> (Pepino)	<i>Lactuca sativa</i> (Lechuga), <i>Brassica olearacea capitata</i> (Repollo), <i>Apium graveolens</i> (Apio), <i>brassica rapa</i> (Nabo), <i>Poa pratensis</i> (Pasto azul), <i>Avena sativa</i> (Avena), <i>Zea mays</i> (Maíz), <i>Cynara scolymus</i> (Alcaucil), <i>Nicotiana tabacum</i> (Tabaco), <i>brassica juncea</i> (Mostaza), Melilotus indica (Melilotus), <i>Cucurbita pepo</i> (Calabacita), <i>Cucumis melo</i> (Melón).	<i>Sorghum bicolor</i> (Sorgo), <i>Solanum Lycopersicum</i> (Tomate), <i>Medicago sativa</i> , Vicia <i>benghalensis</i> (Arveja roja), <i>Petroselinum crispum</i> (Perejil), <i>Beta vulgaris</i> (Remolacha).	<i>Gossypium hirsutum</i> (Algodón), <i>Asparagus officinalis</i> (Espárragos).

Fuente: Maas (1984); Ayers y Westcot (1985).

a  $1 \text{ mg L}^{-1}$  y no existe restricción para realizar cultivos sensibles -ajo, álamo, alcaucil, batata, bergamota, cebolla, damasco, durazno, frutilla, girasol, pecan, nogal, peral, limonero, etc.-, y tampoco para los restantes. Por último, Nable y Paul (1990) señalan que la toxicidad con B natural es más común en las zonas áridas y semiáridas y en cultivos que crecen en suelos formados con material de origen marino, o relacionado con la utilización de agua de riego con alto contenido de B. Las observaciones realizadas por estos autores concuerdan con las respuestas de las especies y las características de la zona estudiada de los valles Calchaquíes salteños.

En este trabajo se busca conocer el área modificada antrópicamente en la zona de los valles Calchaquíes salteños e identificar qué espacio posee niveles de contaminación perjudicial para una mayor diversidad agrícola.

### Materiales y métodos

Para evaluar el área de riego se seleccionaron los ríos Calchaquí, Las Arcas, Las Trancas, Cachi, Brealito, Cuchiyaco, Luracatao, La Aguadita, La Hoyada, Percayo y Cabrería (Figura 4). Se recurrió a fuentes bibliográficas, a relevamiento de información de primera mano en terreno tanto respecto al área afectada como a las características de los sistemas productivos que se desarrollan en la región.

En este trabajo se recopilamos las características de los ríos, en especial los niveles de B que fueron observados en las aguas de los ríos señalados en la Tabla 2. Se consideraron aquellos que mantenían sus caudales constantes en el año y quedaron excluidos de la muestra los ríos Amaicha y Molinos del departamento de Molinos, por no estar incluidos en el área seleccionada pese a que sus caudales de aguas son permanentes e importantes durante el año. También se desestimaron algunos cursos de agua como los pequeños arroyos con exiguos caudales, no permanentes e irrelevantes a los efectos de su aprovechamiento.

Posteriormente se identificó el área de riego de los ríos estudiados, mediante imágenes del Software Google Earth- versión libre-, señalando las áreas de uso actual modificadas por la acción antrópica. Se delimitaron y posteriormente se realizó el cálculo de la superficie, en hectáreas, mediante el Sistema de Información Georreferencial (GIS) Quantum. Lisboa 1.8.0. Por último, para la clasificación de calidad del agua de riego, se usaron los resultados obtenidos por los autores Maas (1984); Ayers y Westcot (1985) y Wilcox (1960), y se determinaron dos rangos según presencia de B: 1-Muy sensibles y sensibles; 2-Moderadamente sensibles o semi-sensibles hasta muy tolerantes y un valor límite entre estos dos rangos de  $1 \text{ mg L}^{-1}$  (Tabla 4).

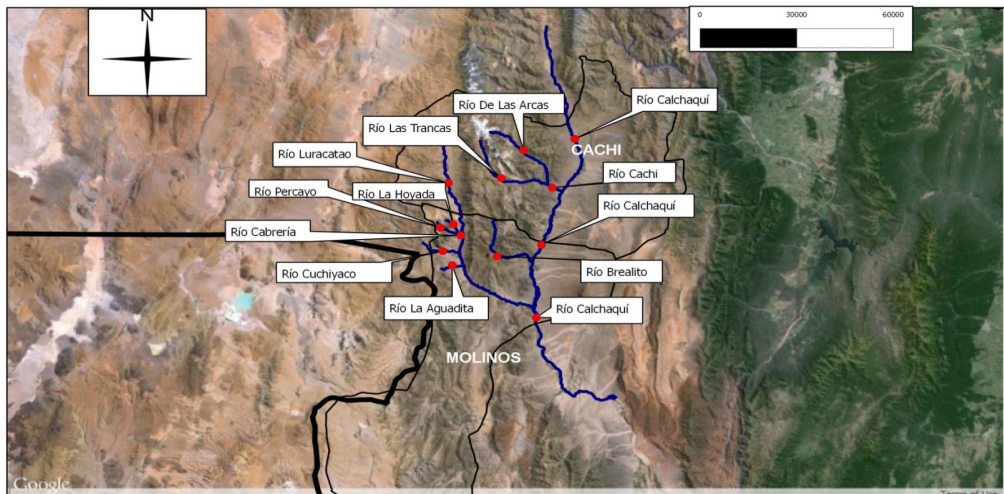


Figura 4. El río Calchaquí y sus afluentes en los departamentos de Cachi y Molinos.  
Fuente: Google Earth 2014.

Tabla 4. Guía de interpretación de calidad de agua según autores.

Tolerancia relativa de cultivos	Muy sensibles y/o Sensibles	Moderadamente sensibles /o Tolerantes Tolerantes y/o Muy tolerantes
Rangos de contenido de boro	0,3 a $1 \text{ mg L}^{-1}$	1 a $15 \text{ mg L}^{-1}$

Fuente: Maas (1984); Ayers y Westcot (1985); Wilcox (1960). Elaboración propia.

**Resultados**

La presencia de B en las aguas de riego en los ríos seleccionados de Cachi y Molinos registró valores medios, entre 0,5 mg L<sup>-1</sup> (Cuchiyaco) y 3,62 mg L<sup>-1</sup> (Percayo), situación que se mantiene a lo largo del tiempo (Tabla 2).

Por lo tanto, en los ríos del valle el nivel de B mayor a 1 mg L<sup>-1</sup> puede ocasionar efectos contaminantes que limiten el establecimiento de ciertas especies, con la consecuencia de un menor rendimiento y, en algunos casos, de afectación del crecimiento.

Aplicando el método GIS se estimó la dimensión de las áreas para producción en las márgenes de los ríos en estudio (Figura 5). Estas áreas representan las zonas modificadas por el hombre para la producción bajo riego, ya sean de uso actual o potencial. Se demarcaron estas áreas para los 11 ríos que proveen aguas de riego todo el año. De acuerdo a lo estimado en este trabajo, suman en total 6.119 ha. La superficie mayor corresponde al río Calchaquí, con 3.054 ha -50%-; el Luracatao con 757 ha, Las Arcas con 662 ha, Cachi con 399 ha, Las Trancas con 378 ha, Cuchiyaco con 363 ha,

Brealito con 326 ha, Cabrería con 94 ha, La Hoyada con 38 ha, Percayo con 31 ha y La Aguadita con 17 ha.

Relacionando las zonas modificadas con los niveles de B, encontramos que las áreas de estudio afectadas con aguas de riego con B en exceso (con niveles comprendidos entre más de 1 mg L<sup>-1</sup> y 3,62 mg L<sup>-1</sup>, es decir, con limitaciones para uso productivo) abarcan una superficie aproximada de 4.713 ha (cerca del 77% del total). Por lo tanto, quedaría un área sin limitaciones para la producción de 1.406 ha.

**Discusión**

El área evaluada fue la de los ríos de caudal de agua permanente durante todo el año y los afluentes provenientes del lado oeste del río principal, el Calchaquí. Esta zona se encuentra próxima al departamento de Los Andes (Puna Salteña), donde se hallan salares que tienen presencia de boro, algunos de los cuales son industrializados por el gobierno de la provincia de Salta. Los suelos y aguas subterráneas analizadas son regados y recargados por estos ríos.

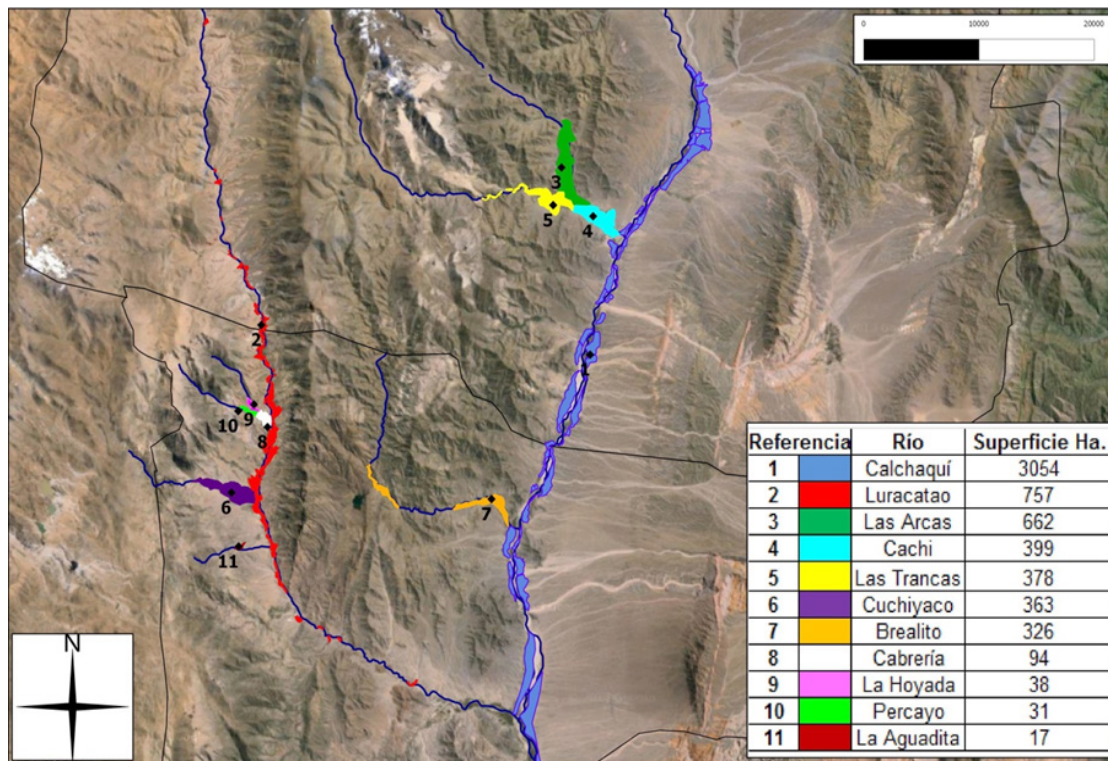


Figura 5. Áreas estimadas para la producción en las márgenes del río Calchaquí y sus afluentes. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos muestran el área modificada de manera antrópica, desarrollada hasta la actualidad sobre las márgenes de estos ríos que riegan y percolan para recargar el acuífero de la zona. Se establecen diferencias entre áreas potencialmente tóxicas para ciertos usos productivos (dado que los ríos que las riegan -Luracatao, Calchaquí y Cabrería- mostraron altos niveles de salinidad (Walter, 2018) y sus aguas propician mayoritariamente solo el desarrollo de producción forrajera); y áreas menos contaminadas (en zona de influencia de los ríos Las Arcas, Brealito y Cuchiyaco), en las que se identificaron sistemas productivos frutícolas. En ambas áreas está presente el sistema productivo hortícola, pero con especies diferentes según su tolerancia a B.

El área de uso agropecuario con niveles de B potencialmente tóxicos se definió en el marco de este trabajo, por la superficie irrigada por los ríos Calchaquí, Luracatao, Cachi, Las Trancas, Cabrería y Percayo, planteando limitaciones tanto para el desarrollo productivo como para la incorporación de nuevas producciones agroecológicamente óptimas para este clima y suelo. Es importante desarrollar nuevas líneas de trabajo que profundicen esta investigación identificando a lo largo del año el comportamiento de las concentraciones de B en los ríos (en crecida y estiaje) y los métodos de mitigación apropiados para mejorar el uso agrícola de esta zona. Asimismo, la aplicación de tecnologías ensayadas en Chile, como el filtrado de agua de riego por el método de osmosis inversa (Albornoz y Cartes, 2009), y/o la incorporación de especies tolerantes con acumulación de B, como es el caso de *Puccinella frígida* (Rámila et al., 2016).

## Conclusiones

Respecto al aporte de elementos para conocer los problemas que limitan la capacidad productiva y, consecuentemente, de desarrollo de ciertas regiones del país, considerando los objetivos que guiaron este trabajo, se concluye que existe una diferenciación de áreas, una de ellas con mayor posibilidad que la otra de cultivar, de forma diversificada, productos aptos agroecológicamente definidos para esta zona. También es importante la aplicación de una política tecnológica integral, adicional a las ya recomendadas para las zonas áridas y con pendiente, que tenga en cuenta la mitigación del B en ambas áreas. A pesar de que una tiene más diversidad, ello mejoraría la calidad del producto. Estas acciones pueden ser acompañadas de políticas activas para el desarrollo local y territorial, que permitirán mejorar la calidad de vida mediante el ingreso, productividad del área y la incorporación de nuevas especies para diversificar la cartera agrícola de la zona (en especial en lo que respecta a la producción frutícola), aportando así al desarrollo económico de la región.

A través de este trabajo se intenta destacar la importancia de implementar políticas públicas de mitigación con una visión global, basadas en diagnósticos que contemplen los diferentes aspectos que puedan influir, limitando o potenciando las capacidades de desarrollo de las diferentes zonas productivas del país. Específicamente se ha hecho hincapié en la profundización de la problemática asociada a la presencia de boro a niveles tóxicos, como uno de los aspectos que pueden ser considerados como limitantes para el desarrollo productivo, económico y social.

## Literatura citada

- Albornoz, G. F.; Cartes M. F.  
2009. Sistema para reducir la concentración de boro en aguas de riego. Serie Experiencias de Innovación para el Emprendimiento Agrario. Fundación para la Innovación. Arica, Chile. 28 p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D.W.  
1985. Water Quality for Agriculture: FAO, Irrigation and Drainage N° 29. Roma, Italia. 174 p.
- Cabrera A.  
1976. Regiones Fitogeográficas Argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II, Fascículo 1. (2da Edición). Editorial ACME S.A.C.I.. Buenos Aires, Argentina. 85 p.
- INDEC.  
2002. Censo Nacional Agropecuario. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires. Argentina. Disponible en: [http://www.indec.gob.ar/cna\\_index.asp](http://www.indec.gob.ar/cna_index.asp) Consultado: 5/feb/2018.
- INDEC.  
2010. Censo Nacional de Población y Vivienda Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Buenos Aires. Argentina. Disponible en: [http://www.indec.gov.ar/nivel4\\_default.asp?id\\_tema\\_1=2&id\\_tema\\_2=41&id\\_tema\\_3=135&\\_ga=2.251817473.928359234.1506623617-1382619129.1500910197](http://www.indec.gov.ar/nivel4_default.asp?id_tema_1=2&id_tema_2=41&id_tema_3=135&_ga=2.251817473.928359234.1506623617-1382619129.1500910197) Consultado: 5/feb/2018.

- Maas, E V.  
1984. Salt tolerance of plants. En: Chistie B.R. (ed.). Handbook of Plant Science in Agriculture. CRC Press, Boca Ratón, FL, US. Pp. 57-75..
- Nable, R.O.; Paul, G.  
1990. Effect of excess grain boron concentrations on early seedling development and growth of several wheat (*triticum aestivum*) genotypes with different susceptibility to boron toxicity. In: Van Beusichem. M. L. (Ed). Plant Nutrition Physiology and Application. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands. Pp. 291–295.
- Ortega, A.  
2006. Toxicidad de micronutrientes. En: Vázquez, M.; (ed). Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y Fertilización en Argentina. La experiencia brasilera. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. Pp. :177-207.
- Papadakis, J.  
1974. Ecología, Posibilidades Agropecuarias de las Provincias Argentinas. En: Fascículo 3 Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Tomo II (2da ed.) Ed. ACME SACI Buenos Aires, Argentina. Pp. 1-86.
- Rámila C.; Contreras S.; Di Dominico C.; Molina-Montenegro M.; Vega A.; Handford M; Bonilla C.; Pizarro G.  
2016. Boron stress response and accumulation potencial of the extremely tolerant species *Puccinella frígida*. *Journal of Hazardous Materials*, 317 :476-484.
- Walter, P.  
2018. Niveles de boro en las aguas del río Calchaquí y sus afluentes. Salta, Argentina. *Idesia*, 36 (1): 41-48.
- Wilcox, L.  
1960. Boron injury to plants. *Agric. Inf. Bull. U.S. Dep. Agric.*, 211: 7.