

Controversias sobre el origen de la contaminación por boro (B). subcuenca del río Calchaquí, Provincia Salta, Argentina

*Controversies at the origin of boron contamination, Sub-basin of
the Calchaquí River, Salta province. Argentina*

Pablo Walter^{1, 2*}

RESUMEN

El agua que se destina al riego de los cultivos de frutales, legumbres, hortalizas y cereales, entre otros, necesita satisfacer un patrón de calidad, por cuanto no debe contener sustancias en exceso (tóxicas) que resultan contaminantes también para el suelo. Sin embargo, en los ríos de la alta cuenca del río Juramento del valle Calchaquí salteño se encontró contaminación en aguas de riego con boro (B) en forma constante.

Existen varias hipótesis sobre el origen de la presencia de B, en concentraciones que resultan tóxicas para las plantas, en las aguas de los ríos. Este trabajo intenta indagar, a través de fuentes de diferentes autores, los posibles orígenes de esa contaminación en los ríos de la cuenca alta del río Juramento, situado en el área vecina al departamento de Los Andes. Para esto se realizó un análisis cualitativo, basándose en una búsqueda exhaustiva de información secundaria y seleccionando una producción bibliográfica de distintos autores que han definido los orígenes y efectos del boro en los ríos.

La presencia del boro en las aguas se puede explicar por muchos factores y existen varios motivos por los cuales llega a los ríos del valle Calchaquí salteño. Estas hipótesis pueden ser multicausales.

Palabras clave: boro, origen, valle Calchaquí, contaminación.

ABSTRACT

The water that is destined to the irrigation of the crops of fruit trees, legumes, vegetables or cereals, among others, needs to satisfy a pattern of quality, not having to contain toxic substances in excess or heavy metals that are also polluting for the ground. However, in the rivers of the high basin of the Oath of the Calchaquí Valley of Salta, contamination was found constantly in irrigation waters with boron (B).

There are several hypotheses about the origin of the presence of B, in concentrations that are toxic to plants, in river waters. This work tries to investigate, through sources of different authors, the possible origins in the rivers of the upper Juramento River Basin, located in the area adjacent to the department of Los Andes. For this, a qualitative analysis was carried out based on an exhaustive search for secondary school and selecting a bibliographic production of different authors that have defined the origins and effects of the presence of B.

Many factors can give reasons for the B in the waters. There are several indications of the origin by which the B reaches the rivers of the Calchaquí Valley of Salta. These hypotheses can be multicausal.

Keywords: boro, origin, Calchaqui Valley, pollution.

Introducción

El valle Calchaquí salteño, vecino por el lado este, de la Puna salteña del departamento de Los Andes, tiene un paisaje de la provincia fitogeográfica del Monte, con precipitaciones que no superan los 300 mm anuales, un relieve

variado y temperaturas promedio que no pasan los 17 °C (Cabrera, 1994). Se forman distintos oasis de riego en los valles a la ribera de los ríos, pero como señala Papadakis (1974), se pueden cultivar diferentes especies (frutales de carozo, nogales, entre otras). Sin embargo, no hay presencia de estas especies en todas las áreas cultivables, en especial

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

² Centro de Investigaciones en Economía y prospectiva (CIEP). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

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

a la ribera del Calchaquí, principal río del valle Calchaquí salteño. Sí se ven plantaciones de frutales en algunas áreas de regadío de unos pocos ríos de la cuenca. En los casos en que estaban presentes las plantas, se hallaban en malas condiciones para producción comercial, y mostrando una caída en el crecimiento vegetativo, con una cantidad pobre de frutos, sin poder alcanzar una producción estable en condiciones aceptables (Walter, 2018).

El agua que se destina al riego de los cultivos como frutales, legumbres, hortalizas y cereales necesita satisfacer un patrón de calidad. No debe contener sustancias en exceso que pueden resultar contaminantes en agua, planta y también suelo. Investigaciones realizadas en el valle dan cuenta de baja calidad de agua, detectando presencia de boro con valores significativamente altos en suelo y agua (Ortega, 1990). También se ha registrado intoxicación con boro en cultivos de poroto (Ortega, 1992).

Según Walter (2018), se encontró contaminación en aguas de riego con B en forma constante en algunos ríos en la subcuenca del río Calchaquí perteneciente a la alta cuenca del río Juramento. El nivel de B

es entre: mayor a 1 mg L^{-1} y $3,62 \text{ mg L}^{-1}$, como ejemplo, estimándose que afecta un área regada de 4.713 ha en los departamentos de Cachi y Molinos (Walter, 2019). Estos niveles de provisión constante de B en suelo; afectan y limitan la posibilidad de cultivar de forma diversificada (Tabla 1). La concentración de B en las aguas es absorbida por las plantas de producción y su acumulación en estas ocasiona un decrecimiento lineal de rendimiento a partir de un valor límite de B concentrado en la planta y tipo de planta. Sin embargo, no todos los cultivos tienen esta limitante. La tolerancia de los cultivos al B varía dependiendo del clima, de las condiciones del suelo y las variedades de cultivos (Ayers R. y Westcot D., 1985).

Este trabajo intenta indagar, a través de fuentes de diferentes autores, los posibles motivos de la presencia de B en los ríos de la cuenca alta del río Juramento situada en los valles Calchaquíes salteños.

Materiales y métodos

Se realizó un análisis basándose en el material producto de una búsqueda exhaustiva de información

Tabla 1. Clasificación agronómica de los contenidos de boro en el extracto a saturación de suelos (mg L^{-1}) y sensibilidad de los cultivos.

Clasificación agronómica del suelo				Cultivos
Muy buena	Buena a regular	Regular	Mala	
Sin Limitaciones	Poco limitante	Limitante	Muy limitante	
< 0,5	0,5 a 0,75	0,75 a 2	> 2	Cultivos muy sensibles: Grosella, Limonero, Zorzalera
< 0,75	0,75 a 1	1 a 4	> 4	Cultivos sensibles: Ajo, Álamo, Alcachofa, Batata, Bergamota, Cebolla, Cerezo, Ciruelo, Damasco, Diente de león, Duraznero, Frutilla, Girasol, Guindo, Higuera, Lupino, Maní, Manzano, Mungo, Naranja, Níspero, Nogal, Olmo, Palto, Pecan, Peral, Pensamiento, Pomelo, Poroto, Sauce, Sésamo, Topinambur, Trigo, Vid, Violeta, Zinia.
< 1	1 a 4	4 a 6	> 6	Cultivos semitolerantes: Acelga, Ají, Amapola, Aguanieves, Arándano, Arveja, Avena, Brócoli, Calabaza, Caléndula, Caupe, Cebada, Centeno, Coliflor, Espinaca, Haba, Lechuga, Maíz, Melilotus, Melón, Menta, Mostaza, Nabo, Olivo, Papa, Pepino, Pimiento, Poa, Poroto lima, Rabanito, Rábano, Repollo, Rosal, Tabaco, Trigo, Tulipán, Zanahoria, Zapallo.
< 4	4 a 6	6 a 8	> 8	Cultivo tolerante: Alfalfa, Achicoria, Cardo, Gladiolo, Oxalis, Perejil, Remolacha, Sésamo, Tomate, Vicia.
< 6	6 a 8	8 a 15	> 15	Cultivos muy tolerantes: Apio, Algodón, Espárrago, Palma datilera, Sorgo.

Fuente: Ortega 2006.

secundaria en distintas bases digitalizadas y bibliotecas especializadas. El contenido se enfocó en los orígenes y efectos de la presencia de B, a niveles tóxicos, por diferentes motivos. También se hicieron consultas a profesionales con conocimiento de esta problemática, así como visitas a campo. Por último, se identificó y contrastó la información de diferentes programas de desarrollo nacionales y extranjeros, que promocionan la innovación productiva relacionada con el riego para la producción en zonas áridas cercanas a la Puna.

Se complementó con una investigación exploratoria (Salta, Argentina) concibiéndose como uno de los primeros acercamientos a la definición del problema desde un planteo de desarrollo regional.

Los ríos de la alta cuenca del Juramento

El valle Calchaquí salteño se desarrolla por la presencia de ríos cuyas aguas contribuyen al desarrollo territorial en muchas de sus formas. Los principales ríos circulan de norte a sur, alimentándose de aguas desde el oeste principalmente. El área de la alta cuenca del río Juramento comienza en el norte en el departamento de La Poma y como eje-guía principal, el río Calchaquí. Este río atraviesa un área que se caracteriza por ser una fosa tectónica de orientación norte-sur, acompañada en su totalidad por la fosa Calchaquí. Nace en el nevado del cerro Acay –al norte y sus aguas se utilizan para el regadío de los departamentos. La Poma, Cachi y Molinos, y desciende llegando hasta el sur hasta el departamento de San Carlos. Tiene afluentes del lado oeste, de aguas permanentes, como Palermo, Cachi, Brealito y Molinos, y por el este es alimentado por escorrentías de agua no permanentes y ocasionales, producto de lluvias en los cerros que rodean el valle. Esta misma red fluvial, a lo largo de su recorrido, se alimenta de escasas precipitaciones de carácter torrencial. Las lluvias caen durante los meses de diciembre, enero y febrero, con una pendiente media fuertemente accidentada del 26%. Las aguas de las quebradas, arroyos y ríos de la margen izquierda tienen menor importancia y principalmente son cursos de agua temporarios principalmente, básicamente de origen pluvial. Mientras que los del lado derecho son pluviales y producto de deshielo (Paoli *et al.*, 2011).

Este recorrido del río Calchaquí se encuentra en paralelo a los salares del vecino departamento

Los Andes. De esta manera, el Calchaquí tiene agua todo el año al igual que el resto de los afluentes de la margen derecha (Figuras 3, 4 y 5).

Los yacimientos

“La Puna Argentina ha sido reconocida internacionalmente como un excelente laboratorio natural para estudiar el origen de los boratos. En la Puna tenemos una gran cantidad de volcanes, un clima muy árido y muchos lagos secos o salares. Los volcanes producen numerosos gases, entre ellos, el boro” (Alonso, 2008).

En Argentina sólo se encontraron depósitos de boratos en evaporitas continentales y su génesis está relacionada con un vulcanismo activo, cuencas endorreicas y clima árido. Los depósitos de boratos se originan por precipitación química-evaporítica a partir de soluciones sobresaturadas en iones B. Los salares son los yacimientos con mayor concentración de boratos, como también los de más simple explotación.

Según Chong Díaz *et al.* (1989), los salares, depósitos de Sudamérica, tienen las reservas más importantes de minerales económicos de B conocidas en este continente y existe un sector andino denominado el Codo de Santa Cruz (Figura 1), que se encuentra aproximadamente entre los 14° y 27° latitud sur. Este sistema orogénico andino puede alcanzar hasta 600 km de ancho, y está caracterizado por numerosas cuencas cerradas que sirven como niveles de base locales a sistemas de drenajes de la Alta Cordillera, conocida también como puna o altiplano. Es importante señalar que esta área de salares se extiende a tres países: Chile, Bolivia y Argentina.

Según Ros Moreno (2009), la Puna sudamericana posee las terceras reservas mundiales de boratos, después de Turquía y la costa de EE.UU. Los boratos constituyen la primera fuente natural del elemento B. Son sales o esteres de ácido bórico, los cuales contienen el radical B_2O_3 . Las concentraciones económicas de boratos se encuentran limitadas a salares, salmueras y skarns (SEGEMAR–USAM, 2005). En la zona de los salares, según Alonso (2008), el B asciende y se une con las aguas termales, las cuales se dan abundantemente alrededor de los volcanes. Se mezcla químicamente con otros elementos y produce los boratos. Al llegar a la superficie, el agua cargada de B se derrama en los salares, donde se enfría y evapora rápidamente.

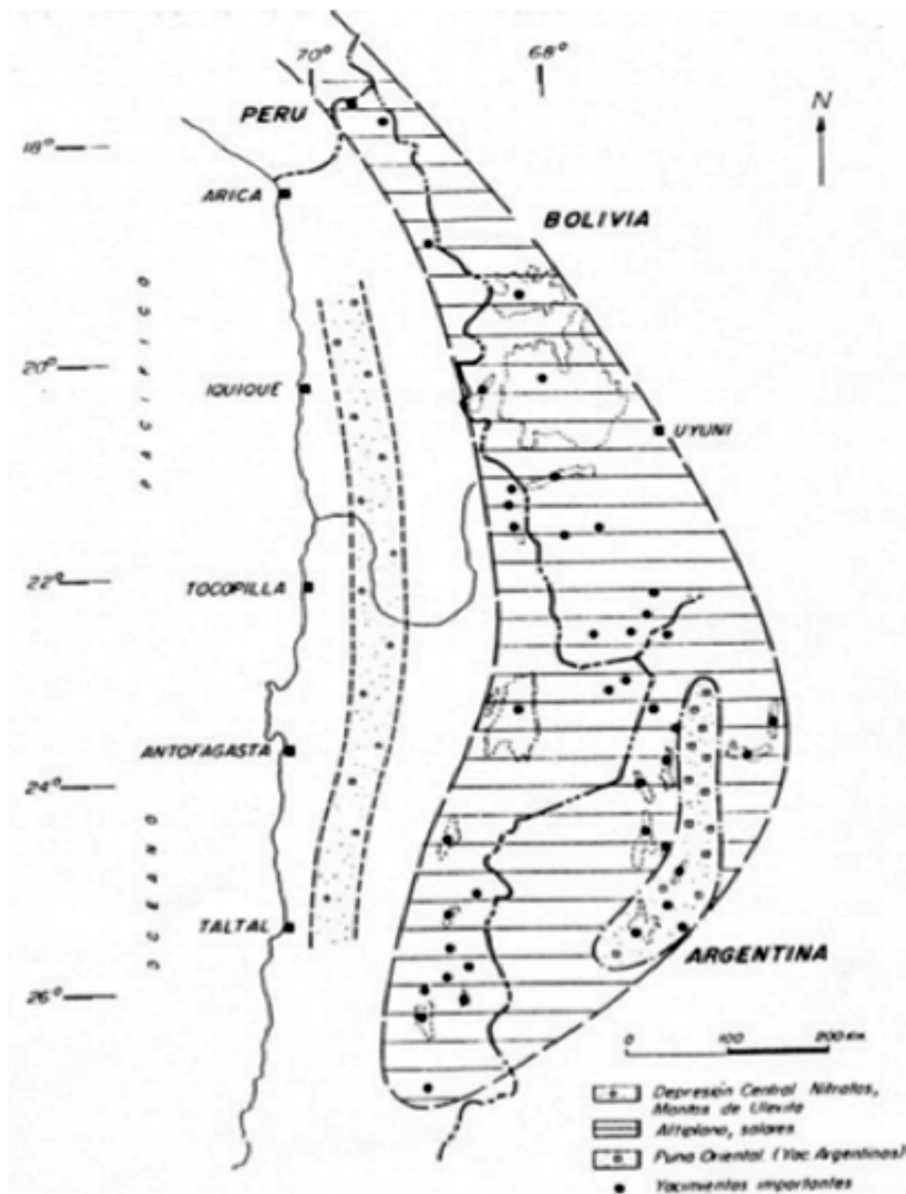


Figura 1. Codo de Santa Cruz en los límites de tres países: Argentina, Chile y Bolivia.
Fuente: Chong Díaz *et al.*, 1989.

Los boratos en la Puna salteña

Los yacimientos de boratos salteños están en el departamento de Los Andes, la Puna salteña y linderos de los departamentos del valle Calchaquí, como La Poma, Cachi y Molinos (Figura 2).

Se compone de una cuenca endorreica que atraviesa los salares de gran aprovechamiento para la actividad minera. Muchos de esos salares

poseen depósitos de boratos de edades terciarias (mioceno - plioceno) y cuaternarias (pleistoceno - actual). Los sectores central y sur incluyen las cuencas del salar de Pocitos o Quirón, de Pastos Grandes, Juanita Rita y Pozuelos, La Laguna Barreal y Centenario, del Diablo, Ratones, Diablillos y Hombre Muerto (SEGEMAR-USaM, 2002).

En esta cuenca endorreica, según el Instituto de Recursos Naturales (IRN) de Salta (2014), todos

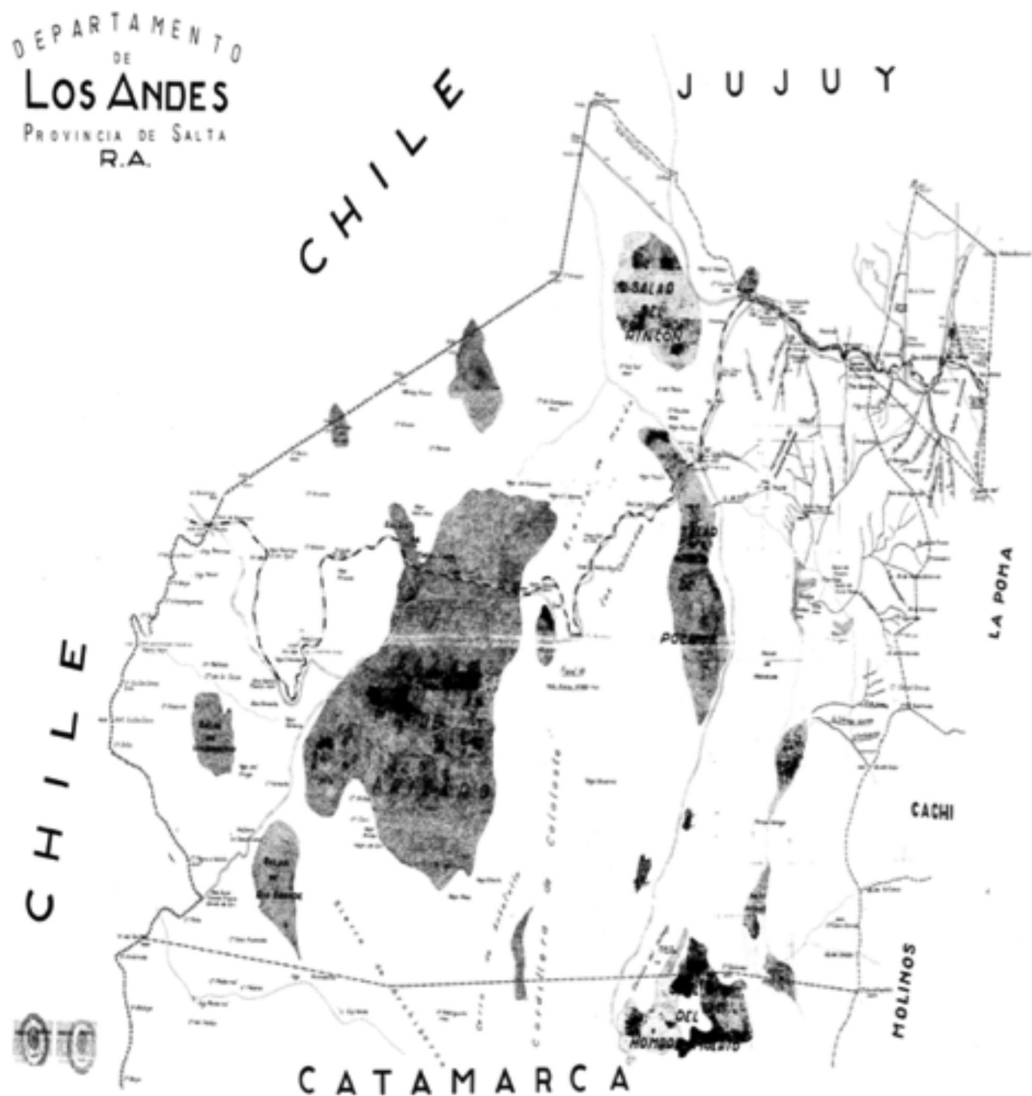


Figura 2. Departamento de Los Andes. Provincia de Salta.
Fuente: Dirección General de Inmuebles de la provincia de Salta.

los arroyos nacen de los aportes que descienden de las estribaciones de las Sierras de Pastos Grandes, Nevados de Pastos Grandes, Cumbres del Luracatao, Sierras de Aguas Calientes, Cordón de Pozuelos y Sierra de los Ratones, entre otros. Los nacimientos están a 5000 msnm, y se forman por las aguas de deshielo de las altas cumbres y por las escasas precipitaciones. Siguen por las vaguadas y quebradas, arrastrando escombros de las laderas, desprendidos por la disgregación mecánica y productos de levigación –sales y boratos en disolución– hacia las cuencas más bajas.

Esta zona está separada del valle Calchaquí por sierras y nevados. Se comunican a través de abras como la del cerro El Quemado y la de Tolar que se conecta con el departamento de Cachi y las del cerro Cueva Grande, del Diablo y de la Cueva que se comunica con el departamento de Molinos.

Paralelamente, en la Puna se ha desarrollado explotación minera en B desde hace mucho tiempo. Según Tinte *et al.* (2011), en el departamento de los Andes existe una explotación minera de la compañía Bórax Argentina, la más antigua

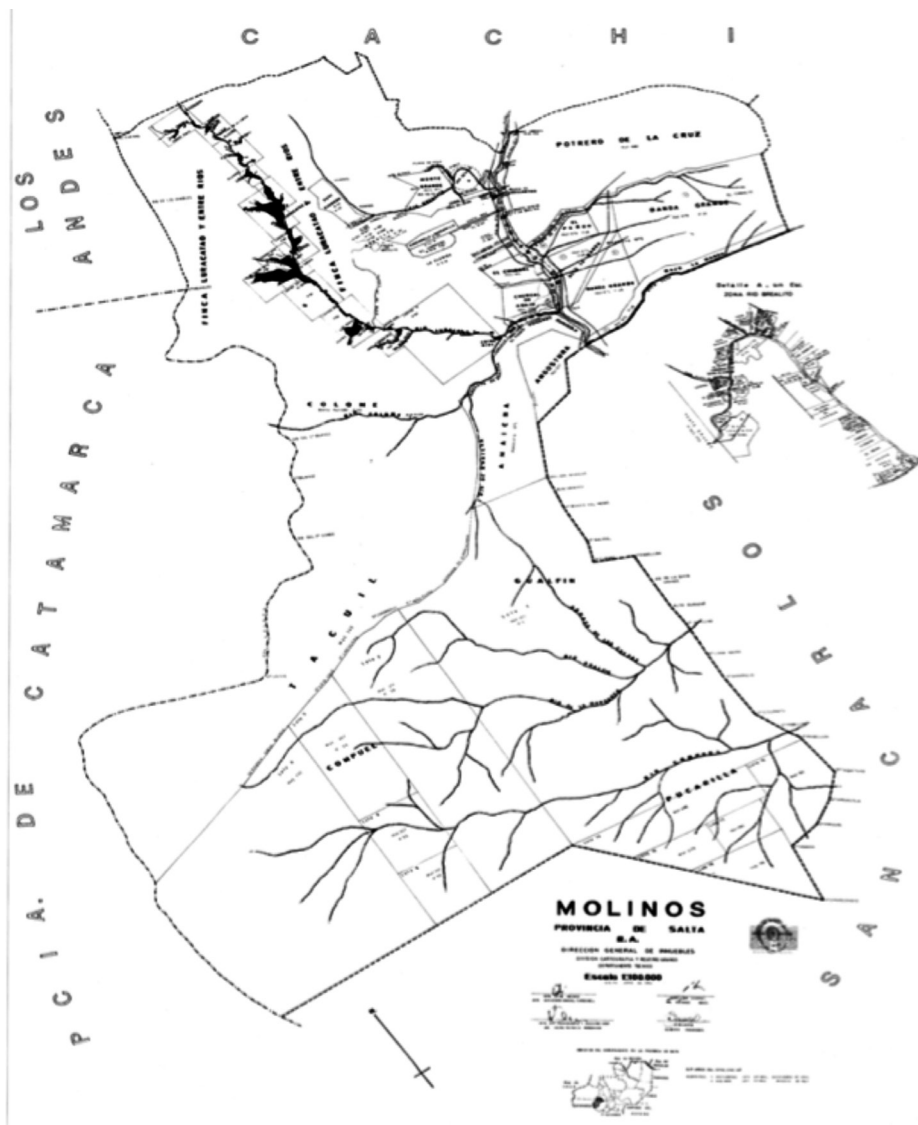


Figura 3. Departamento de Molinos. Provincia de Salta.
Fuente: Dirección General de Inmuebles de la provincia de Salta.

instalada en el país, que opera el yacimiento de Tincalayu desde la década del cincuenta. Las pymes instaladas, tanto en Salta como en Jujuy, cuentan con una antigüedad de alrededor de veinte años y la mayoría de las empresas explotan minas de B en la Puna.

Discusión y conclusiones

Existen muchas presunciones en relación con el origen de la presencia de B en las aguas de los ríos en los valles Calchaquies salteños. Se plantean

varias hipótesis no excluyentes de diferentes autores. Por un lado, las basadas en efectos naturales: IRN (2014) afirma que la presencia de B se debe a la acción de la levigación, que es un proceso de separación granulométrica de sólidos a través de las descargas de aguas residuales en la red hidrográfica; y también puede ser por los flujos geotérmicos subterráneos en contacto con los sedimentos terciarios y cuaternarios localizados en la parte baja de la cuenca (Velázquez *et al.*, 2011). Por el otro, las basadas en el efecto de la minería: Tinte *et al.* (2011) sostienen que la contaminación

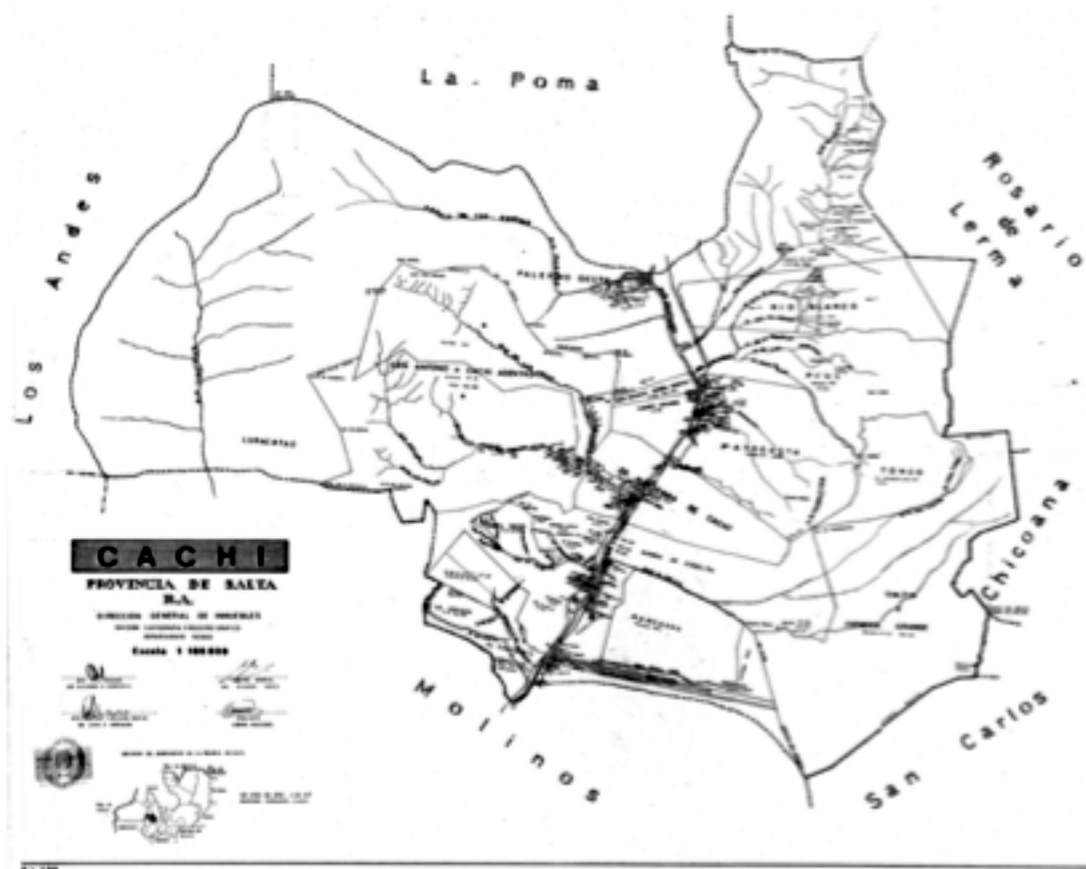


Figura 4. Departamento de Cachi. Provincia de Salta
Fuente: Dirección General de Inmuebles de la provincia de Salta.

se origina por los residuos de explotación minera y que toda la actividad extractiva de minerales de B se localiza en el departamento de Los Andes y en el norte del departamento La Poma. Asimismo, Bianchi (2008) señala que la actividad minera desecha barros químicos en pos del beneficio de minerales como el B y metales pesados, contaminando suelos, aguas subterráneas, ríos y embalses. Ros Moreno (2009) agrega que los yacimientos se encuentran en zonas desérticas con escasa provisión de agua y el uso de pozas de evaporación solar en la extracción minera, en grandes extensiones de terreno para facilitar la evaporación, representa un evidente riesgo de filtración y, por ende, una constante amenaza de contaminación ambiental.

En todas estas hipótesis se coincide en la presencia de B en la zona de la Puna en una concentración importante y con influencia en el valle Calchaquí salteño. Paoli H. *et al.* (2011)

afirman que algunos cursos de agua provienen de las quebradas de las Conchas, de las Arcas y de las Cuevas, relacionadas con los ríos de las Arcas y Trancas, tienen sus nacientes en zona de hielo permanente y aportan sus aguas al río Calchaquí, a través del río Cachi.

Es importante señalar que la calidad de agua de riego debe ser idónea para su uso y óptima para obtener una producción máxima con prácticas acertadas de manejo. La baja calidad de aguas para riego en esta zona trae problemas para la incorporación de cultivos nuevos aptos agroecológicamente, en la elección del tipo de manejo de suelo y en el potencial de los cultivos. Por lo tanto, es uno de los motivos de las limitaciones en la potencialidad de la zona e ingresos económicos y la viabilidad de la empresa productiva agropecuaria.

El micronutriente boro, al estar presente en exceso en las aguas, limita la posibilidad de obtener

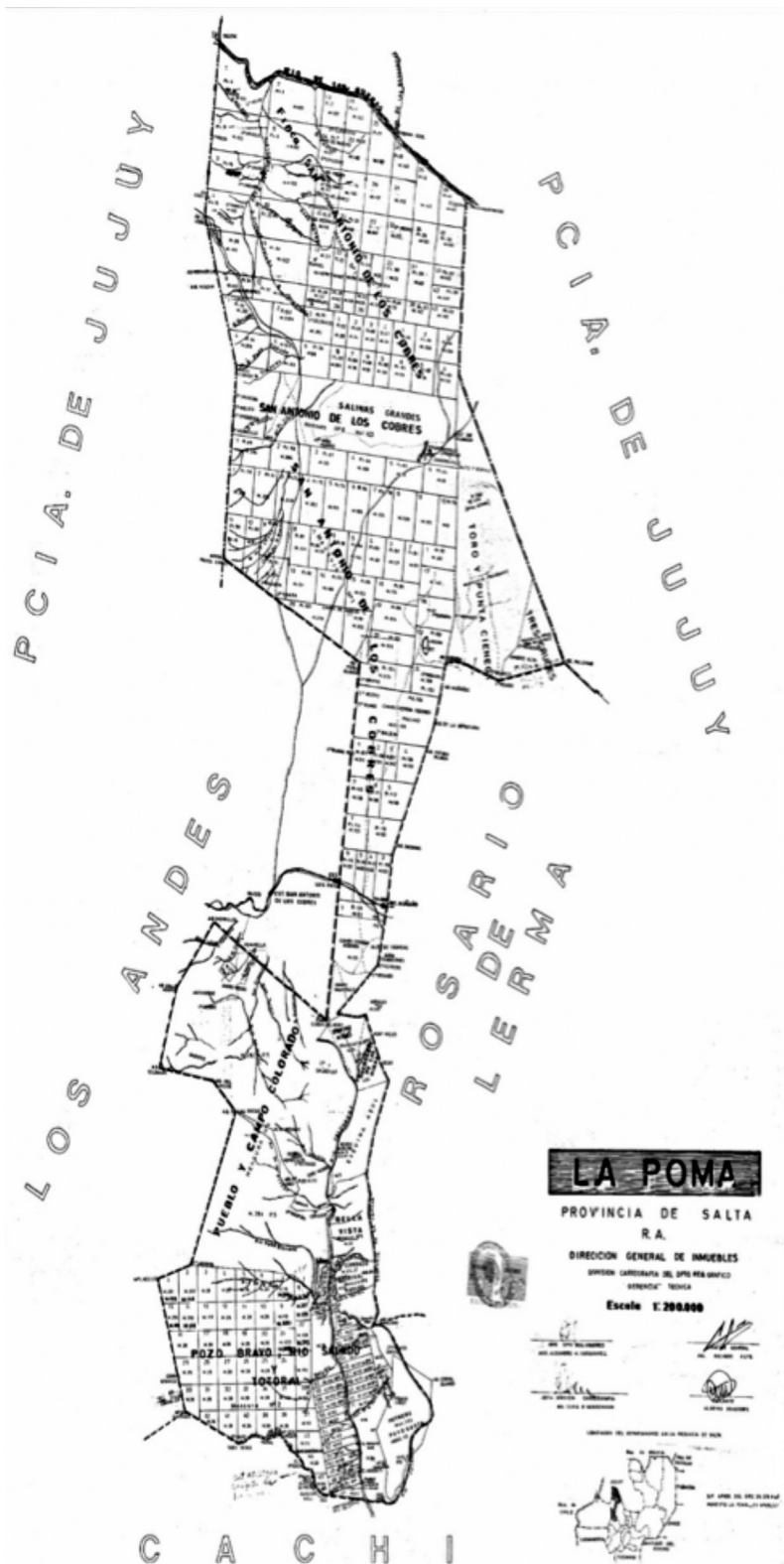


Figura 5. Departamento de La Poma. Provincia de Salta.
Fuente: Dirección General de Inmuebles de la provincia de Salta.

mayor diversidad de cultivos y en el caso de los tolerantes, no alcanzan sus potenciales óptimos para estas zonas de riego áridas y semiáridas.

La presencia del B en las aguas se puede dar por muchos factores y existen varios motivos por los cuales llega a los ríos del valle Calchaquí salteño. Estas hipótesis señaladas por los autores definen una situación multicausal y abren una puerta para investigar más profundamente, con base en los diferentes lineamientos planteados, además de considerar el inminente proceso de contaminación latente.

Esta nueva búsqueda de soluciones permitirán incentivar la incorporación de conocimiento y de

tecnología específica para mitigar la presencia de B. En el caso de que la contaminación sea por extracción y producción de boratos en la Puna, se deberá tomar los recaudos necesarios para no acrecentar la provisión constante de B al cauce de los ríos que hoy ya está en proceso en la zona.

El aporte que podemos hacer es la necesidad de planificación con respecto al uso de los suelos regados por ríos con presencia en exceso de B y resaltar que la provisión constante de aguas al suelo con B, sin una mitigación, acrecienta las limitaciones por acumulación en suelo y aumenta los efectos de contaminación para el establecimiento de cultivos con calidad óptima.

Literatura Citada

- Alonso, R.
2008. La Puna Argentina. Ensayos históricos, geológicos y geográficos de una región singular. Primera Edición. Crisol Ediciones, U.N.Sa-CONICET. Salta, Argentina. 320 p.
- Ayers, R. S.; Westcot, D.
1985. Water Quality for Agriculture: FAO, Irrigation and Drainage N° 29. Roma, Italia. 174 p.
- Bianchi, A.; Bravo, G.
2008. Ecorregiones Norandinas. Descripción, subregiones, agroecosistemas, sistemas productivos y cartografía regional. Ed INTA Salta, Argentina. 60 p.
- Bravo G.; Bianchi A.; Volante J.; Alderete S., Sempronii, G., Vicini, L.; Fernández, M.; Piccolo, M.
2012. Regiones Agroeconómicas del Noroeste Argentino. INTA Salta, Argentina. 7 p.
- Cabrera A.
1994. 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.
- Chong, G.; Pueyo, J.; Demergasso, C.
2000. Los yacimientos de boratos de Chile. *Rev. Geol. Chile*, 27 (1): 99-119.
- IRN.
2014. Instituto de Recursos Naturales, Recursos Hídricos. Aguas subterráneas. Salta. Argentina. Informe. <http://www.mineria.gov.ar/estudios/irn/salta/d4-2.asp>. 2014. Consultado: 1/ene/2016.
- Ortega, A.
1992. Intoxicación con Boro en Cultivos de Poroto de Cachi, valles Calchaquíes, Salta. Argentina. *Revista Panorama Agropecuario*, 14 (42) 18-19.
- Ortega, A.
2006. Capítulo: Toxicidad de micronutrientes. En: Vázquez, M. (ed.). *Micronutrientes en la agricultura. Diagnóstico y Fertilización en Argentina. La experiencia brasilera*. Ed.
- AACS (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 (2a ed.) Ed. ACME SACI. Buenos Aires, Argentina. Pp. 1-86.
- Paoli, H.; Elena, H.; Mosciaro, J.; Ledesma, F.; Noe, Y.
2011. Caracterización de las Cuencas Hídricas de la Provincia de Salta y Jujuy - Cuencas Hidrográficas de la Provincia de Salta: Su relación con el Uso de Agua para Riego. Ed. INTA. Argentina. 8 p.
- Ros Moreno, A.
2009. El Boro (recopilación de estudios sobre el boro). 46 p. SEGEMAR-UNSAM.
2002. Boratos – Seminario de estudios sobre el ciclo minerales – Materiales. Publicación técnica N° 8. ED 2005. Buenos Aires. Argentina. 57 p.
- SEGEMAR-UNSAM.
2003. Sales – Seminario de estudios sobre el ciclo minerales – Materiales. Publicación técnica N° 9. ED 2005. Buenos Aires. Argentina. 105 p.
- Tinte, M.; Valdez, S.; Flores, H.
2011. Industria Argentina de los boratos. Situación actual y perspectivas. *Revista Ingeniería Química*, XLIII (491): 56-63.
- Velázquez, M., Pimentel, J. y Ortega, M.
2011. Estudio de la distribución de boro en fuentes de agua de la cuenca del río Duero, México, utilizando análisis estadístico multivariado. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(1): 19-30.
- 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.

