

Comunicación

FLÚOR EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES DE LA PROVINCIA DE LA PAMPA

FLUORIDE IN SUPERFICIAL WATERS OF LA PAMPA PROVINCE

Echaniz Santiago^{1*} & Alicia Vignatti¹

Recibido 05/09/2018

Aceptado 01/12/2018

RESUMEN

La principal fuente de flúor en aguas superficiales o subterráneas es la solubilización de compuestos fluorados de minerales. El flúor es un oligonutriente, pero su exceso puede ser tóxico para los organismos. En la provincia de La Pampa existe información sobre las concentraciones de fluoruro en aguas subterráneas, debido a que son la principal fuente de agua para consumo humano en muchas localidades. Sin embargo, la información sobre sus concentraciones en aguas superficiales es escasa y dificulta estimar sus posibles efectos sobre organismos acuáticos. El objetivo de este trabajo fue determinar las concentraciones de fluoruro en ecosistemas acuáticos someros de La Pampa y analizar si son superiores a los niveles guía de protección a la biota. Se tomaron muestras entre 2002 y 2017 en 27 ecosistemas. Las determinaciones de fluoruro se hicieron con el método colorimétrico SPANDS. Las concentraciones de F⁻ variaron entre 0,2 y 13,89 mg.L⁻¹ y superaron el nivel guía nacional para protección de la biota acuática (1,4 mg.L⁻¹) en 22 de los ecosistemas estudiados. Se encontró correlación entre la concentración de F⁻ y la salinidad y las lagunas salinas tuvieron concentraciones más altas de fluoruro. No se detectó un patrón de distribución regional, aunque los mayores niveles (>9 mg.L⁻¹ F⁻) se determinaron en lagunas del norte. Las concentraciones de fluoruro en la provincia de La Pampa, fueron más elevadas que las de la mayoría de las aguas superficiales de la provincia de Buenos Aires, aunque fueron similares a los de Chasicó, en el sudoeste bonaerense.

PALABRAS CLAVE: Flúor, lagos someros, lagos salinos, La Pampa

ABSTRACT

The main source of fluoride in superficial or groundwater is the solubilization of fluorinated mineral compounds. Although it is an oligonutrient, its excess can be toxic to organisms. In La Pampa there is information about its concentrations in groundwater, the main source of many cities and towns. The information referred to superficial waters is scarce, which makes it difficult to estimate their possible effects on aquatic organisms. The objective was to know the fluoride concentrations in pampean aquatic ecosystems and analyze if they are superior to the guide levels for biota protection. Samples were taken between 2002 and 2017 in 27 aquatic ecosystems. Fluoride determinations were made with the SPANDS colorimetric method. Concentrations varied between 0.2 and 13.89 mg.L⁻¹ and exceeded the national guideline for aquatic biota protection (1.4 mg.L⁻¹) in 22 ecosystems. There was a correlation with salinity, since higher concentrations were registered in saline shallow lakes. No regional distribution pattern was detected but the highest concentrations (>9 mg.L⁻¹) were recorded in northern lakes. The values of La Pampa, slightly higher than those of most of the water bodies in the province of Buenos Aires, were similar to those of Chasicó Lake, in the southwest of that province.

KEY WORDS: Fluorine, shallow lakes, saline lakes, La Pampa

INTRODUCCIÓN

El flúor (F) es un elemento químico que integra el grupo de los halógenos. Es el más elec-

tronegativo de la tabla periódica y el más reactivo de todos los elementos (García & Borgnino, 2015). Está presente naturalmente en la corteza terrestre donde se encuentra en minerales del suelo y en aguas subterráneas o superficiales (Espósito *et al.*, 2013; Sivasankar *et al.*, 2016).

Cómo citar este trabajo:

Echaniz S. & A. Vignatti. 2018. Flúor en cuerpos de agua superficiales de la provincia de La Pampa. *Semiárida* 28(2): 51-58

¹ Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, La Pampa

* E-mail: santiago@cpnet.com.ar



En el agua, el ión fluoruro (F^-) es un fuerte ligando y forma una gran cantidad de complejos solubles con metales polivalentes como Mg^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} y Ca^{2+} , dependiendo sobre todo del pH del medio (García & Borgnino, 2015; Sivasankar *et al.*, 2016). La principal fuente de ingreso al agua superficial o subterránea es la solubilización de compuestos fluorados de minerales. Este proceso depende de la cercanía de los cuerpos de agua a áreas con sedimentos de origen volcánico (Martínez *et al.*, 2012; Borgnino *et al.*, 2013; Alarcón Herrera *et al.*, 2013; González-Horta *et al.*, 2015); aunque también puede ingresar por acción antrópica, sobre todo por actividades industriales o agropecuarias (Puntoriero *et al.*, 2014 a).

Aunque para los seres vivos es un oligonutriente que, en el caso de los vertebrados, incrementa la estabilidad estructural de dientes y huesos a través de interacciones con fosfatos de calcio, su exceso puede ser tóxico (García & Borgnino, 2015). Los niveles elevados de F^- en los ecosistemas acuáticos son perjudiciales para la biota, ya que puede inhibir el crecimiento de las poblaciones acuáticas, producir cambios en el comportamiento, causar alteraciones enzimáticas, deformaciones óseas y retraso en la eclosión de los huevos fecundados (Rosso *et al.*, 2011 a; Puntoriero *et al.*, 2014 a; Volpedo, 2014). En este sentido, se han reportado algunos cambios histológicos perjudiciales en el hígado y branquias de pejerreyes (*Odontesthes bonariensis*) en Chasicó, atribuidos a concentraciones elevadas de F^- (Puntoriero *et al.*, 2018). Además, este elemento puede biotransferirse a los diferentes niveles tróficos, llevando a procesos de bioacumulación (Puntoriero *et al.*, 2014 a).

En Argentina, la mayoría de las provincias localizadas en la gran llanura chaco pampeana (Chaco, Santiago del Estero, Córdoba, Santa Fe, La Pampa y Buenos Aires), se caracterizan por tener elevadas concentraciones de F^- en sus aguas subterráneas (Rosso *et al.*, 2011 b; Martínez *et al.*, 2012; Espósito *et al.*, 2013), que en algunas áreas pueden superar los $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Rosso *et al.*, 2011 a) al punto de ser consideradas un “área caliente” (González-Horta *et al.*,

2015). Aunque los estudios en aguas superficiales son escasos, también se han encontrado concentraciones relativamente elevadas en cuerpos de agua de Buenos Aires (Rosso *et al.*, 2011 b; Espósito *et al.*, 2013; Chirkes *et al.*, 2014; Volpedo, 2014) y se ha observado un incremento de los niveles hacia el sudoeste de esa provincia, siendo la laguna Chasicó, ubicada en el partido de Villarino, el cuerpo de agua que presenta las mayores concentraciones (Volpedo, 2014; Puntoriero *et al.*, 2014 b, 2015).

Debido a sus efectos negativos sobre la salud humana (Puntoriero *et al.*, 2014 a; García & Borgnino, 2015), en la provincia de La Pampa existe información sobre concentraciones de F^- en aguas subterráneas, dado que son fuente de agua de consumo para muchas poblaciones (Giai & Tullio, 1998; Otrosky *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2001, 2013; Schulz *et al.*, 2013; Pariani *et al.*, 2014). Sin embargo, la información sobre su presencia y concentración en aguas superficiales es muy escasa y dispersa, lo que dificulta estimar los posibles efectos de este anión sobre los organismos que habitan los ecosistemas acuáticos. Por ello, el objetivo de este trabajo fue conocer los niveles de F^- en cuerpos de agua someros (lagunas, ojos de agua, entre otros), un tipo de ecosistema acuático ampliamente representado en La Pampa, determinar la posible existencia de patrones regionales de distribución y, teniendo en cuenta que el mayor ingreso del agua a la mayoría de estas lagunas se produce por aportes freáticos naturalmente ricos en fluoruro, probar la hipótesis de que la evaporación hace que sus concentraciones en aguas superficiales sean muy elevadas, pudiendo alcanzar niveles considerados perjudiciales para la biota acuática.

MATERIALES Y MÉTODOS

Entre 2002 y 2017 se colectaron muestras de agua en 27 ecosistemas acuáticos de la provincia de La Pampa (Tabla 1 y Figura 1). Debido a que los muestreos se hicieron en el marco de diferentes proyectos de investigación, la cantidad de muestras obtenidas en cada cuerpo de agua no fueron siempre las mismas y se indican en la Tabla 1. Las muestras de agua se tomaron a medio metro de profundidad, en la zona más

Tabla 1: Ubicación geográfica, salinidad, pH de los cuerpos de agua muestreados entre 2002 y 2017 en la provincia de La Pampa y número de muestras para la determinación de fluoruro obtenidas en cada uno (N).

Table 1: Geographical location, salinity and pH of the water bodies sampled between 2002 and 2017 in the province of La Pampa and number of samples for the determination of fluoride obtained in each one (N).

Cuerpos de agua	Ubicación	Salinidad (g.L ⁻¹)	pH	N
1 Laguna de Vila	35° 10' S, 64° 05' O	7,4	10,0	1
2 Laguna La Tradición	35° 17' S, 63° 38' O	8,0	8,8	1
3 Ojo de agua La Tradición	35° 17' S, 63° 37' O	1,1	8,3	1
4 Ojo agua Dos molinos	35° 22' S, 63° 36' O	0,4	7,7	1
5 Laguna Ustarroz	35° 22' S, 63° 34' O	3,6	8,5	1
6 Laguna El Bellaco	35° 25' S, 63° 36' O	1,4	7,9	1
7 Laguna Chadilauquen	35° 24' S, 64° 19' O	25,3	9,4	8
8 Laguna Estancia Pey – Ma	35° 26' S, 64° 15' O	36,7	9,4	6
9 Laguna Aime	35° 28' S, 64° 15' O	13,6	9,1	3
10 Laguna La Arocena	35° 40' S, 63° 42' O	0,4	7,6	4
11 Laguna El Guanaco	36° 19' S, 64° 16' O	0,7	8,0	2
12 Laguna Estancia San José	36° 21' S, 63° 55' O	30,8	9,4	6
13 Ojo de agua Uriburu	36° 31' S, 63° 53' O	51,3	9,7	2
14 Laguna Don Tomás	36° 37' S, 64° 19' O	1,0	8,3	6
15 Bajo de Giuliani	36° 41' S, 64° 15' O	10,6	9,1	6
16 Laguna oeste Parque Luro	36° 55' S, 64° 16' O	29,3	9,1	2
17 Laguna este Parque Luro	36° 55' S, 64° 10' O	262,2	7,6	2
18 Laguna campo El Destino	37° 06' S, 64° 17' O	12,6	9,8	2
19 Laguna La Laura	37° 10' S, 64° 17' O	18,5	9,2	2
20 Laguna Estancia Los Manantiales	37° 12' S, 64° 17' O	8,4	9,9	2
21 Ojo agua Padre Buodo	37° 14' S, 64° 17' O	0,5	8,5	2
22 Laguna Padre Buodo	37° 19' S, 64° 18' O	1,5	9,7	2
23 Laguna de Utracán	37° 17' S, 64° 36' O	33,2	9,6	8
24 Laguna Quetré Huitrú	37° 21' S, 64° 34' O	0,8	10,1	2
25 Laguna El Carancho	37° 27' S, 65° 03' O	11,6	9,5	6
26 Laguna La Amarga	38° 13' S, 66° 07' O	115,5	7,8	4
27 Laguna de Guatraché	37° 44' S, 63° 31' O	345,4	7,7	2

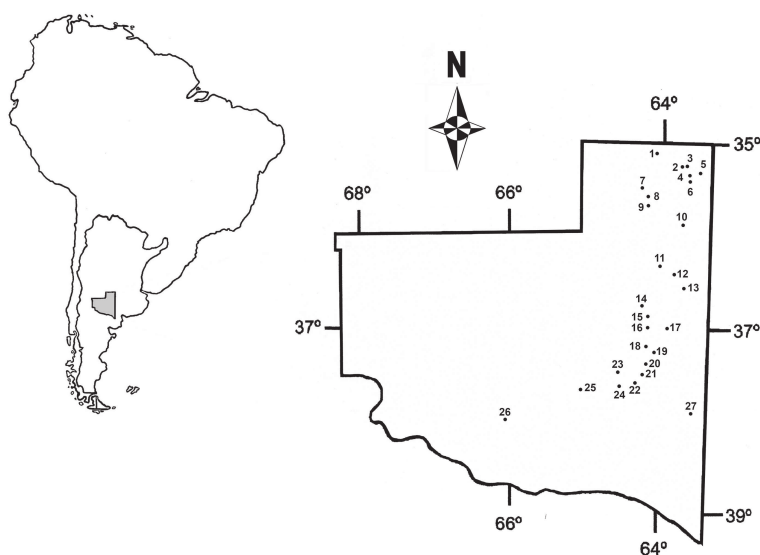
profunda de cada cuerpo de agua y se mantuvieron refrigeradas hasta su análisis posterior en el laboratorio. La determinación de la salinidad se realizó por secado de 50 ml de agua previamente filtrada a 104°C hasta peso constante (APHA, 1992). La determinación del pH se realizó in situ utilizando un peachímetro Corning PS 15. Las determinaciones de fluoruro (F⁻) se hicieron por

el método colorimétrico SPANDS.

Se clasificó a los cuerpos de agua estudiados en base a la salinidad según la propuesta de Hammer (1986), considerándose que: lagos de agua dulce son los que tienen hasta 0,5 g.L⁻¹, los subsalinos entre 0,5 y 3 g.L⁻¹, los hiposalinos entre 3 y 20 g.L⁻¹, los mesosalinos entre 20 y 50 g.L⁻¹ y los hipersalinos los que superan los 50

Figura 1: Ubicación geográfica de los cuerpos de agua muestreados entre 2002 y 2017 en la provincia de La Pampa. Los números corresponden a los cuerpos de agua que figuran en la Tabla 1

Figure 1: Geographical location of the water bodies sampled between 2002 and 2017 in the province of La Pampa. The numbers correspond to the lakes in Table 1



g.L^{-1} de sales. Dada la falta de normalidad de los datos, el análisis de la relación entre la salinidad y la concentración de F^- se hizo mediante el cálculo del coeficiente de correlación de Spearman (r_s) (Zar, 1996). Se utilizó el software Past (Hammer *et al.*, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los ecosistemas acuáticos estudiados están localizados en un amplio territorio, aunque la mayor parte están ubicados en el sector noreste de la provincia (Figura 1). En esa región son más numerosos debido a las mayores precipitaciones (800 mm anuales aproximadamente), las que disminuyen hacia el sudoeste provincial (<300 mm anuales) (Servicio Meteorológico Nacional, 2018).

Los cuerpos de agua estudiados tuvieron un amplio rango de salinidades. Entre los de muy baja salinidad (< 2 g.L^{-1}) se muestrearon ojos de agua de superficies menores a 3 ha, ubicados en zonas medanosas, como La Tradición y Dos molinos, en el noreste de la provincia (departamento Chapaleufú) o en la región central (departamento

Utracán) y también lagunas fuertemente influenciadas por ciudades cercanas tales como Don Tomás y La Arocena, ubicadas en Santa Rosa y General Pico, las dos ciudades más importantes de la provincia. También se relevaron lagos hipersalinos (>50 g.L^{-1}) tales como la laguna Este de Parque Luro (departamento Toay), La Amarga (departamento Curacó) o Guatraché (departamento Guatraché) (Tabla 1).

Con la excepción de las lagunas influenciadas por ciudades (Don Tomás y La Arocena), en las que un gran volumen del agua que ingresa a ellas proviene de los desagües pluviales urbanos, la mayor parte de los cuerpos de agua estudiados comparten la característica

de ser alimentados por precipitaciones y aportes freáticos (Dornes *et al.*, 2016). Éstos últimos son particularmente importantes, ya que durante los ciclos húmedos de varios años de duración, típicos de la región en la que se encuentra la provincia de La Pampa (Viglizzo, 2010), se produce la recarga de agua subterránea, la que circula y posteriormente se descarga en las zonas bajas donde están los cuerpos de agua. Esto hace que, a pesar de que muchos lagos sean temporarios, puedan contener agua durante buena parte de los períodos secos.

En la composición iónica del agua de la mayoría de los lagos de La Pampa predominan el Na^+ y Cl^- , lo cual es una característica compartida con muchos de los ambientes de la llanura chaco pampeana (Drago & Quirós, 1996; Fernández Cirelli & Miretzky, 2004). La excepción la constituyen los lagos de baja salinidad en los que domina el HCO_3^{2-} entre los aniones (Echaniz & Vignatti, 2017). Sin embargo, no se ha detectado un patrón geográfico respecto a composición iónica ni su salinidad, parámetros que dependen especial-

mente de condiciones locales (Echaniz & Vignatti, 2017).

Las concentraciones de F^- en las aguas superficiales variaron entre un mínimo de 0,2 y un máximo de 13,89 $mg.L^{-1}$, registrados en un ojo de agua subsalino cercano al límite noreste (Ojo agua Dos Molinos) y en la laguna mesosalina Chadilauquen respectivamente (Figura 2). No se encontró un patrón de distribución regional de F^- . Sólo se encontró correlación con la salinidad ($r_s = 0,52$; $p = 0,0049$), ya que las mayores concentraciones se registraron en lagunas mesosalinas del norte provincial, Chadilauquen y Pey-Ma (ambas en cercanías de Embajador Martini). Esto podría deberse a que, como en otros lagos de la llanura pampeana las concentraciones de F^- de las aguas superficiales están correlacionadas con las de las subterráneas (Puntoriero *et al.*, 2015). En la zona donde están estas lagunas se han determinado concentraciones de F^- en aguas subterráneas que pueden alcanzar hasta 15 $mg.L^{-1}$ (Castro *et al.*, 2002) y como la descarga de estas aguas alimentan esas lagunas (Dornes *et al.*, 2016), la evaporación y concentración llevaría a que tengan esas concentraciones.

Los valores de F^- superaron el nivel guía nacional para protección de la biota acuática (1,4 $mg.L^{-1}$ -Ley 24051-) en 22 de los cuerpos de agua muestreados (Echaniz & Vignatti, 2017).

Se ha indicado que la concentración de flúor en aguas superficiales continentales generalmente está en el rango de 0,01 a 0,3 $mg.L^{-1}$ (Puntoriero *et al.*, 2014 a), sin embargo, Rosso *et al.* (2011 a) encontraron concentraciones que superaron ese máximo en 10 ecosistemas lóticos (de

agua corriente) de la provincia de Buenos Aires, Martínez *et al.* (2012) registraron una media de 2,14 $mg.L^{-1}$ en aguas superficiales de la cuenca del Río Quequén, también en Buenos Aires, y Chirkes *et al.* (2014) registraron entre 0,11 a 0,72 $mg.L^{-1}$ de F^- en otros cuerpos de agua superficiales de Buenos Aires, del sur de Córdoba y de Santa Fe y del norte de La Pampa. Volpedo (2014) indicó que en la provincia de Buenos Aires se distinguen dos cuencas hidrográficas en las que se registraron concentraciones de F^- diferentes. En primer lugar, la de la cuenca del Río Salado, donde las concentraciones rondan 0,22 a 0,75 $mg.L^{-1}$ y la otra, correspondiente al sudoeste bonaerense, con cuerpos de agua que muestran con-

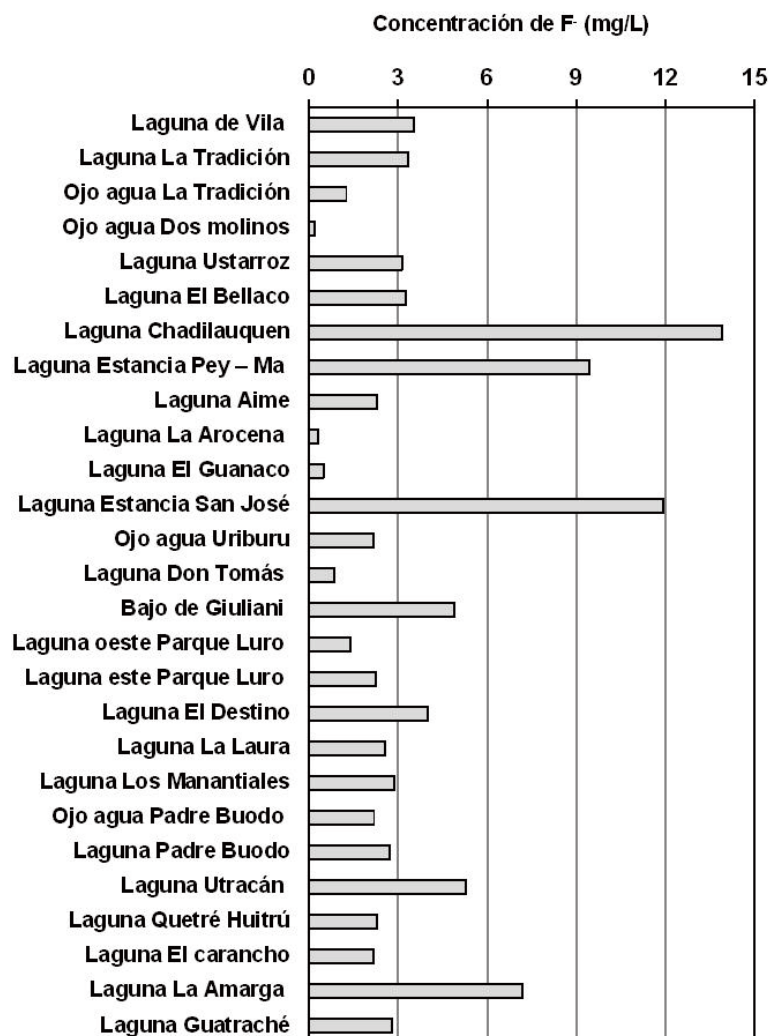


Figura 2: Concentraciones de F^- registradas en los lagos estudiados en La Pampa.

Figure 2: Concentrations of F^- registered in the lakes studied in La Pampa.

centraciones mayores, que oscilan entre 0,57 y 1,64 mg.L⁻¹. De esta forma, la concentración de F⁻ del 78% de los cuerpos de agua de La Pampa supera las registradas en las aguas superficiales mencionadas. Sin embargo, son similares a las que Espósito *et al.* (2013) hallaron en muestras obtenidas en cuerpos de aguas superficiales cercanos a Bahía Blanca, con valores de hasta 6,5 mg.L⁻¹ o a los que Volpedo (2014) y Puntoriero *et al.* (2014 a, b) indicaron para el lago salino Chasicó, en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (6,58 - 8,54 mg.L⁻¹). Como este último lago tiene una población estable de pejerreyes que le confiere una gran importancia económica y turística (Puntoriero *et al.*, 2014 a), se han realizado estudios destinados a conocer el efecto del F⁻ sobre estos peces y Puntoriero *et al.* (2018) encontraron cambios histológicos en el hígado y branquias, atribuibles a concentraciones elevadas de este anión.

Las elevadas cantidades de F⁻ en ecosistemas acuáticos de La Pampa puede relacionarse con la presencia de concentraciones elevadas en aguas subterráneas, ya que es conocida la asociación entre ambos compartimientos (Rosso *et al.*, 2011 a). Dado que gran parte del agua que alimenta los cuerpos de agua superficiales proviene de descargas desde niveles freáticos naturalmente enriquecidos con este ión y como la mayoría carece de efluentes que drenen el agua, durante el secado de los lagos que se produce en períodos secos (Viglizzo, 2010) ocurren procesos de evaporación y la consecuente concentración de sales (Echaniz & Vignatti, 2017), mecanismos que gobiernan la química del agua de forma parecida a lo que ocurre en el lago endorreico Chasicó (Volpedo & Fernández Cirelli, 2013; Puntoriero *et al.*, 2014 b; 2015) y que habrían llevado a que este ecosistema también presente altas concentraciones de F⁻ (Volpedo, 2014; Puntoriero *et al.*, 2015).

En La Pampa, las concentraciones de F⁻ más altas (>9 mg.L⁻¹), se registraron en tres lagunas del norte de la provincia (Chadilauquen, Pey-Ma y San José), lo que puede deberse a procesos de concentración, ya que estos cuerpos de agua son el nivel de base de extensas cuencas arreicas en el que confluyen las descargas de la escorrentía

superficial y subterránea y desde donde el agua solo se pierde por evaporación debido a la falta de cursos de agua efluentes (Dornes *et al.*, 2016; Echaniz & Vignatti, 2017).

La posible influencia antrópica dada por la explotación agrícola no habría tenido demasiado impacto incrementando las concentraciones de F⁻ en las aguas superficiales de La Pampa. Los valores encontrados en lagunas del norte provincial, en campos donde se realiza una intensa explotación, sobre todo siembra de cereales y oleaginosas (lagunas La Tradición, Ustarroz, El Bellaco, El guanaco), fueron relativamente similares a los encontrados en el centro-sur de la provincia, en cuyas cuencas predomina la vegetación natural y explotaciones ganaderas (El Carrancho, La Laura, Los Manantiales).

Teniendo en cuenta que las concentraciones de F⁻ en el agua subterránea de La Pampa es elevada (Castro *et al.*, 2002; 2013; Schulz *et al.*, 2013; Pariani *et al.*, 2014), al igual que la de las aguas superficiales, pero la relación entre la química de ambos compartimientos no es bien conocida, sería un aspecto que debería ser estudiado, sobre todo teniendo en cuenta que varios de estos cuerpos de agua tienen fauna íctica que tiene relativa importancia turística y recreativa (Echaniz & Vignatti, 2017). En este sentido, los posibles efectos de las altas concentraciones de F⁻ sobre los organismos que habitan estos ecosistemas acuáticos es otro aspecto que debería ser investigado, sobre todo porque son conocidas las alteraciones sobre peces tales como el pejerrey (Puntoriero *et al.*, 2018), de interés económico también en La Pampa.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón-Herrera M., J. Bundschuh, B. Nath, H. Nicolli, M. Gutiérrez, V. Reyes-Gómez, D. Núñez & I. Martín-Domínguez. 2013. Co-occurrence of arsenic and fluoride in groundwater of semiarid regions in Latin America: genesis, mobility and remediation. *J. Hazard. Mater.* 262: 960-969.
- APHA. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF). Washington, DC.

- Borgnino L., M. García, G. Bia, Y. Stupar, P. Le Coustumer & P. Depetris. 2013. Mechanism of fluoride release in sediments of Argentina's Central region. *Sci. Total. Environ.* 443: 245-255.
- Castro E., C. Schulz & E. Mariño. 2002. Presencia de flúor, arsénico y otros oligoelementos en las aguas para consumo humano de La Pampa. *Huellas* 5: 91-115.
- Castro E., C. Schulz, E. Mariño, M. Ughetti, L. Ceballo & N. Massara. 2013. Caracterización hidrogeológica en tres áreas medanosas en el nordeste de La Pampa, Argentina. *En: Temas actuales en hidrología subterránea.* (N. González, E. Kruse, M. Trovatto & P. Laurencena Eds.). Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina. pp. 125-131.
- Chirkes J., O. Heredia & A. Fernández Cirelli. 2014. Silicio y flúor en la llanura pampeana argentina. 2do Encuentro de Investigadores en formación en Recursos Hídricos (IFRH). Disponible: <https://www.ina.gov.ar/ifrh-2014/Eje2/2.05.pdf>. Consultado: 30/08/2018.
- Dornes P., R. Comas, D. Cardín, R. Pochetti, J. Ianni & E. Kruse. 2016. Identificación y caracterización hidrológica de lagunas en el centro-este de la Provincia de La Pampa. *En: Relación Agua Subterránea-Superficial.* (R. García, V. Rocha & P. Dornes Eds.). 213-220. IX Cong. Arg. Hidrogeología - VII Seminario Hispano Latinoamer. Hidrología Subterránea. Catamarca. Argentina.
- Drago E. & R. Quirós. 1996. The hydrochemistry of inland waters of Argentina; a review. *Int. J. Salt Lake Res.* 4: 315-325.
- Echaniz S. & A. Vignatti. 2017. The zooplankton of the shallow lakes of the semi-arid region of southern South America. *Ann. Limnol. Int. J. Lim.* 53: 345-360.
- Espósito M., M. Sequeira, J. Paoloni, M. Blanco & N. Amiotti. 2013. High fluorine and other associated trace elements in waters from the south of the Pampean plain. *ΦYTON* 82: 35-44.
- Fernández Cirelli A. & P. Miretzky. 2004. Ionic relations: a tool for studying hydrogeochemical processes in Pampean shallow lakes (Buenos Aires, Argentina). *Quat. Int.* 114: 113-121.
- García M. & L. Borgnino. 2015. Fluoride in the Context of the Environment. In: *Fluorine: Chemistry, Analysis, Function and Effects.* (V. Preedy Ed.). pp. 3-21. Disponible: <http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-888-0>. Consultado: 30/08/2018.
- Giai S. & J. Tullio. 1998. Características de los principales acuíferos de la Provincia de La Pampa. *Rev. Geol. Apl. Ing. Ambiente* 12: 51-68.
- González-Horta C., L. Ballinas-Casarrubias, B. Sánchez-Ramírez, M. Ishida, A. Barrera-Hernández, D. Gutiérrez-Torres, O. Zaccarías, R. Saunders, Z. Drobná, M. Méndez, G. García-Vargas, D. Loomis, M. Stýblo & L. Del Razo. 2015. A Concurrent exposure to arsenic and fluoride from drinking water in Chihuahua, Mexico. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 12(5): 4587-460.
- Hammer U. 1986. Saline lake ecosystems of the world. *Monographiae Biologicae* 59. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Hammer Ø., D. Harper & P. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontol. Electron.* 4: 1-9.
- Martínez, D., O. Quiroz Londoño, H. Massone, P. Palacio Buitrago & L. Lima. 2012. Hydrogeochemistry of fluoride in the Quequén river basin: natural pollutants distribution in the argentine pampa. *Environ. Earth Sci.* 65(2): 411-420.
- Otrosky R., A. Pariani & M. Bartoletti. 2007. Evaluación de los parámetros químicos de arsénico y flúor en aguas subterráneas de las regiones centro, norte y oeste pampeano. *En: Libro de trabajos del Segundo Congreso Pampeano del Agua.* (Secretaría de Recursos Hídricos Ed.). Secretaría de Recursos Hídricos, Gobierno de La Pampa. Santa Rosa. pp 31-38. Disponible: http://recursos-hidricos.lapampa.gov.ar/images/pdf_Publicaciones/Libro_Segundo_Congreso_del_Agua.pdf. Consultado: 30/08/2018.
- Pariani A., J. Perea Muñoz, A. Castaldo, A. García Martínez, A. Giorgis, E. Angón, P. Lamela Arteaga & F. Hecker. 2014. Concentración de flúor y arsénico en el agua de red de General Pico (Argentina) durante el periodo 2007-2013. *Rev. Cienc. Vet.* 16(1): 101-112.
- Puntoriero M., A. Volpedo & A. Fernández Cirelli. 2014 a. Biotransferencia de flúor de agua a diferentes tejidos de pejerrey (*Odontesthes bonariensis*). *Biol. Acuát.* 30: 309-313.
- Puntoriero M., A. Volpedo & A. Fernández-Cirelli. 2014 b. Arsenic and Fluoride in surface water

- (Chasicó Lake, Argentina). *Frontiers in Environmental Science*, section Groundwater Resources and Management 2(23): 1-5.
- Puntoriero, M., A. Fernández-Cirelli & A. Volpedo. 2015. Geochemical mechanisms controlling the chemical composition of groundwater and surface water in the southwest of the Pampean plain (Argentina). *J. Geochem. Explor.* 150: 64-72.
- Puntoriero M., A. Fernández Cirelli & A. Volpedo. 2018. Histological changes in liver and gills of *Odontesthes bonariensis* inhabiting a lake with high concentrations of arsenic and fluoride (Chasicó Lake, Buenos Aires Province). *Rev. Int. Contam. Ambient.* 34(1): 69-77.
- Rosso J., M. Puntoriero, J. Troncoso, A. Volpedo & A. Fernández Cirelli. 2011 a. Occurrence of Fluoride in Arsenic-rich Surface Waters: a Case Study in the Pampa Plain, Argentina. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 87(4): 409-413.
- Rosso J., J. Troncoso & A. Fernández Cirelli. 2011 b. Geographic distribution of arsenic and trace metals in lotic ecosystems of Pampa Plain, Argentina. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 86:129-132.
- Schulz C., E. Mariño, P. Dornes, E. Castro & C. Dapeña, C. 2013. Gestión del agua subterránea en el centro-este de La Pampa: una propuesta de actuación ante factores de incertidumbre hidrológica. *En: Temas actuales en hidrología subterránea.* (N. González, E. Kruse, M. Trovatto & P. Laurencena Eds.). Editorial de la Universidad de La Plata. La Plata, Argentina. pp. 266-274.
- Servicio Meteorológico Nacional. 2018. Atlas Climático de Argentina. Disponible: <https://www.smn.gob.ar/caracterización-estadísticas-de-largo-plazo>. Consultado: 30/08/2018.
- Sivasankar V., A. Darchen, K. Omine & R. Sakthivel. 2016. Fluoride: a world ubiquitous compound, its chemistry, and ways of contamination. *En: Surface modified carbons as scavengers for fluoride from water.* (Editor: V. Sivasankar). Springer International Publishing Switzerland. Pp. 5-39.
- Viglizzo E. 2010. El agro, el clima y el agua en La Pampa semiárida: revisando paradigmas. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria (ANAV) LXIV*: 251-267. Disponible: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/27600/Documento_completo.pdf. Consultado: 30/08/2018.
- Volpedo A. 2014. La biodiversidad acuática en Argentina: problemáticas y desafíos. *Cienc. Investig.* 64(1): 33-43.
- Volpedo A. & A. Fernández Cirelli. 2013. El Lago Chasicó: similitudes y diferencias con las lagunas pampásicas. *AUGMDomus 5* (Número Especial Aguas): 1-18.
- Zar, J. 1996. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, New Jersey.