



El suelo y su relación con el agua que tomamos

Autores: Alumnos de 6° año secundaria superior

Profesor: Lorena Natalia Galcerán

Miembro CREA: Luisa Mackern

Datos de la Escuela

Nombre: Instituto Del Carmen DIPREGEP (4108)

Dirección: Avellaneda 288

Localidad: Cacharí

Provincia: Buenos Aires

Teléfono: 02281-481004

Correo: c.d.c.cachari@hotmail.com



El suelo y su relación con el agua que tomamos

Introducción

Problemática

El consumo de aguas con elevados contenidos de arsénico, flúor y nitrato puede provocar problemas a la salud humana.

Los primeros síntomas de la exposición prolongada a altos niveles de arsénico inorgánico (por ejemplo, a través del consumo de agua y alimentos contaminados) se observan generalmente en la piel e incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y durezas y callosidades en las palmas de las manos y las plantas de los pies (hiperqueratosis). Estos efectos se producen tras una exposición mínima de aproximadamente cinco años y pueden ser precursores de cáncer de piel.

Además de cáncer de piel, la exposición prolongada al arsénico también puede causar cáncer de vejiga y de pulmón. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha clasificado el arsénico y los compuestos de arsénico como cancerígenos para los seres humanos; el arsénico presente en el agua de bebida también ha sido incluido en esa categoría por el CIIC.

El flúor tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud humana, con un rango estrecho entre las ingestiones asociados con sus efectos beneficiosos para la salud y los efectos adversos.

Los efectos sobre el hueso se consideran los más relevantes para la evaluación de los efectos adversos de la exposición a largo plazo de los seres humanos a fluoruro. Fluorosis esquelética es una discapacidad invalidante que afecta a millones de personas en varias regiones de África, India y China, que tiene importante para la salud pública y el impacto socioeconómico. La ingesta de fluoruro en el agua y / o productos alimenticios es el principal factor causal en la incidencia de fluorosis esquelético endémica.

Los nitratos no son en si mismos tóxicos. Se sabe que se absorben rápidamente a nivel intestinal y se eliminan por orina. El peligro potencial de los nitratos radica en la eventual transformación en nitritos (NO_2^-) dentro del organismo. Esta transformación, que implica una reducción enzimática, puede ocurrir en la cavidad bucal y bajo ciertas condiciones, en el tubo digestivo. El efecto mas conocido producido por una alta concentración de nitritos en sangre es la transformación de la hemoglobina a metahemoglobina. La hemoglobina se encuentra presente en los glóbulos rojos de la sangre y es la encargada de transportar el oxígeno a todo el organismo. La metahemoglobina es un tipo de hemoglobina no funcional que por lo tanto no es capaz de transportar oxígeno. Hasta cierto punto el adulto sano posee mecanismos de compensación de esta transformación de la hemoglobina producida por los nitritos, pero ciertas afecciones preexistentes pueden agravar considerablemente el riesgo por la ingesta de nitratos y nitritos. Como ejemplo podemos citar el caso de hipertensión,



diuresis mal equilibradas, disfunciones gástricas que modifican las condiciones de reactividad de los nitritos a nivel del estómago, mujeres embarazadas con ciertas disfunciones enzimáticas, adultos que carecen de la enzima necesaria para revertir el proceso de la metahemoglobinemia (que puede ser hereditario), etc. En los bebés (especialmente los menores de cuatro a seis meses) los mecanismos de compensación no se encuentran lo suficientemente maduros, motivo por el cual son particularmente sensibles a la intoxicación por nitritos. En caso de intoxicación, la sintomatología tiene como rasgo característico la cianosis (coloración azul de la piel y mucosas causada por oxigenación insuficiente de la sangre) que se hace perceptible cuando la metahemoglobinemia excede aproximadamente el 10% de la población de glóbulos rojos. Es lo que se conoce como “síndrome del bebe azul”.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece como límite máximo de arsénico, flúor y nitrato, 10 $\mu\text{g/L}$, 1.5 mg/L y 45 mg/L respectivamente (WHO, 2011). En la Argentina, los límites establecidos por el Código Alimentario Argentino (CAA) coinciden con los de la OMS. Mientras que la regulación vigente en la provincia de Buenos Aires, Ley 11820, establece como valores máximos admisibles de arsénico, flúor y nitrato, 50 $\mu\text{g/L}$, 1.5 mg/L y 50 mg/L respectivamente.

Marco teórico

El origen del As y F en el agua subterránea es natural. En la región Pampeana estos elementos se encuentran en los sedimentos que almacenan al agua subterránea. En ciertas condiciones, como ser cuando la alcalinidad del medio es elevada ($\text{pH} > 7$), estos elementos químicos contenidos en los sedimentos pueden ser liberados al agua subterránea. En el caso del nitrato, los contenidos naturales de esta especie en el agua subterránea es de unos pocos mg/L ($< 5 \text{ mg/L}$). En general los elevados contenidos de nitrato medidos en las aguas subterráneas en zonas rurales se deben al uso de fertilizantes (actividad agrícola) y en las plantas urbanas a los efluentes, principalmente cloacales, a la presencia de pozos negros.

En la llanura Pampeana muchos grupos de investigadores han estudiado el origen y cómo se mueven el arsénico y flúor en el agua subterránea, algunos de estos estudios son regionales y otros más locales (Smedley et al., 2002; García et al., 2007; Zabala et al., 2016, entre otros). De acuerdo a los resultados obtenidos en estos estudios, los contenidos elevados de arsénico y flúor se encuentran en aquellos sectores donde los valores de pH, los contenidos de bicarbonato, sodio y la salinidad del agua subterránea son también elevados.

La cuenca del arroyo del Azul se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires entre los 36° 00' y los 37° 20' de latitud S y entre los 60° 15' y los 58° 45' de longitud O y abarca un área de más de 6000 km². Forma parte de la cuenca del río Salado y posee las particularidades hidrológicas típicas de un ambiente de llanura (Figura 1). La distribución de la precipitación anual en la cuenca no es uniforme, se producen más lluvias al N de la cuenca que al S. La precipitación media anual en Azul (estación Azul del Servicio Meteorológico Nacional) para el período 1901-2012 fue de 914 mm. El acuífero Pampeano



es la principal fuente de agua en la región. El agua subterránea es utilizada principalmente para consumo humano, bebida animal y en algunos lugares para riego.

El sector más bajo de la cuenca del arroyo del Azul (N) forma parte de la Pampa Deprimida de la provincia de Buenos Aires y se caracteriza por las bajas pendientes del terreno, por la existencia de lagunas permanentes y temporarias, por la presencia de suelos sódicos (alcalinos). Las principales actividades humanas en este sector son la actividad ganadera extensiva y en menor medida por la agricultura. En este contexto y considerando que elevados contenidos de arsénico, flúor y nitrato en el agua subterránea pueden limitar su uso para consumo humano, el objetivo de este trabajo es analizar y comparar la composición química del agua que se consume en la localidad de Cacharí.

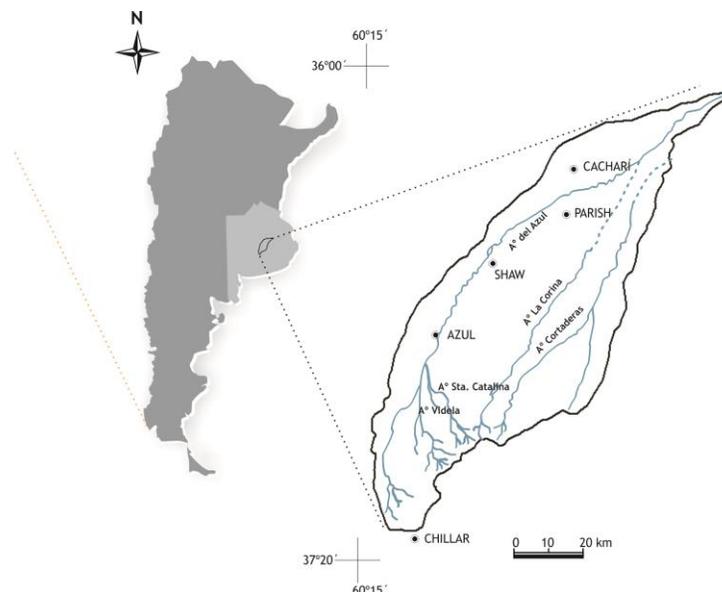


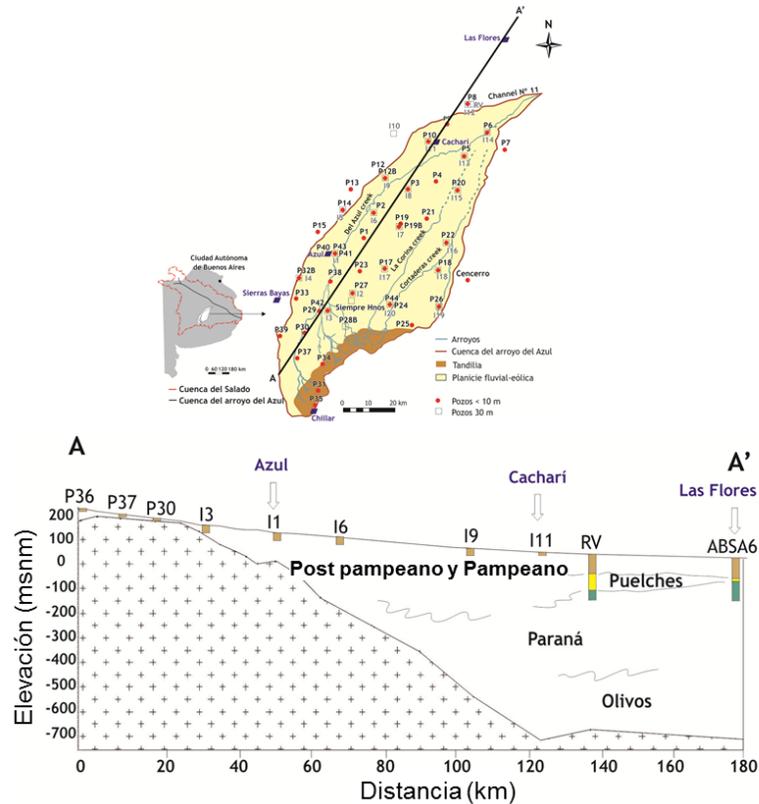
Figura 1. Ubicación de la cuenca del arroyo del Azul.

Geología

La cuenca del arroyo del Azul se ubica entre las Sierras de Tandilia al SO y el río Salado al NE. Desde la cabecera de la cuenca (S) hasta unos pocos kilómetros al N de Azul el perfil geológico se compone por el basamento cristalino (rocas ígneas y metamórficas) que se encuentra a una profundidad de 120 m y por encima se encuentran los Sedimentos Pampeano y Post-Pampeano de origen eólico-fluvial. Desde aquí hasta el límite N de la cuenca, el basamento cristalino se profundiza y se encuentra profundidades entre 700 y 800 m (Zabala et al., 2009). Por encima de estas rocas se encuentran otras unidades geológicas de origen continental (Formación Olivos) y marino (Formación Paraná) respectivamente, y luego continúan los Sedimentos Pampeanos y Post-Pampeanos (Figura 2).



Figura 2. Corte geológico de la cuenca del arroyo del Azul (Modificado de Zabala et al., 2016).



Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico la cuenca se divide en dos sectores, serrano (sector S de la cuenca-cuenca alta) y llanura (sectores centro y N de la cuenca-cuenca media y baja).

La cuenca del arroyo del Azul es una cuenca rellena de sedimentos de origen eólico-fluvial. En ella se identifican algunas formas de origen eólico, como ser, mantos de sedimentos, dunas y cubetas de deflación (Figura 3). En los sectores medio y bajo puede observarse la presencia de dunas de orientación NE-SO. Las cubetas de deflación son bajos que pueden estar ocupados de forma permanente o esporádicamente por agua.

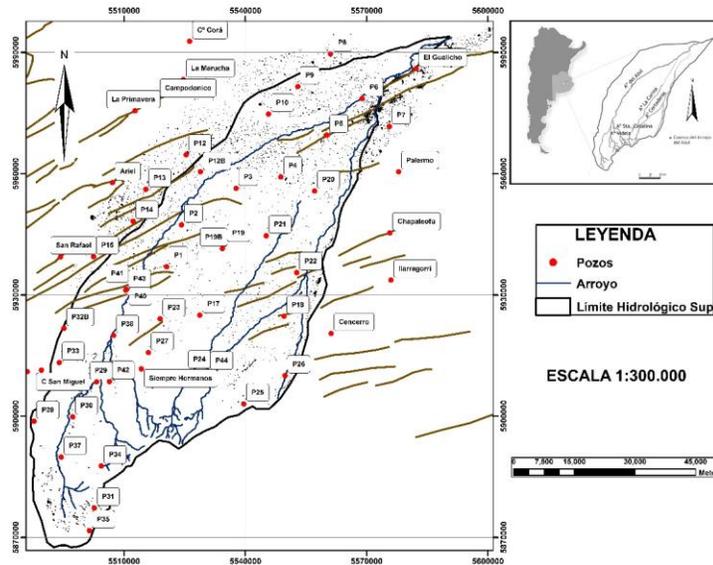


Figura 3. Distribución espacial de las paleo dunas (líneas) y de las cubetas de deflación (puntos) (Modificado de Zárate y Mehl, 2010).

Hidrología superficial

El arroyo del Azul es el principal curso de agua superficial. Nace en las sierras de Tandilia (S), escurre en dirección NE y descarga al Canal 11. Sus principales afluentes son los arroyos Videla y Santa Catalina. Otros cursos presentes son los arroyos La Corina y Cortaderas; son cuerpos de agua intermitentes que escurren en forma casi paralela al arroyo del Azul y en épocas secas desaparecen en la llanura. En los sectores medio y bajo de la cuenca abundan los cuerpos lagunares (cubetas de deflación) intermitentes los cuales, en períodos de grandes lluvias, se activan y se interconectan.

En épocas de excesos hídricos las lagunas se interconectan y el agua comienza a moverse de manera mantiforme por la llanura, en estas condiciones el principal mecanismo de evacuación del agua es la evaporación.

Dada la poca pendiente del terreno en el sector medio y bajo de la cuenca, en épocas de excesos hídricos, existe una alta probabilidad de ocurrencia de inundaciones (Figura 4).

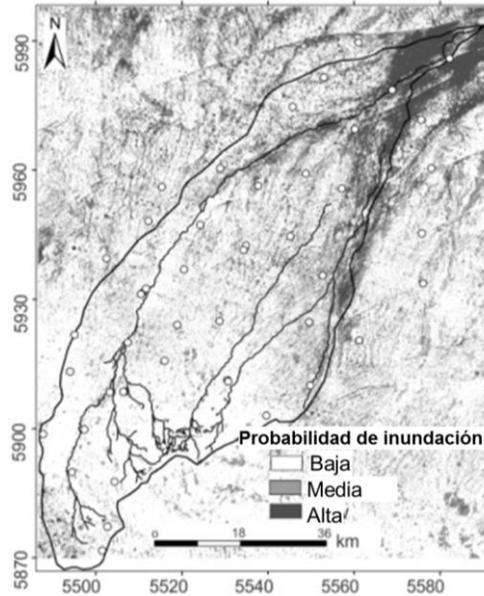


Figura 4. Mapa de probabilidad de inundación de la cuenca del arroyo del Azul (Modificado de Entraigas, 2008).

Suelos

En el sector de cuenca alta dominan los suelos Argiudoles. Estos son suelos profundos con un horizonte superficial (horizonte A) con alto contenido de materia orgánica y un horizonte subsuperficial (horizonte B) rico en arcilla. Son suelos agrícolas (Figura 5).

Sobre las dunas (sectores topográficos más elevados) dominan los Hapludoles. Estos suelos se caracterizan por tener un horizonte A con alto contenido de materia orgánica y un horizonte B pobre en arcillas (Figura 5).

En las cubetas de deflación (sectores topográficos bajos) dominan los Natracuoles y Natracualfes (Figura 5). Ambos suelos poseen un horizonte B con un elevado contenido de sodio, pero se diferencian en que los Natracuoles poseen un horizonte A bien desarrollado mientras que el de los Natracualfes posee menos espesor. La presencia de sodio en el horizonte B favorece la dispersión del suelo, volviéndolos impermeables al paso del agua. Por lo que después de una lluvia el agua no puede infiltrarse y se acumula en la superficie del suelo.

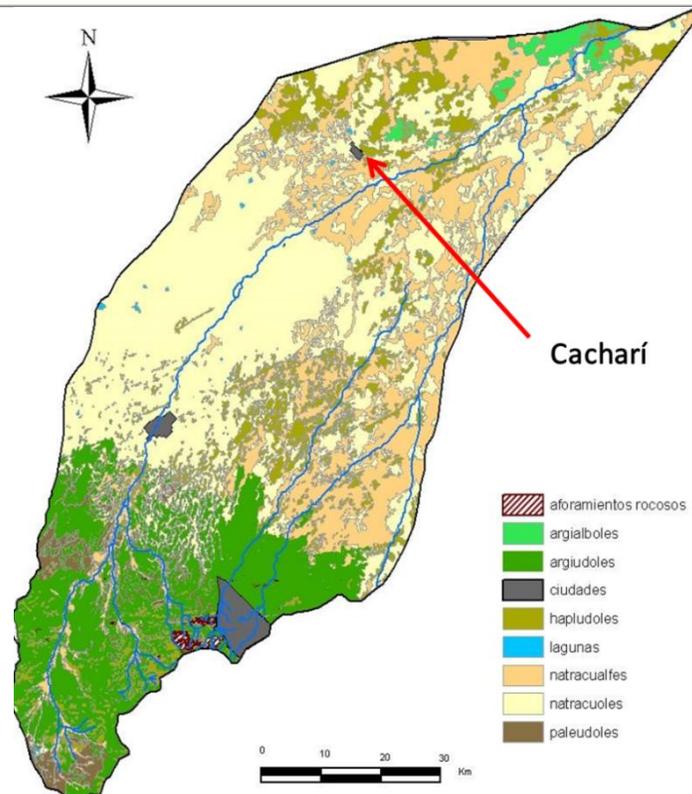


Figura 5. Mapa de suelo de la cuenca del arroyo del Azul según la clasificación del Soil Taxonomy. Realizado por el IHLLA a partir de las Cartas de suelo 1:500.000 pertenecientes al INTA (SAGyP, 1989).

Usos del suelo

El uso del suelo está condicionado al tipo de suelos presente. En el sector S de la cuenca se practica de forma intensa la actividad agrícola y en algunos sectores puntuales la actividad minera; en el sector central la actividad es mixta, zona agrícola-ganadera y de aquí hacia el N la actividad dominante es la ganadería, principalmente extensiva. En este sector de la cuenca si bien la actividad dominante es la ganadería, los productores utilizan los terrenos un poco más elevados para cultivar.

Hidrogeología-Hidroquímica

El agua subterránea se encuentra almacenada y se mueve a través de los Sedimentos Post-Pampeanos y Pampeanos acuífero Pampeano). El acuífero Pampeano se compone de arenas limosas a limos arenosos con cantidades subordinadas de arcilla, de origen eólico.

El sentido general del movimiento del agua subterránea en la cuenca del arroyo del Azul es de SO a NE. Tanto la salinidad (conductividad eléctrica) del agua como la alcalinidad,



expresada en este caso por el contenido de bicarbonatos, aumenta también de SO a NE, en el mismo sentido que el movimiento del agua subterránea (Figura 6).

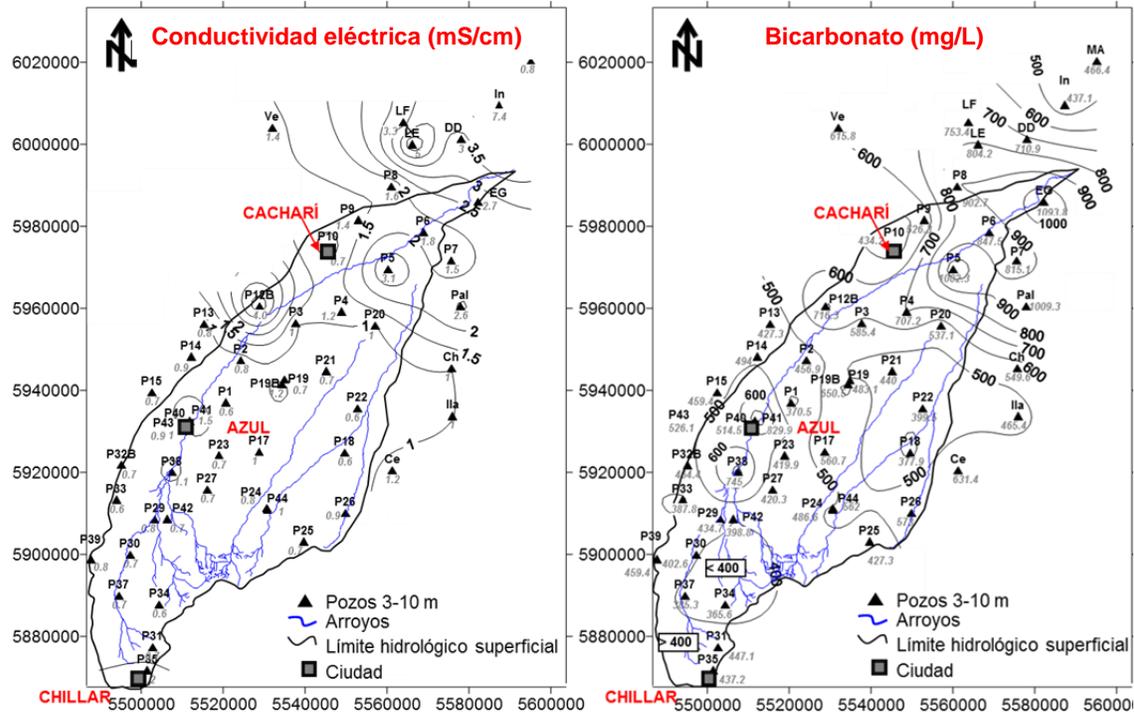


Figura 6. Mapa de distribución espacial de la conductividad eléctrica (izquierda) y del contenido de bicarbonatos (derecha) en el agua subterránea (Modificado de Zabala et al., 2016).

En la figura 7 se presentan los mapas de distribución espacial de los contenidos de arsénico, flúor y nitrato en el agua subterránea.

Los contenidos más elevados de arsénico y flúor, se han medido en proximidad a la localidad de Azul y en el sector N de la cuenca. Estos sectores se caracterizan por ser alcalinos ($\text{pH} > 8$). Esta alcalinidad favorece que los sedimentos liberen arsénico y flúor al agua subterránea.

Respecto al nitrato, los contenidos más elevados se han medido en las ciudades y en la zona agrícola (S de la cuenca). En las ciudades los elevados contenidos de nitrato en el agua subterránea se asocian principalmente a la existencia de pozos negros y a los efluentes cloacales, mientras que en la zona agrícola, se asocia al uso de fertilizantes.

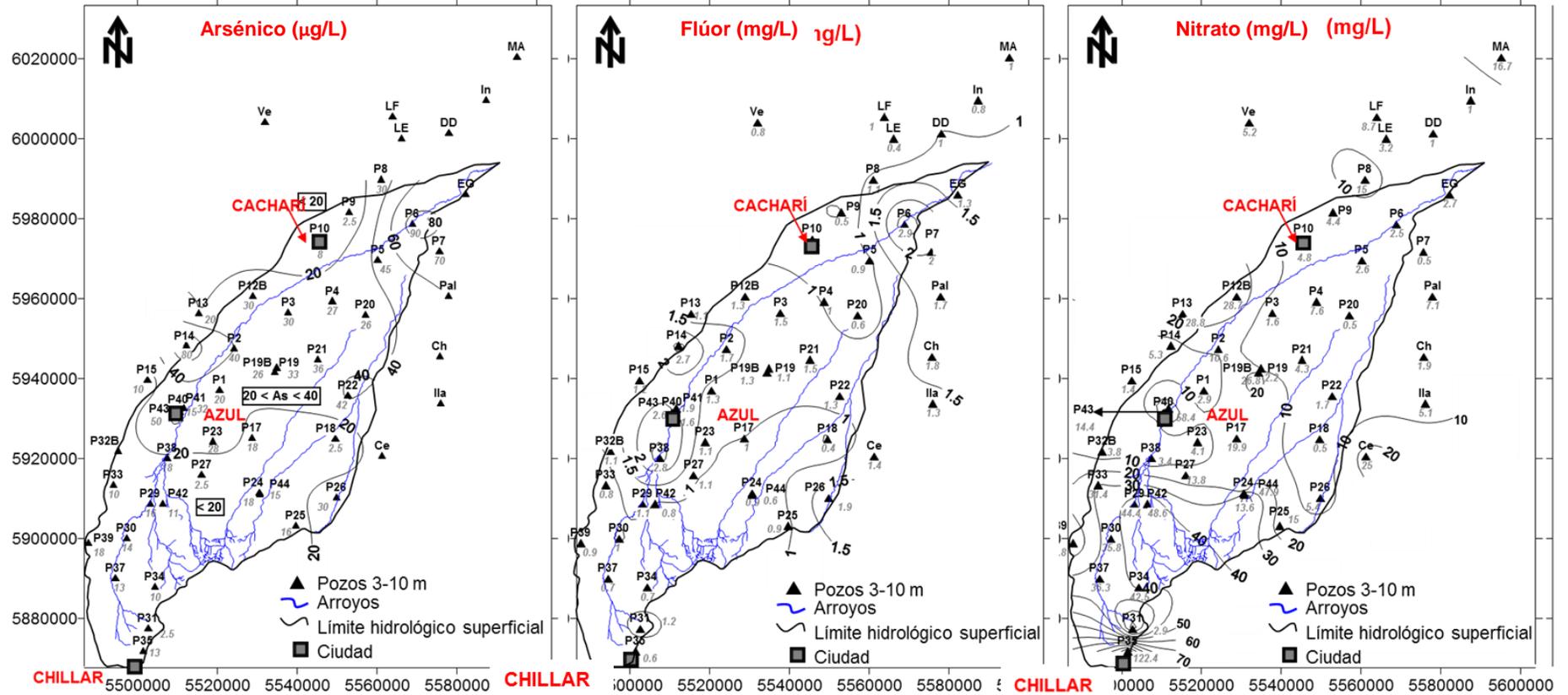


Figura 7. Mapas de distribución espacial de los contenidos de arsénico, flúor y nitrato en el agua subterránea de la cuenca del arroyo del Azul (Modificado de Zabala et al, 2016)



Hipótesis general

El agua de nuestra zona se ve afectada por los niveles de químicos liberados por los sedimentos alcalinos de nuestra zona.

Hipótesis específica

El agua que se consume en nuestra localidad (Cacharí) ¿está dentro de los niveles permitidos por el CAA, dado los niveles de químicos liberados por los sedimentos alcalinos de nuestra zona, más la contaminación antrópica.

Materiales y métodos

Se han realizado análisis químicos en el laboratorio de aguas del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” (IHLLA). Las muestras proceden de los distintos tipos de agua que consume la población: envasada, agua de red y agua de red procesada por un filtro,. A todas ellas se les midieron los contenidos de arsénico, flúor y nitrato.

La metodología del estudio ha consistido en los siguientes pasos:

Tareas realizadas fuera del aula

1. Toma de las muestras que se detallan a continuación, siguiendo el protocolo del IHLLA:
 - a. Agua de bidones retornables (los bidones se encontraban abiertos y en uso) de los 2 proveedores que reparten en la localidad. (EC-L3C).
 - b. Agua de la red Cos.Pu.Cal.
 - c. Agua de red Cos.Pu.Cal procesada por un filtro para arsénico (PSA Senik).
2. Realización de encuestas: Se realizaron encuestas a 100 familias de la localidad para conocer el tipo de agua que se consume en los hogares, porqué, y que conocimientos tienen acerca del arsénico y el flúor.
3. Entrevista a personal de la cooperativa: Un grupo de alumnos tuvo una reunión con el encargado de Cos.Pu.Cal, el Sr. Carlos Belmartino, al que se le hicieron las siguientes preguntas: De donde se extrae el agua que se provee al pueblo, que análisis se realizan y cada cuanto, a que profundidad están los pozos, y la influencia de la agricultura en los niveles que se analizan de arsénico y flúor.
4. Tareas realizadas en el Instituto de Hidrología de Llanura IHLLA:
Las muestras fueron enviadas al laboratorio de aguas del Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo J. Usunoff” donde se realizaron los análisis Físico-Químico de las muestras tomadas para medir los niveles de As, F y NO₃.



Tareas realizadas en el aula

1. Recopilación bibliográfica.
2. Recopilación de datos físico-químico procedentes del pozo de explotación de 60 m de la cooperativa Cos.Pu.Cal.
3. Recopilación de datos físico-químico de dos pozos, de 5 y 30 m de profundidad pertenecientes al IHLLA y que se encuentran ubicados en el establecimiento La Madrugada de Cacharí.
4. Análisis e interpretación de los datos físico-químicos.
5. Análisis de las encuestas.
6. Recibimos la visita de las investigadoras del CONICET, Dr. María Emilia Zabala y Lic. Elina Ceballos procedentes del Instituto de Hidrología de Llanura (IHLLA) Dr. Eduardo J. Usunoff de la UNICEN, quienes nos brindaron una charla sobre la geología e hidrología del suelo en nuestra zona; también nos aportaron material bibliográfico y mapas con datos de la Cuenca del Salado.

Resultados

De las encuestas que se realizaron a las 100 familias de la localidad, se obtuvieron los siguientes resultados:

1. El 40% de las familias cree que el agua está contaminada en nuestra zona
2. El 44% de las familias cree que el agua que llega a sus hogares es potable.
3. En cuanto a los agentes que contaminan del agua, eligieron en primer orden a los agroquímicos, basurales y aguas negras.
4. El 52% de las familias no cree que el municipio controle la calidad de agua que se distribuye a los hogares.
5. El 78% no conoce el CAA.
6. El 46% de las familias consultadas consume agua de bidones retornables y de la red Cos.Po.Cal.
7. El 55% de las familias encuestadas no conoce los efectos del arsénico en el agua.
8. El 79% de las familias encuestadas no conoce los efectos del flúor ni el nitrato en el agua.



Muestra: 2017/252 – 2017/253 – 2017/254 – 2017/255							
Toma de muestra		Fecha: 17/08/2017					
Determinación	Unidades	Result. Filtro PSA	Result. EC	Result. L3C	Result. AC	Límites para agua de consumo humano	
						Ley 11820 Prov. Bs. As.	Código Alimentario Argentino (CAA)
Arsénico	mg/l	0,035	0,017	0,041	0,052	Máx. 0,050 mg/l	Máx. 0.050 mg/l
Fluoruro	mg/l	0,77	n/d	0,51	0,93	Máx. 1,50 mg/l	0,7 – 1,2 mg/l
Nitrato	mg/l	27,72	3,16	3,35	28,46	Máx. 50 mg/l	Máx. 45 mg/l
Se adjuntan las copias originales de los resultados.							

De las muestras de agua analizadas, se obtuvieron los siguientes resultados:

		Pozos testigos pertenecientes al IHLLA en La estancia La Madrugada de Cacharí			
Toma de muestra		Septiembre 2016			
Determinación	Unidades	Resultado P10 (5 mts. Profundidad)	Resultado I11 (30 mts. Profundidad)	Límites para agua de consumo humano	
				Ley 11820 Prov. Bs. As.	Código Alimentario Argentino (CAA)



Arsénico	mg/l	0,010	0,047	Máx. 0,050 mg/l	Máx. 0.050 mg/l
Fluoruro	mg/l	0,65	1,17	Máx. 1,50 mg/l	0,7 – 1,2 mg/l
Nitrato	mg/l	8,73	7,36	Máx. 50 mg/l	Máx. 45 mg/l

Discusión

Da las muestras enviadas a analizar al IHLLA, se puede realizar las siguientes conclusiones:

- El agua de botellones retornables EC y E3C así como el agua filtrada con filtro PSA cumplen con la reglamentación vigente en la provincia de Buenos Aires (Ley 11.820).
- El agua de red Cos.Pu.Cal. excede los límites de arsénico según la reglamentación vigente en la provincia de Buenos Aires (Ley 11.820)
- El nitrato del agua de red Cos.Pu.Cal. y del agua filtrada con filtro PSA si bien están dentro de los parámetros de la Ley 11.820 de la provincia de Buenos Aires, tienen valores mucho más elevados que las demás aguas y que los valores naturales (< 5 mg/l), evidencia de contaminación antrópica.
- Ninguna de las muestras analizadas cumple con los parámetro de la OMS (arsénico < 0,010 mg/l).

Da las muestras aportadas por el IHLLA de los pozos testigos en Cachari, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- El pozo P10 que se encuentra a 5 mts. de profundidad obtuvo los mejores valores, y cumple no solo con la Ley 11.820 de la provincia de Buenos Aires, sino también con los de la OMS (arsénico < 0,010 mg/l).
- Hay una diferencia importante tanto en los valores de arsénico como de flúor en el pozo P10 de 5 mtrs. y el pozo I11 de 30 mtrs. Esto tiene que ver con los sedimentos presentes en cada profundidad.

Conclusiones

De acuerdo a las encuestas realizadas en la localidad de Cacharí, la mayoría de los habitantes desconocen los efectos nocivos para la salud que pueden causar valores altos de arsénico, flúor o nitrato en el agua que consumen, tampoco conocen que es lo que origina la presencia de estos químicos en el agua. El 55 % de las personas cree que el



agua que llega a sus hogares no es potable y el 46% de los hogares encuestados compra agua en botellones retornables a los proveedores EC o L3C que reponen generalmente una vez por semana.

En cuanto al agua subterránea que se obtiene de los pozos de Cos.Pu.Cal., comparándolo con el agua de los pozos testigos que utiliza el IHLLA, podemos analizar que el agua del pozo P10 tiene la mejor medición de arsénico de la cuenca del arroyo del Azul cumpliendo no solo con los valores permitidos por la Ley vigente en la provincia de Buenos Aires, sino también con los de la OMS ($< 0,01$ mg/l), se observa una diferencia importante con los valores de los pozos de Cos.Pu.Cal. (ver los cuadros respectivos en Resultados)

Lo mismo que con el arsénico sucede con el flúor, el pozo P10 presenta valores inferiores al pozo de Cos.Pu.Cal.

Las mediciones de arsénico y flúor del pozo I11 (30 mts) y de Cos.Pu.Cal. (60 mts.) son similares.

Como conclusión final, luego de analizar todas las muestras de agua y la información aportada por el IHLLA, las reglamentaciones nacionales e internacionales vigentes y teniendo en cuenta la importancia del agua para la salud, creemos que en la localidad de Cacharí podemos obtener agua subterránea con valores aceptados por la OMS de arsénico, flúor y nitrato, sin embargo el agua que llega a los hogares de todos los cacharienses por la red de Cos.Pu.Cal. excede los valores permitidos por la Ley 11.820 de arsénico y tiene valores de flúor y nitrato más elevados que los del pozo P10.

Si bien una gran cantidad de hogares usa agua embotellada, que tiene mejores mediciones que el agua de red, esta se usa específicamente para beber y muchas veces la gente se queda sin agua a mitad de semana y consumiendo la de la canilla, además implica un gasto extra que no todas las familias pueden afrontar.

Creemos que el acceso al agua es vital, además esta debe ser de calidad para asegurar a la población una buena salud, en Cacharí a pesar de estar en una zona donde los sedimentos presentan valores altos de alcalinidad, tenemos la posibilidad de obtener agua subterránea con muy buena calidad para que llegue a cada uno de los hogares para ser consumida diariamente.

Palabras claves

Acuífero: formación geológica capaz de almacenar y transmitir agua.

Cubetas de deflación: sectores topográficos bajos.

Deflación: es el proceso por el cual el viento levanta, arrastra y dispersa los fragmentos de rocas o sedimentos del suelo

Geomorfología: ciencia que estudia las formas del paisaje

Hapludoles: Estos suelos se caracterizan por tener un horizonte A con alto contenido de materia orgánica y un horizonte B pobre en arcillas.

Natracuoles: suelos poseen un horizonte B con un elevado contenido de sodio pero poseen un horizonte A bien desarrollado.



Natracualfes: suelos poseen un horizonte B con un elevado contenido de sodio, el horizonte A posee menos espesor.

Referencias bibliográficas

Entraigas, I., 2008. Implementación de sistemas de soporte de decisiones multipropósito a escalas urbana y rural (Ph.D thesis). UNLP, p. 168 (Unpublished).

García, M.G., Sracek, O., Fernández, D.S., del Hidalgo, M.del V., 2007. Factors affecting arsenic mobilization in groundwaters from northwestern Chaco-Pampean plain. Argentina. Environ. Geol. 52, 1261–1275.

Ley 18.282. Código Alimentario Argentino. Available at: <http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigo/Ley_18284.pdf>. (accessed 21 May 2016).

Ley 11.820. Prestación de los servicios públicos de provisión de agua potable y desagües cloacales en la provincia de Buenos Aires. Available at: <<http://www.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/l-11820.html>> (accessed 15 October 2015).

SAGyP. 1989. Mapas de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000. INTA-CIRN. Instituto de Evaluación de Tierras. Buenos Aires.

Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Appl. Geochem. 17, 517–568.

WHO, 2011. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, fourth ed. Available at: <http://www.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf> (accessed 15 October 2015).

Zabala, M.E., Varni, M., Weinzettel, P., Ainchil, J. 2009. Aportes al conocimiento del subsuelo de la cuenca del arroyo del Azul mediante la aplicación de métodos geoelectrónicos. En: Mariño, E. y Schulz, C. (Eds.). Aportes de la Hidrogeología al conocimiento de los Recursos Hídricos. Amerindia Nexa di Nápoli, Santa Rosa. pp. 329-338.

Zabala, M.E., Manzano, M. y Vives, L. Assessment of processes controlling the regional distribution of fluoride and arsenic in groundwater of the Pampeano Aquifer in the Del Azul Creek basin (Argentina). Journal of Hydrology. 541 (2016) 1067–1087.

Zárate, M., Mehl, A., 2010. Geología y geomorfología de la cuenca del arroyo del Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina. In: Varni, M., Entraigas, I., Vives, L. (Eds.), Hacia la Gestión Integral de los Recursos Hídricos en Zonas de Llanura. Editorial Martín, Mar del Plata, pp. 65–78.