

Estudio de la evolución en la concentración de flúor y elementos asociados, en el suelo y agua subterránea en el NO de Santiago del Estero.

Stella M. Reynoso¹, Antonio E. Ramírez² & María F. Mellano³

- (1) *Instituto de Estudios Ambientales, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero*
stella_reynoso_2@yahoo.com.ar
- (2) *Departamento de Recursos Hídricos, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero*
miyelanto@hotmail.com
- (3) *Departamento de Física y Química, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero*
fermellano@unse.edu.ar

RESUMEN

El presente estudio consta de dos etapas; la primera consistió en la recopilación de antecedentes sobre el área de estudio, publicaciones, perfiles de pozos, análisis físico-químicos de agua subterránea, imágenes satelitales y censos poblacionales.

Se realizó un historial del aumento de concentración del ión Flúor, haciéndose uso de los análisis físico-químicos recogidos, depurándose los mismos y centralizando el área de estudio.

El área seleccionada, comprende las siguientes localidades, que abarca los departamentos Pellegrini y Jiménez:

- | | |
|----------------|-----------------------------|
| 1. Buen Lugar | 11. San Ramón |
| 2. Gramilla | 12. Pozo Betbeder |
| 3. Bajo Hondo | 13. S J del Boquerón |
| 4. Pozo Hondo | 14. Algarrobal- Viejo Pozo |
| 5. Los Ralos | 15. Algarrobal- Perforación |
| 6. San Antonio | 16. Santo Domingo |
| 7. La Costosa | 17. Ahí Veremos |
| 8. Bobadal | 18. El Desmonte |
| 9. La Codicia | 19. El Bordo |
| 10. T Pozo | 20. El Cambiado |

La segunda etapa consta del estudio de los pozos y perforaciones en los lugares antes mencionados, pero se debió replantear la zona de estudio ya que algunas de las fuentes de agua estaban en cesación, eligiéndose nuevos puntos de muestreo, los resultados recolectados se analizan en el presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

El fluor es un elemento relativamente abundante en la naturaleza y forma compuestos con la mayoría de los elementos, excepto los gases nobles helio, argón y neón. Su nombre fue

sugerido a Sir Humphry Davy por A. Ampere en 1812. Sin embargo, fue posible aislarlo a principios del siglo XX, trabajo realizado por Ferdinand Frédéric Henri Moissan, Premio Nobel en 1906. El problema era que este elemento es el más electronegativo y, por lo tanto, su ion es el más difícil de oxidar.

Es un gas diatómico de color amarillo pálido y es el miembro más liviano de los halógenos. Su masa atómica es 18,99. Es el elemento más electronegativo de la Tabla Periódica.

Una vez aislado, el flúor reacciona con las sustancias, incluso algunos materiales considerados estables. Es demasiado reactivo para existir en su estado elemental en la naturaleza. Sin embargo, los enlaces que forma con átomos de otros elementos son relativamente fuertes.

El flúor es un elemento muy tóxico y reactivo. Muchos de sus compuestos, en especial los inorgánicos, son también tóxicos y pueden causar quemaduras severas y profundas. Hay que tener cuidado para prevenir que líquidos o vapores entren en contacto con la piel y los ojos.

El agua dulce de la superficie terrestre tiene unas concentraciones de fluoruro normalmente bajas de 0.01 ppm a 0.3 ppm.

En el agua subterránea, la concentración natural de fluoruro depende de aspectos geológico, químico y características físicas del acuífero, la porosidad y acidez de la tierra y piedras, la temperatura, la acción de otros elementos químicos, y la profundidad de los pozos de

extracción. Las concentraciones del fluoruro en el agua subterránea pueden ir de 1 ppm a más de 25 ppm. debido al número elevado de variables.

El valor límite permisible en el agua de bebida es de 1,5 mg. por litro. (La OMS determinó que el valor límite en el agua de bebida para la India sea inferior a 1 mg por litro en 1998) determinando que estas pautas no son universales. Se ha demostrado que un rango de 0,5 ppm de fluoruro a 20°C y 1,5 ppm a 10°C, son las concentraciones óptimas para proteger la dentadura de la población infantil. Las concentraciones superiores tienen efectos acumulativos en los distintos tejidos provocando el envenenamiento crónico conocido como fluorosis.

La ingesta crónica y excesiva de fluoruro puede llevar a un severo daño a la estructura ósea del individuo. Los síntomas tempranos incluyen el dolor esporádico y limitación del movimiento en articulaciones, dolor de cabeza, dolor de estómago y debilidad muscular pueden estar advirtiendo del problema.. La próxima fase es el osteoesclerosis y finalmente se dañan la espina, las grandes articulaciones, músculos y sistema nervioso. La fluorosis esquelética tiene consecuencias mucho más serias que la fluorosis dental y puede resultar

de un prolongado consumo de agua con altos niveles de flúor de 4 a 15 ppm.

Puede prevenirse el envenenamiento por fluoruro o puede minimizarse usando fuentes de agua alternativas, quitando el fluoruro excesivo del agua de bebida, y mejorando el estado nutritivo de las poblaciones en riesgo.

Las fuentes de agua alternativas: éstas incluyen el agua de superficie, agua de lluvia y el agua subterránea controladas.

Área de estudio

El Área de Estudio, se encuentra ubicada en los Departamentos Jiménez y Pellegrini, en el NO. De la provincia de Santiago del Estero.

Los departamentos de Pellegrini y Jiménez, tienen una densidad poblacional baja. Se realiza agricultura bajo riego (Río Horcones, Río Urueña y aguas surgentes) en una extensión de aproximadamente 4.000 ha, pero los caudales de los ríos son aprovechables en períodos cortos. Por otra parte, hay una tendencia a la disminución de la agricultura bajo riego como consecuencia de procesos de salinización y pérdida de la fertilidad de los suelos. En el oeste de ambos departamentos se ha incrementado el cultivo de soja en secano. La práctica de monocultivo anual y el manejo inapropiado del agua para riego son las principales causas de deterioro ambiental en la zona.

Con excepción de las áreas de salinas, el suelo de la provincia de Santiago del Estero es relativamente fértil y apto para diferentes tipos de cultivos, que se desarrollan en sistemas agrícolas bajo riego y de secano. (Ver Figura 1)

Clima: Por estar situada entre las isoterms de 20° C y 22° C, el clima de Santiago del Estero es cálido y correspondiente con el de las regiones subtropicales. La temperatura media anual es de 21,5 ° C, con una máxima absoluta en verano de hasta 47° C y una mínima absoluta en invierno de -5°C. Se distinguen dos estaciones: lluviosa, de octubre a marzo, y seca, de abril a septiembre. Las lluvias, abundantes sobre todo en la época estival, disminuyen de este a oeste. A lo largo del año oscilan entre 750 mm y 600 mm, y el promedio anual es de 695 mm. Los vientos dominantes son los del norte, en verano, y del sur en la temporada invernal. Estos últimos son los más beneficiosos, ya que provocan lluvias frontales. Las heladas se producen entre mayo y agosto, y el granizo, que es poco frecuente, suele ocurrir entre octubre y marzo.

El balance hídrico presenta valores negativos, aún en los períodos húmedos de primavera- verano. La evapotranspiración potencial (ETP) oscila entre 900 y 1100 mm anuales.

La temperatura disminuye de N a S y hay una gran amplitud térmica anual. La provincia está rodeada por la isoterma de 47° C (máxima absoluta), que delimita lo que se denomina el "polo de calor de América del Sur".

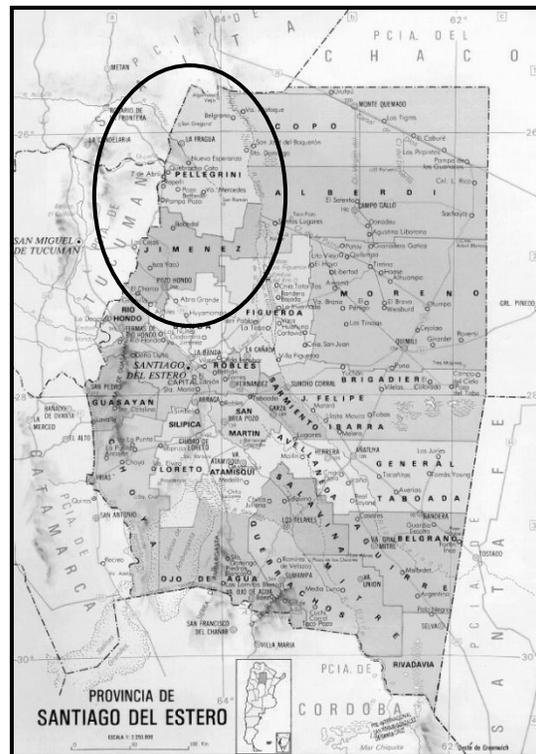


Figura 1: Área de Estudio

MATERIALES Y MÉTODOS

La presencia de F en agua subterránea está asociada a la del As, ya que suponemos proviene de la meteorización de minerales de origen volcánico. Además, se comprobará, mediante análisis de suelos, que el contenido de Flúor está íntimamente ligado con las cenizas volcánicas que se depositaron hace unos 2,3 millones de años aproximadamente.

Se utilizaron reactivos de calidad analítica y todas las muestras se analizaron por triplicado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las muestras recopiladas en el área de trabajo, se orientó principalmente en la geoquímica del Flúor en el agua subterránea y su relación con los iones mayoritarios, por lo que en un primer momento se presenta la distribución de sus concentraciones y luego, se presenta sus relaciones con otros iones y las propiedades físicas del agua subterránea.

La Conductividad Eléctrica de las muestras analizadas varía entre 1026 y 4500, con un

De la Zona de Estudio, original, se realizó el siguiente trabajo en gabinete, luego de la primera campaña:

- 1- Depuración de puntos por Departamentos
- 2- Muestreo de Aguas Subterráneas
- 3- Análisis en laboratorio
- 4- Informe de la correlación entre iones de las muestras obtenidas, donde las gráficas incluidas son solo 2 para evitar extensión en la presentación.

promedio de 2.219. La conductividad eléctrica es controlada por la concentración de los iones de SO_4^{-2} ($R^2=0,91$) y Na^+ ($R^2=0,76$).

Los iones SO_4^{-2} , presentan valores comprendidos entre un máximo de 2314 y un mínimo de 299 mg/l, con un valor promedio de 858 mg/l, valores que superan ampliamente el máximo permitido por la O.M.S (400 mg/l) y el C.A.A. Este anión muestra una correlación positiva con el ión flúor ($R^2=0,62$).

El ión HCO_3^- , presenta valores máximos de 167, mínimo 22 mg/l, con un valor promedio de 75,9 mg/l. En la Figura 2 se muestra la correlación existente entre el ión antes mencionado y el F y en

la Figura 3 se muestra la correlación iónica entre el ión SO_4^{-2} y el F respectivamente.

Las concentraciones de As varían entre un máximo de 0,14 y mínimo de 0,02 mg/l, con un promedio de 0,06 mg/l, este valor promedio supera las normas antes mencionadas (0,03 mg/l), encontrándose las concentraciones más altas en las Localidades de Buen lugar y Bajo Hondo.

La correlación entre las concentraciones de As y F son muy bajas ($R^2= 0,02$), indicando cierta independencia geoquímica, a pesar de que se presentan en altas concentraciones

Las concentraciones de Flúor varían entre un máximo de 2,09 y un mínimo de 1,04 mg/l, con un promedio de 1,4 mg/l; las mayores de este ión, se encontraron en el Bobadal y Santo Domingo(2,09 y 2,31 mg/l) respectivamente. (Ver Tabla 1 de antecedentes)

Se encontró una baja correlación de este ión en presencia de los cationes K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . Estos resultados muestran su relación con el agua subterránea, de mayor tiempo de contacto y su control por intercambio iónico.

En base a los análisis físico-químicos realizados se pudieron analizar los resultados por medio de la Tabla 2, que muestra los valores obtenidos para cada uno de los parámetros analizados.

La caracterización hidroquímica de las aguas naturales, depende de un conjunto de procesos físico-químico, climáticos y biológicos interrelacionados.

Para nuestro caso se han tenido en cuenta las determinaciones químicas que se consideran más importantes para conocer las características generales de un agua subterránea y la

concentración de los iones que más influyen en su calidad físico-química estos son: Cl, SO, HCO, CO, Na, K, Ca, Mg.

Para el procesado de los análisis de laboratorio, de muestras de aguas subterráneas obtenidas en campaña, se efectuó un resumen de las características físico-químicas en planilla electrónica de calculo para 8 muestras (Tabla 2)

Clasificación Hidroquímica

Teniendo en cuenta los iones mayoritarios se utilizo la clasificación propuesta por Schoeller que permite distinguir hasta 36 tipos diferentes de familias de aguas, considerando al Ion predominante si su relación en meq/l, es mayor al 50.% del total de los aniones y cationes.

Si consideramos el contenido iónico de la muestra, la mayoría de las aguas (75 %) son cloruradas sódicas, la presencia de este Ion en las aguas subterránea, generalmente es consecuencia del lavado de terrenos de origen marino o rocas evaporices o bien por el alto tiempo de contacto agua-sedimento.

El 25 % restante de las muestras son del tipo bicarbonatada sódica, siendo su origen el resultado del lavado de terrenos de origen carbónico o rocas, posiblemente por la redisolución de carbonatos por acción del lixiviado del suelo a través de la infiltración de aguas de lluvia.

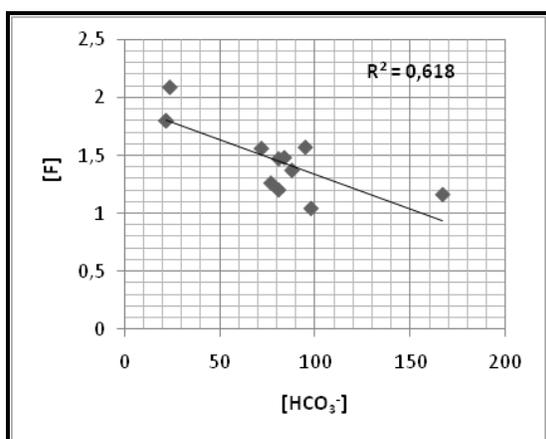


Figura 2: Correlación entre HCO_3^- y F

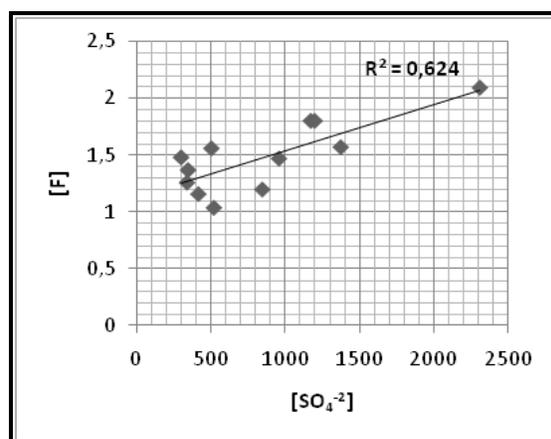


Figura 3: Correlación entre SO_4^{-2} y F

Tabla1: Parámetros Físico-químicos recolectados como antecedentes en el área de estudio (Dpto Jiménez) en el periodo comprendido del año 1978 al 2010.

Lugar	Fuente Prof	C.E.	pH	Dza	Alc	Ca	Mg	Na	K	CO ₃ H	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	As	F ⁻	R.S	
La Codicia	Surg	130	2620	5,8	438	19	114	37	367	5	23	0	284	791	0,02	1,4	1630
T Pozo (Esc)	Pozo		2360	6,9	165	227	49	10	464	7	276	0	389	391	0,01	1,2	1586
San Ramon	Surg	380	6380	6,3	1674	189	422	148	820	9	230	0	1106	1651	0,04	1,2	4440
S J del Boqueron	Rio Salado		3420	6,4	78	82	20	6	736	8	100	0	99	1409	0,16	2	2378
Algarrobal Viejo	Pozo	300	1338	6,6	54	82	17	2	227	4	100	0	93	325	0,14	1,4	768
Algarrobal Viejo	Pozo		1342	6,9	56	92	17	3	266	3	112	0	99	391	0,15	1,7	891
Algarrobal Viejo	Perf	318	1342	6,2	48	88	16	2	262	4	107	0	390	92	0,14	1,6	873
Algarrobal Viejo	Perf		1344	8,5	51	68	15	3	262	4	59	12	99	401	0,15	1,7	855
Santo Domingo	Perf	300	1796	7,5	91	246	30	4	373	19	300	0	85	539	0,2	1,9	1350
Santo Domingo	Perf	300	1765	7,5	91	246	30	4	373	19	300	0	85	539	0,21	2,3	1350
Ahi Veremos	Perf	320	1958	7,2	111	97	34	6	513	10	118	0	99	963	0,12	1,7	1743
Ahi Veremos	Perf	180	1945	7,7	101	97	32	5	414	16	118	0	113	735	0,11	1,6	1433
Pozo Betbeder	Perf	190	1618	7,9	132	39	43	6	373	14	48	0	141	694	0,01	1,7	1319
El Desmonte	Perf	180	1351	8,2	71	78	19	5	333	15	95	0	64	622		1,7	1153
El Bordo	Perf	360	884	6,4	20	126	6	1	173	4	154	0	106	121		1,3	565
El Cambiado	Surg		5110	6,5	1264	39	493	7	692	9	48	0	240	2304	0,01	1,8	3793
San Ramón	Surg	200	7420	7,7	278	54	105	4	1563	27	66	0	322	3076	0,07	2,8	5163

Tabla 2: Parámetros Físico-químicos recolectados de las muestras analizadas durante el mes de mayo del año 2013 en el marco del proyecto de trabajo. (Departamento Pellegrini)

Lugar	Prop.	Fuente	C.E.	pH	Dza T.	Alc. T.	Ca	Mg	Na	K	CO ₃ H	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	F ⁻	R.S
Quebracho Coto	Flia Luna	Perf.	2700	7,9	335	500	88	28	460	68	610	0	568	62	0,62	1900
Villa Mercedes	Esc. 762	Perf.	1128	8,01	125	200	40	6	299	39	244	Vest	319	134	0,78	1081
Villa Nueva	Esc. 1233	Perf.	2300	7,9	335	500	78	34	356	38	610	Vest	426	91	0,64	1454
Pozo Bedbeder	Flia. Veron	Perf.	1567	7,8	145	145	50	5	276	38	177	0	284	230	0,9	1110
Nueva Esperanza	Hotel Ideal	Perf	2000	7,6	200	600	50	18	359	38	732		248	91	0,87	1480
Gramilla		Per	2700	7,4	130	250	50	1	230	35	305		284	24	0,72	968
Cashico		Perf	1090	7,9	125	300	40	6	184	37	366	Vest	178	24	0,58	799
Añil		Perf	1216	7,7	115	250	30	10	207	35	305		246	52	0,78	876

CONCLUSIONES

A partir de los estudios realizados, se puede inferir que la mayoría de las muestras son del tipo cloruradas sódicas. Desde el punto de vista de los residuos sólidos la mayoría de las mismas son aptas para consumo humano, el único condicionante es la concentración de Cl⁻ en algunas de las muestras ya que sobrepasan el límite establecido por el C.A.A., pero que no constituyen un problema para la población ya que no produce efectos fisiológicos importantes.

En cuanto al ion F⁻, que es el objeto de estudio de éste trabajo, no se han hallado valores que sobrepasen los límites establecidos por las normas vigentes, sin embargo, es necesario ampliar, tanto la zona de estudio, como así también la cantidad de muestras a analizar.

A pesar de que en los antecedentes estudiados, las concentraciones de F⁻ eran muy elevadas, para las muestras recolectadas en el área de influencia de éste trabajo durante los años 1978 al 2010, al realizar los análisis durante el año 2013, se encuentra que las concentraciones son mucho menores, sin sobrepasar en ningún caso los límites permitidos, lo cual puede tener su explicación en el hecho de que los pozos analizados son de perforaciones relativamente recientes, y de los cuales, no se conocen los parámetros hidráulicos ni fisicoquímicos, por lo que en otra fase del proyecto que se está llevando a cabo, se proseguirá con los estudios de evolución de F⁻ en la zona de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

Engracia Olivera W. y otros - *Técnica de Abastecimiento e Tratamiento de Agua*. Tomos I y II.

Martín, A; Paz, M.; Lencina, S -El Flúor y su Relación con los Procesos Hidrotermales en la Cuenca de La Reserva – Colonia Tinco y la cuenca de Termas de Río Hondo-. 2005

Alfredo Martín, “Manual Práctico de Hidrogeología de Santiago del Estero”-Editorial Edunt, 79-106. (2000).