

# **Estudio de las aguas subterráneas contaminadas con Flúor en Santiago del Estero-Departamentos Copo y Alberdi**

**Stella M. Reynoso<sup>1</sup>, Ramírez, Antonio E.<sup>2</sup>, Togo, Pablo S.<sup>3</sup>**

(1) Instituto de Estudios Ambientales y Desarrollo Rural de la Llanura Chaqueña  
Universidad Nacional de Santiago del Estero

Av. Belgrano (S) 1912 E Mail: [stella\\_reynoso\\_2@yahoo.com.ar](mailto:stella_reynoso_2@yahoo.com.ar)

(2) Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías – UNSE, E. Mail: [miyelanto@hotmail.com](mailto:miyelanto@hotmail.com)

(3) Facultad de Agronomía y Agroindustrias – UNSE, E Mail: [psebastianotogo@gmail.com](mailto:psebastianotogo@gmail.com)

**Palabras Claves:** Agua Subterránea, Contaminación, Flúor

## **RESUMEN**

El presente trabajo se desarrolla en el marco del proyecto de investigación titulado:” Estudio de la evolución en la concentración de Flúor en las agua subterránea en el NE de Santiago del Estero (Dpto. Copo y Alberdi)”, aprobado y financiado por el CICYT-UNSE (2013-2016), y tiene por objetivos evaluar el incremento de la concentración de flúor en la región seleccionada, analizar el impacto social de su ingesta y a partir de los resultados, establecer alternativas de solución a esta problemática.

Las actividades a desarrollar fueron planteadas en las siguientes etapas: a) recopilación y evaluación de antecedentes en gabinete, b) censo de pozos de agua existentes, toma de muestras de agua que serán analizadas en el laboratorio y realización de encuestas a pobladores y agentes de salud de la región c) se procesarán los datos obtenidos en campaña, mediante la utilización de los software Gis Arc View 3.3, y AquaChem 3.7. Se evaluará la situación actual de la salud de la población a partir del procesamiento de las encuestas; y d) elaboración de un informe final a partir de los resultados obtenidos y divulgación del mismo.

En la primera etapa se focalizó en el análisis y evaluación de los antecedentes a través de bibliografía específica y publicaciones de organismos nacionales y provinciales las que conjuntamente con fotografías aéreas y satelitales determinaron la cartografía del área a estudiar y las tareas de campaña

La segunda etapa constó del muestreo de los pozos y perforaciones en la zona antes mencionada.

En la actualidad, se continúa acrecentando los muestreos en otras localidades hasta barrer la zona de estudio para luego continuar recabando toda información que nos permita inferir, respecto al origen del ion flúor en el agua y posibles soluciones.

## INTRODUCCIÓN:

La República Argentina está catalogada como un área endémica de flúor en el agua de bebida. En nuestro país la cantidad permitida de flúor en el agua varía según la temperatura de la región. En los lugares más fríos se recomienda 0,9 ppm como límite inferior y 1,7 ppm como límite superior. En los lugares con altas temperaturas, caso de Santiago del Estero, en cambio, el límite inferior debe ser 0,6 ppm y el límite superior 0,8 ppm. En la llanura Chaco-Pampeana, a la cual pertenece nuestra Provincia, la disponibilidad y la calidad de los recursos hídricos subterráneos se ve afectada por problemas relacionados con la salinidad y dureza de sus aguas, a lo que se le suma la presencia de Flúor.

El Flúor es el más reactivo y electronegativo de los elementos químicos. Es un gas corrosivo que reacciona con todas las sustancias orgánicas e inorgánicas. La presencia del flúor en el agua para consumo humano, requiere de una vigilancia permanente dado que el flúor es un elemento considerado potencialmente tóxico, a la vez es un oligoelemento que interviene en la formación ósea. La fuente principal de esta sustancia es el agua que se ingiere, y al ser ésta la base de muchos preparados alimenticios, la ingesta humana del elemento se vuelve mayor cuando las concentraciones en el agua que se consume son altas, la intoxicación se vuelve crónica y los síntomas sólo aparecen luego de una prolongada exposición. El manchado de los dientes ocurre cuando el contenido de Flúor sobrepasa los 1,5 mg/l, y llega a ser muy notable cuando la concentración alcanza valores entre 3 a 6 mg/l y se potencia cuando sobrepasa los 10 mg/l, de tal manera que los dientes adquieren una coloración marrón oscura. Las enfermedades producto de la ingesta excesiva de flúor pueden ser: insuficiencia renal o hepática, osteoporosis, anorexia, abortos, malformaciones, entre otras.

Este elemento está presente en las aguas naturales subterráneas y por lo general las mayores concentraciones se asocian a las aguas de estas fuentes cuyo consumo lleva a la intoxicación crónica.

## OBJETIVO GENERAL

Estudiar el origen y valorar la evolución del flúor, en el agua subterránea del área de estudio, valorar el impacto social de su ingesta y proponer alternativas de solución.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la composición química del agua subterránea y/o superficial y correlacionar esta composición y su influencia en la variabilidad de la concentración de flúor en el área de estudio.
- Delimitar áreas con mayor riesgo de padecer fluorosis, mediante el uso de curvas de isoconcentración de flúor, las que nos permitirá no solo tener una visión de la distribución espacial del parámetro representado, sino además nos permitirá comparar mapas confeccionados en distintas épocas, para un mismo parámetro, conociendo de esta manera su evolución temporal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

- Antecedentes
- Georeferenciación
- Muestras de agua.
- Geología
- Correlaciones iónicas con el Flúor.

## DESARROLLO

La provincia de Santiago del Estero tiene una superficie de 136.351 km<sup>2</sup>, que representa el % 3,6 del territorio nacional.

Es una provincia típicamente mediterránea, cruzada por los ríos, Dulce y Salado, que la atraviesan en dirección Noroeste-Sudeste. Casi todo el territorio de la provincia es llano, con estribaciones de las Sierras Pampeanas hacia el oeste y sur. Se halla comprendida en su mayor parte dentro del parque chaqueño. Debido a las características del suelo, a su clima semiárido con altas temperaturas, régimen de lluvia estacional y alto grado de evapotranspiración, se requiere del riego para la actividad agropecuaria en vastas zonas del territorio provincial.

Los Departamentos Copo y Alberdi, zona de Estudio, se encuentra en el NE de la Provincia de Santiago del Estero; son los Departamentos de mayor superficie de la provincia

En la zona de estudio, el Río Salado, ingresa en la región Chaqueña. Tomando una dirección sureste, mantiene su nombre de Juramento hasta ingresar en la provincia de Santiago del Estero en donde recibe el nombre de Salado (o Cachimayo, en quechua, de kachi, «sal», y mayu, «río»). En Santiago del Estero el curso es generalmente de dirección sursureste, con un lecho poco profundo y un cauce muy explayado en una serie de humedales (esteros) eslabonados que han dificultado el establecimiento de poblaciones en las poco precisas orillas.

En la citada provincia parte de los caudales del Salado son derivados artificialmente hacia el este y sudeste por medio de estrechos acueductos a cielo abierto, siendo los dos principales el llamado Canal de Dios (que aporta sus aguas a las localidades de Monte Quemado, Tintina y Sacháyoj), Canal Virgen del Carmen (Monte Quemado – Quimilí)



Canal de Dios

El subsuelo de la mayor parte de la Provincia está constituido por una profunda cuenca sedimentaria, cuyo eje principal indica que sus máximos espesores tienen una orientación el Noreste, y está formada por el hundimiento como consecuencia del fallamiento de bloques inclinados hacia el centro, siendo

evidente que estos sistemas conjugados de dislocaciones y megafracturas regionales controlan la circulación y la salinidad de las aguas subterráneas y superficiales (Martín-2000)

La zona de estudio es una región agropastoril y forestal, atrasada y regresiva en su desarrollo, de lento crecimiento en su población y el uso no sustentable de sus recursos naturales y con severas restricciones en materia de agua subterránea y superficial y de infraestructuras y equipamientos dominada por paleocauces del río Salado y los canales de Dios, Virgen del Carmen, del Desierto y de la Patria, enmascarados parcialmente por vegetación de bosques maderables. En el ángulo NE, se destaca la presencia del Parque Nacional Copo de 114.000 Has. y su área de amortiguamiento de 96.000 Has e inmediatamente al sur, la dorsal Sachayoj-Girardot, que corre paralela al límite con Chaco.

Los Departamentos Copo y Alberdi abarcan una superficie total de 25.111 Km<sup>2</sup> y una población de 48.656 habitantes, equivalentes al 6,6 % de la población provincial y una densidad de 3,79 hab/km<sup>2</sup>.

La provincia, como todas, tiene población urbana, rural y rural dispersa.

En Santiago del Estero, la calidad de los recursos hídricos, se ve afectada por problemáticas diversas, entre los que podemos contar la presencia de flúor; problemática que proviene de causas inexploradas que la tornan al agua tóxica para el consumo humano. Este problema adquiere gran relevancia en áreas rurales donde la población solo dispone de pozos o perforaciones, mediante los cuales se extrae agua del acuífero freático o poco profundo.

La zona de estudio del presente proyecto parte de una franja meridional que bordea a la llanura chaqueña en su límite occidental.

En esta región se encuentran varias localidades rurales dispersas, razón por la cual, se abastecen de agua del acuífero superficial, mediante pozos o perforaciones.

El agua extraída, se encuentra normalmente contaminada por la presencia de diversos minerales, apreciación que nace a priori por la elevada conductividad eléctrica de algunas de las muestras de agua recolectadas, a las cuales se les realizaron determinaciones in situ como la mencionada, además de pH, As y flúor.

Se tomaron manualmente muestras captadas entre 10 a 12 m de profundidad y hasta 90m, en horas de la tarde en cada uno de los sitios de muestreo. Las muestras se recolectaron en envases de plásticos (PET) de 1000ml, previamente enjuagados varias veces. Las muestras fueron almacenadas a temperatura de 5° C hasta el momento del análisis.

Se llevó a cabo un muestreo sistemático y estratificado; sistemático, porque la toma de muestras se hizo a intervalos constantes en espacio y tiempo y estratificado, porque se dividió el área en varias zonas.

La contaminación de los acuíferos por presencia de flúor, constituye un problema de salud pública nacional, y es motivo de preocupación, ya que este ión, puede catalogarse como un elemento esencial para la nutrición humana, ya que es un oligoelemento imprescindible para la formación de uñas y dientes; a pesar de lo antes dicho, el flúor sigue siendo un elemento claramente tóxico ya que la línea que separa el bien y el mal de su presencia es muy fina.

La detección de áreas en las que la población está expuesta a riesgo hídrico constituye una prioridad social. Dado que existen diversas alternativas de remediación de esta problemática, es necesario efectuar el estudio adecuado y recoger las variables que permitan encontrar las soluciones más adecuadas.

En este trabajo, se estudiará el fenómeno con el propósito de proponer estrategias y/o soluciones para mejorar la calidad de vida de la población rural de los Departamentos Copo y Alberdi de la provincia de Santiago del Estero

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las muestras recopiladas en el área de trabajo, su análisis se orientó al estudio del quimismo del agua subterránea, su flujo a través del medio geológico a los efectos de conocer los procesos geoquímicos e interacción agua-suelo principalmente conocer la geoquímica del Flúor y su relación con los iones mayoritarios.

Los iones  $\text{SO}_4^{-2}$ , presentan valores comprendidos entre un máximo de 797 y un mínimo de 158 mg/l, con un valor promedio de 399.1 mg/l, de donde un 57 % presenta valores que superan ampliamente el máximo permitido por la O.M.S (400 mg/l) y el C.A.A. Este anión muestra un correlación positiva pero baja con el ión flúor ( $R^2 = 0,18$ ).

La Conductividad Eléctrica de las muestras analizadas varía entre 858 y un máximo de 2670 ms/cm con un promedio de 1445.5. La conductividad eléctrica es controlada por la concentración de los iones de  $\text{SO}_4^{-2}$  y los iones  $\text{Na}^+$   $\text{Ca}^{++}$ , ya que las soluciones de la mayoría de los compuestos inorgánicos, aniones cloruros, sulfatos de calcio, el sulfato de magnesio, cloruro de de sodio, de calcio, potasio y otros, se integran al agua por disolución simple debido a que en mayor o menor grado son solubles en agua.

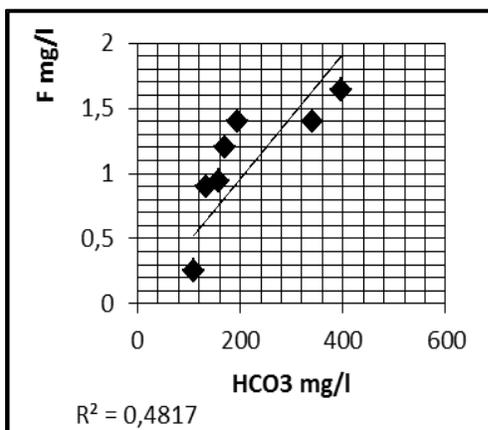


Figura 1

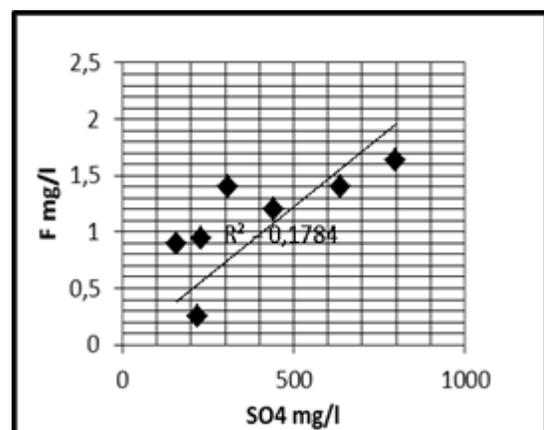


Figura 2

El ión  $\text{HCO}_3^-$  presenta valores máximos de 397, mínimo 110 mg/l, con un valor promedio de 215,6 mg/l. En la Figura 1 se muestra una muy buena correlación positiva existente entre el ión antes mencionado y el F y en la Figura 2 se muestra una baja correlación iónica entre el ión  $\text{SO}_4^{2-}$  y el F respectivamente; lo que indicaría que en aguas bicarbonatadas es mayor la posibilidad de presencia del ion flúor, que en un agua sulfatada, siendo posible que en agua carbonatadas la presencia de dióxido de carbono sea el causante de la presencia del ión flúor en el agua subterránea.

Las concentraciones de As varían entre un máximo de 0,38 y mínimo de 0,18 mg/l, con un promedio de 0,244 mg/l, este valor promedio supera las normas (0,03 mg/l)., encontrándose las concentraciones más altas en las Localidades de El 68 y El Bagual.

La correlación entre las concentraciones de As y F son buenas ( $R^2= 0,54$ ), indicando una cierta dependencia geoquímica, a pesar de que el ion  $\text{F}^-$  se presenta en concentraciones, que no superan las normas.

Las concentraciones de Flúor varían entre un máximo de 1,4 y un mínimo de 0,25 mg/l, con un promedio de 1,09 mg/l.

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:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$

Tabla1: Parámetros Físico-químicos recolectados como antecedentes en el área de estudio (Dpto. Copo) en el periodo comprendido del año 1998 al 2014.

Lugar	Fuente	C.E.	pH	Dza	Alc	Ca	Mg	Na	K	$\text{CO}_3\text{H}^-$	$\text{CO}_3^-$	Cl	$\text{SO}_4^-$	As	F <sup>-</sup>	R.S	
Vinal Consuelo	Surg	240	1099	8,10	32	161	11	1	238	8	196	0	87	308	0,20	1,4	703
Vinal Viejo	Pozo	220	1297	8,0	48	140	16	2	276	9	171	0	81	441	0,24	1,2	830
Providencia	Surg	240	915	7,96	27	131	7	2	199	-	159	0	94	231	0,20	0,94	915
El Bagual	Perfo	58	2420	8,41	200	280	60	12	667	16	342	6	174	638	0,32	1,4	1924
El 68	Perfo	59	2670	7,4	250	325	70	18	322	35	397	Vesti.	188	797	0,38	1,64	1840
El puestito																	
Año 1998	Perfo.	240	860	8,1	10	90	2	1	191	-	110	vesti-	70	221	0,18	0,25	600
El Puestito																	
2012	Perfo.	240	858	8,2	20	110	5	2	198	-	134	vesti-	110	158	0,19	0,9	623

## CONCLUSIONES

- Las muestras analizadas son sulfatadas, bicarbonatadas sódicas, de las cuales un 43% son aptas para consumo humano, el resto 57%, no son aptas para consumo ya que están excedidas en este ion.
- Con respecto a los oligoelementos, podemos decir que además se encontraron concentraciones del As, que sobrepasan ampliamente las normas del CAA y el de la OMS( 0,05 pm)
- Para el ion F-, no se han encontrado valores que sobrepasen los límites de las normas vigentes, pero, es necesario ampliar, la zona de estudio y la cantidad de muestras a analizar. Los antecedentes estudiados, presentan concentraciones de F<sup>-</sup> muy elevadas, en el área de este trabajo, lo cual puede tener su explicación en el hecho de que las muestras analizadas son de perforaciones relativamente recientes y de las cuales suponemos que en su construcción se utilizaron técnicas vigentes en la actualidad, como por ejemplo, sondeo Eléctricos Verticales (SEV), acompañado de perfilaje Eléctrico del Pozo, técnicas que permiten además aconsejar a las empresas de perforación, cuales son las formaciones acuíferas factibles de ser usadas y cuáles son las formaciones que deberán ser selladas por su mala calidad química.

## BIBLIOGRAFÍA

•”*Geología de Noroeste Argentino*”. **Aceñolaza; Toselli** – UNT (1981)

•**BIANCHI, A. R. y C. E. YAÑEZ**, (1992). “*Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino*”. Segunda Edición. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Regional Agropecuaria Salta. Secretaría de Estado de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, Salta.

•**FUERTES, A.; R. F. GARCIA, G. BAUDINO; F. MOYA RUIZ**. (1987). Proyecto CUHINOA. Caracterización de las Cuencas y Regiones Hídricas del Noroeste Argentino. Primera Parte. Provincias de Salta y Jujuy. SECYT - CIUNSa. Universidad Nacional de Salta. Cátedra de Hidrogeología. Inédito.

•**TINEO, A.**, et al, (2000). “*Hidrogeología de Tucumán*”. Cátedra de Hidrogeología, Fac. de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán