

## **CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LAS PROVINCIAS DE CÓRDOBA Y SANTA FE**

**Garnero S.<sup>1</sup>, Andreatta A.E.<sup>1,2</sup>, Garnero J.<sup>1</sup>, Arposio A.<sup>1</sup>**

1: Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional San Francisco. Av. de la Universidad 501, 2400, San Francisco, Córdoba, Argentina.

2: IDTQ- Grupo Vinculado PLAPIQUI – CONICET- FCFyN – Universidad Nacional de Córdoba, X5016GCA, Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba, Argentina.

aandreatta@plapiqui.edu.ar

**Resumen:** Con el objetivo de investigar la calidad de aguas subterráneas del Noreste (NE) de la provincia de Córdoba, y Noroeste (NO) de la provincia de Santa Fe, se tomaron muestras representativas de diferentes sectores, identificadas en coordenadas GPS, todas ellas procedentes de pozos de profundidad variable y cuyo destino es consumo animal, riego y en menor medida, consumo humano. De un total de 50 muestras, se determinaron por duplicado: color, turbidez, potencial hidrógeno (pH), conductividad, dureza, alcalinidad total, cloruros, sulfatos y sólidos totales disueltos (STD). Además se determinaron las concentraciones de nitratos, nitritos, amonio, arsénico, fierro y fluoruros. El ensayo de demanda química de oxígeno (DQO) se realizó al 50 % de las mismas. Los resultados fueron sometidos a un análisis estadístico a los fines de establecer una influencia entre las posiciones geográficas y el contenido en los componentes del agua determinados. Se determinó que ninguna de las muestras analizadas cumple con la

normativa del Código Alimentario Argentino (CAA) para ser agua potable. Las muestras fueron tomadas entre mayo y noviembre de 2013.

**Palabras claves:** Agua, Subterránea, Nitratos, Córdoba, Santa Fe, Potabilidad.

**Abstract:** In order to investigate the quality of groundwater in the Northeast (NE) of the province of Córdoba, and northwest (NW) of the province of Santa Fe, representative samples from different sectors identified in the GPS coordinates were taken all from of varying depth and destined for animal consumption, irrigation, and to a lesser extent human consumption. A total of 50 samples were determined in duplicate: color, turbidity, hydrogen potential, conductivity, hardness, total alkalinity, chloride, sulfate and total dissolved solids. Also the concentrations of nitrate, nitrite, ammonia, arsenic, iron and fluoride were determined. The assay of chemical oxygen demand was performed at 50% of the samples. The results were subjected to statistical analysis in order to establish an influence among geographic locations and content on certain components of water. It was determined that none of the samples complies with the Argentine Food Code for drinking water. The samples were taken between May and November 2013.

**Keywords:** Water, Underground, Nitrate, Córdoba, Santa Fe, Potability.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente existen varios sectores de la provincia de Córdoba y Santa Fe en los cuales se realizan perforaciones para encontrar aguas subterráneas. Éstas, se destinan a diversas utilidades; principalmente a consumo animal, en menor medida a riego y en algunos casos para consumo humano. El área de estudio se encuentra emplazada en las cuencas lecheras ubicadas en el Noreste (NE) de la provincia de Córdoba y Noroeste (NO) de la provincia de Santa Fe, donde se pueden encontrar varios tambos distribuidos. A ello se suma la agricultura, las condiciones edáfico-climáticas favorables que confluyen en una actividad agrícola-ganadera constante. Por otra parte, existen algunos asentamientos donde no llega agua corriente, motivo por el cual el agua de extracción subterránea es la que se emplea para uso doméstico e inclusive para consumo humano. Los motivos mencionados, conducen a considerar la calidad del agua subterránea, tomando como componentes críticos de la misma el contenido de nitritos, nitratos, arsénico, hierro, amonio, fluoruros y demanda química de oxígeno (DQO) como representante de su calidad microbiológica, sustancias claves en determinación de la aptitud hacia los fines mencionados.

El nitrógeno en el agua se puede encontrar en cuatro formas diferentes: nitrógeno orgánico (presente en proteínas vegetales, animales y excretas), nitrógeno amoniacal (generado por procesos metabólicos, agropecuarios e industriales), compuestos en forma de nitritos y compuestos en forma de nitratos. La descomposición por microorganismos transforma fácilmente el material nitrogenado orgánico en amoniacal. En la naturaleza, y

en presencia de oxígeno, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitrito y éste, rápidamente, en nitratos, que es la forma más oxidada que se encuentra el nitrógeno en el agua. El amoníaco es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales. Las concentraciones de nitrato y nitrito en la naturaleza han aumentado por las actividades humanas (uso de fertilizantes, descargas de líquidos cloacales e industriales, desechos de las actividades ganaderas, la combustión y los aerosoles). Los efectos más importantes de los nitratos sobre el medio ambiente son: la contaminación de cuerpos de agua con compuestos nitrogenados (y microorganismos), llevándolos hacia la eutroficación, la polución del aire urbano. La presencia de amoníaco en el agua de consumo no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud, de modo que no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, el amoníaco puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos (OMS, 2003).

El arsénico puede encontrarse en el agua en forma natural y a veces en concentraciones muy altas, debido a su presencia en la corteza terrestre y por procesos de erosión o vulcanismo o debido a las descargas industriales. En el ambiente el arsénico inorgánico se encuentra como arsénico metálico, arsénico trivalente (III) como trióxido de arsénico ( $As_3O_5$ ) y arsénico pentavalente (V) como pentóxido de arsénico ( $As_2O_5$ ). Aparece en mayores concentraciones en aguas blandas, ricas en bicarbonato de sodio (alcalinas). En un área o zona de aguas arsenicales se puede establecer que una mayor alcalinidad del agua, corresponderá una mayor concentración de arsénico; por

el contrario, en aguas ricas en sales de calcio y magnesio, ya sea bicarbonatadas o sulfatadas, no aparecerá el arsénico o lo hará en bajas concentraciones. Debido a la acumulación en el organismo, a su toxicidad en pequeñas dosis a su acción cancerígena y a su frecuente presencia en aguas de nuestro país, es necesario prestar especial atención al contenido de este elemento en aguas de provisión.

El flúor, como elemento, puede encontrarse en los gases volcánicos, en las rocas sedimentarias ó en las rocas ígneas. Por lo tanto, los compuestos de flúor se hallan generalmente, en cantidad mayor en aguas subterráneas que en superficiales. Se acepta que la ingesta de concentraciones determinadas de ión fluoruro en el agua de bebida previene parcialmente las caries dentales. Se sabe además, que el flúor es el causante de la fluorosis dental, un manchado de los dientes que ocurre cuando el contenido en fluoruros de las aguas para consumo sobrepasa la dosis aceptable.

El hierro en concentraciones superiores a su tolerancia, puede producir el manchado en telas y artefactos sanitarios por deposición y/o formación de compuestos insolubles de hierro y a su vez, impartir color y/o turbiedad a las aguas y un sabor metálico característico. Las aguas ferruginosas y manganosas pueden dar lugar a que se desarrollen, en zonas de poca circulación del agua o en depósitos, las llamadas "bacterias del hierro y el manganeso" confiriéndole olor fétido y color.

El ensayo de DQO mide el Carbono orgánico total, con excepción de ciertos aromáticos como el benceno el cual no es oxidado por el agente utilizado en esta determinación. El ensayo mide los miligramos de oxígeno por litro de agua necesarios para oxidar las sustancias orgánicas presentes en la misma.

Estudios previos sobre la calidad de las aguas subterráneas y

superficiales fueron realizados en la Argentina. Por ejemplo, en la cercanía de la Ciudad de Balcarce, Provincia de Buenos Aires en el año 2002, se investigó la contaminación de nitratos en los acuíferos de la zona rural de esa región (Costa *et al.*, 2002). Galindo *et al.*, 2007 analizaron la calidad de las aguas superficiales y subterráneas del nordeste de la provincia de Buenos Aires. Además, se analizó un estudio sobre el contenido de arsénico y oligoelementos asociados en las aguas subterráneas de la Región Chaco-Pampeana (Nicolli *et al.*, 2012). En cuanto la investigación de Smedley *et al.*, 2002 en la Provincia de La Pampa (LP), centra su foco en la hidrogeoquímica del arsénico y otros componentes inorgánicos de sus aguas. La **Tabla 1** evidencia los valores máximos permitidos para potabilidad de aguas establecidos por el CAA, 2012, correspondiente tanto a los parámetros determinados para caracterización de las muestras de agua como para los parámetros de investigación.

**Tabla 1:** Valores máximos permitidos de los parámetros de caracterización y de investigación determinados en el presente trabajo para potabilidad de aguas, según el CAA.

	Parámetro (unidad)	Valores permitidos	máx.					
<b>Caracterización</b>	Color	3 N T U		Dureza	Titulométrico	2140 C	EDTA 0.1M, Negro de Eriocromo T en polvo	Material de vidrio
	Turbidez	5 escala Pt - Co		Conductividad	Conductimétrico	2510 B	KCl 0.1 N	Conductímetro
	pH (upH)	6,5- 8,5		Cloruro	Argentométrico	Cl( ) B	AgNO <sub>3</sub> 0.1N, K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> 5%	Material de vidrio
	Conductividad (dS/m)	No se expide		pH	Electrométrico	4500 H( ) B	Buffer pH 7, Buffer pH 4	Peachímetro
	Dureza total (mg/L)	400		STD	Gravimétrico	2540 C	-	Estufa de secado
	Alcalinidad total (mg/L)	No se expide		Amonio	Nesslerización	4500 NH <sub>3</sub> C	Reactivo de Nessler N° 21194-49 HACH. Estabilizador mineral N° 23766-26 HACH. APV N° 23765-26 HACH	Espectrofotómetro
	Cloruros (mg/L)	350		Nitrato	Reducción de Cadmio	4500 NO <sub>3</sub> ( ) F	Reactivo NitraVer5, N° 14034-99 HACH	Espectrofotómetro
	Sulfatos (mg/L)	400		Nitrito	Colorimétrico	4500NO <sub>2</sub> ( ) B	Reactivo NitriVer3, N° 21071-69 HACH	Espectrofotómetro
STD (mg/L)	1.400		Sulfato	Turbidimétrico	4500SO <sub>4</sub> ( <sup>2-</sup> ) E	Reactivo SulfaVer4, N° 12065-99 HACH	Espectrofotómetro	
<b>Investigación</b>	Arsénico (mg/L)	< 0,01		DQO	Colorimétrico	5220 D	Reactivo digestión DQO hasta 150 mg/L N° 212580-25 HACH	Termorreactor
	Nitritos (mg/L)	0,1		Arsénico	Colorimétrico	3500 AsC	Reactivo Arsen 50 Quantofix, N° 332706, Macherey-Nagel	Material del kit
	Nitratos (mg/L)	45		Hierro	Colorimétrico	3500 Fe D	Reactivo FerroVer N° 21057-69 HACH	Espectrofotómetro
	Amonio (mg/L)	0,20		Fluoruro	Colorimétrico	4500 F D	Reactivo Spadns, N° 444-49 HACH	Espectrofotómetro
	Hierro (mg/L)	0,20						
	Fluoruro (mg/L)	0,7 a 1,2 para T media anual 17,7°C						
DQO	No se expide							

**Tabla 2:** Método analítico, norma de referencia, reactivos y equipos utilizados Clesceri, 1992.

Determinación	Método Analítico	Norma de referencia	Reactivos	Equipos
Color	Comparación visual	2120 B	-	Material de vidrio
Turbidez	Nefelométrico	2130 B	-	Espectrofotómetro
Alcalinidad	Titulométrico	2320 B	HCl 0.1N, Fenolftaleína 0.1%, Heliantina 0.1%	Material de vidrio

## MATERIALES Y MÉTODOS

La toma de muestras se efectuó en botellas de 1 L, completamente limpias, en las cuales se recirculó previamente agua por el intervalo de 3 minutos. En la **Tabla 2** se presenta el método analítico, la norma de referencia utilizada, los reactivos y los equipos para cada uno de los ensayos que se realizaron en este trabajo y que fueron extraídos de Clesceri, 1992.

Los modelos de los equipos utilizados corresponden a: conductímetro COMBOI HI 98130, espectrofotómetro HACH DR2800, peachímetro ALTRONIX TPX-I, termorreactor VelpScientífica ECO25. Además, como equipos básicos de laboratorio se utilizó una estufa de secado DALVO modelo SB464, balanza gravimétrica METTLER modelo P1000N 0,001 g y balanza analítica DENVER APX-200 g a 0,0001 g.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

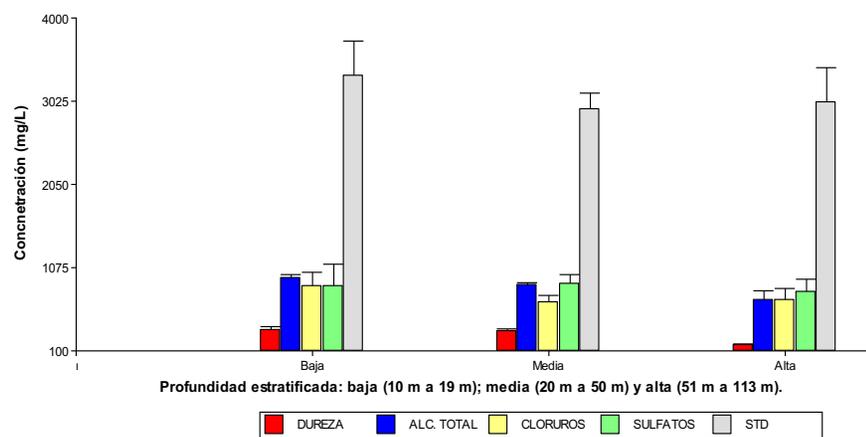
La **Tabla 3** muestra la media, el desvío estándar (DE), el valor máximo y la mediana pertenecientes al total de las determinaciones efectuadas para los parámetros de: pH, conductividad, dureza, alcalinidad total, cloruros, sulfatos y STD pertenecientes a los parámetros de caracterización.

**Tabla 3:** Valores estadísticos procedentes de la caracterización de las muestras de agua

Parámetro (unidad)	Media	DE	Máximo	Mediana
pH (upH)	7,37	0,12	9,28	7,44
Conductividad (dS/m)	4,4	0,23	10,38	4,12
Dureza (mg/L)	308,75	19,99	860	240

Alcalinidad total (mg/L)	849,95	31,66	1708	884,3
Cloruros (mg/L)	702,11	59,39	2592	532,5
Sulfatos (mg/L)	866,25	88,58	4814	580
STD (mg/L)	2996,5	157,44	7058	2790,5

Las **Figuras 1 y 2** muestran la incidencia de la profundidad del pozo para la concentración de los parámetros de caracterización: dureza, alcalinidad total, cloruros, sulfatos, STD y para los parámetros de investigación: nitratos, nitritos, amonio, arsénico, hierro y fluoruros respectivamente. De las muestras analizadas, los porcentuales correspondientes a las profundidades fueron: 10 m (2 %); 12 m (2 %); 15 m (10 %); 18 m (8 %); 20 m (28 %); 25 m (14 %); 50 m (18 %); 80 m (10 %); 110 m (6 %) y 130 m (2%). Para los parámetros de caracterización, estos valores de profundidad fueron estratificados bajo el siguiente criterio: a) baja profundidad (10 m, 12 m y 15 m) que corresponde al 14 % de las muestras; media profundidad (18 m, 20 m, 25 m y 50 m) que corresponde al 68 % de las muestras y alta profundidad (80 m, 110 m y 130 m) que corresponde al 18 % de las muestras.



**Figura 1:** Concentración de los parámetros de caracterización en función de la profundidad estratificada.

Respecto a la **Figura 1**, el contenido de dureza en todas las muestras analizadas se encuentran por debajo del límite permitido por el CAA, mientras que los restantes valores de los parámetros de caracterización exceden los permitidos. Los segmentos que se encuentran en esta figura por encima de cada barra, se corresponden al desvío estándar obtenido del promedio de los valores.

En la **Figura 2**, la línea negra horizontal que atraviesa las barras, corresponde al nivel máximo permitido según el CAA en contenido de nitratos, nitritos, amonio, arsénico, hierro y DQO respectivamente. Mientras que las dos líneas rojas presentes en la **Figura 2(E)** corresponden al intervalo de aceptación de fluoruro según temperatura media anual y especificada en el CAA, 2012.

La **Figura 2(A)**, muestra que la concentración de nitratos tiene una tendencia logarítmica con la profundidad del pozo. Es decir, se encuentra una menor cantidad de nitratos en las aguas subterráneas de los pozos de mayor profundidad. La concentración de nitritos, amonio, arsénico, hierro y fluoruros no presentan una marcada tendencia en función de la profundidad del pozo (**Figura 2B-E**). La concentración de arsénico, hierro y fluoruros se debe a un origen de formación geológico por lo que la concentración es diferente de una profundidad a otra.

La **Figura 2B**, muestra que todas las muestras analizadas superan el límite permitido por el CAA en el contenido de nitritos mientras que la **Figura 2C**, sólo las muestras de 110 m de profundidad (3 muestras) están dentro de los límites permitidos de amonio, mientras que las muestras de 130 m de la **Figura 2D** (una muestra) de profundidad se encuentran dentro de los límites tolerables en arsénico y de fluoruros (**Figura 2E**). Como también se observa en la **Figura 2E**, muchas de las muestras se encuentran dentro de los límites permitidos por el CAA en el contenido del hierro. Con respecto a la **Figura 2F**, se puede deducir que hay una constancia de los valores de la DQO hasta profundidades de 50 m y luego una disminución, dado que a más profundidad menos oxígeno y menos demanda por parte de los microorganismos aerobios.

Para evaluar la variabilidad de las posiciones geográficas con los parámetros objetos de investigación sobre la calidad de las muestras, se ha recurrido al análisis multivariado de componentes principales (ACP) utilizando el programa estadístico Infostat.

En cuanto a la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de aguas con relación a las coordenadas geográficas se realizó un ACP cuya representación en diagramas

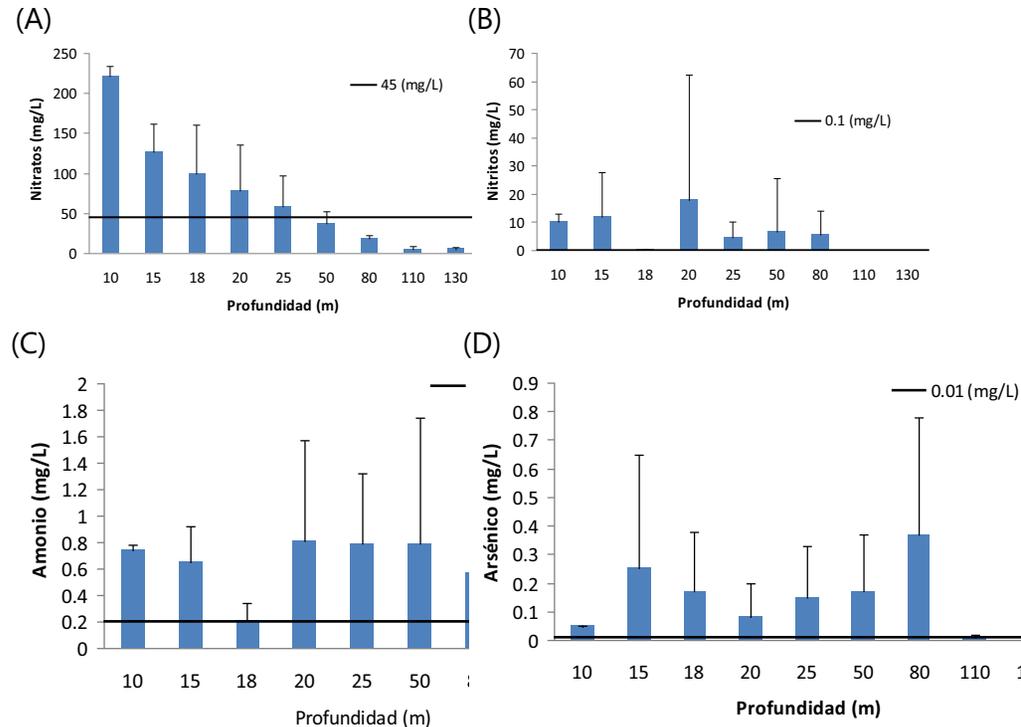
de dispersión, denominados biplots, propuestos por Gabriel, 1971 muestran las observaciones (coordenadas geográficas) y las variables (parámetros fisicoquímicos) en un mismo gráfico de tal forma que se pueden hacer interpretaciones sobre las relaciones conjuntas. El prefijo "bi" refleja las características de que tanto observaciones como variables están en un mismo plano (**Figura 3**).

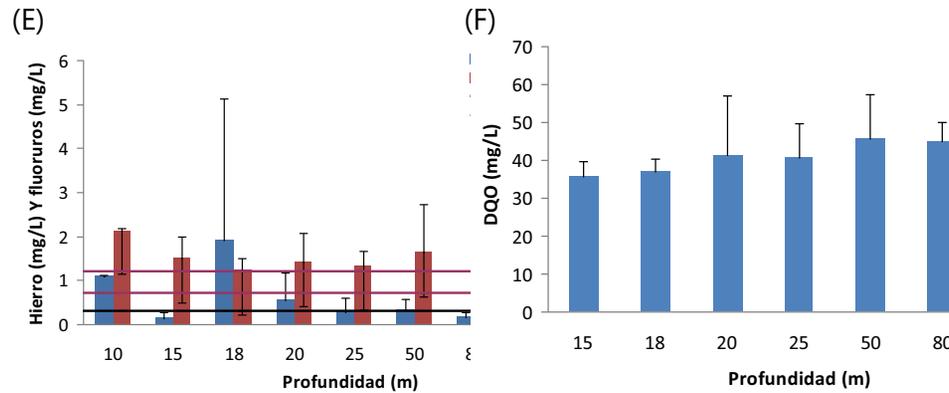
Las dimensiones reducidas con las que se trabajó fueron dos: componente principal 1 (CP1) y componente principal 2 (CP2) dado que ambas permiten explicar más del 60 % (61,2 %) de la variabilidad total. El coeficiente de correlación cofenética fue de 0,919 siendo una medida del grado de reducción dimensional logrado. La CP1 y CP2 describieron el 41,7 % y el 19,5 % respectivamente. El 41,7 % de la variabilidad de las muestras fue explicada por nitritos, amonio, fluoruros, hierro y DQO, ya que estas fueron las variables de mayor proyección, es decir de mayor peso, sobre el eje CP1. A excepción de hierro, los pesos de las demás variables fueron similares por lo que sugiere contribuciones similares de cada variable a la variabilidad de las muestras. Por otro lado, el 19,5 % de la variabilidad de éstas fue explicado por nitratos y arsénico, dado que estas variables fueron las de mayor peso sobre el eje CP2.

Las coordenadas GPS de cada una de las muestras expresadas en el sistema sexagesimal fueron convertidas a un único vector obtenido de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las coordenadas de longitud oeste y latitud sur respectivamente. Además, para una mejor identificación en el biplot, este vector fue multiplicado por un factor de 10.

La CP1 fue definida por nitritos, amonio, fluoruros y DQO a lo largo del eje positivo y en esta región se ubicaron las coordenadas geográficas vectoriales 691,70; 692,70; 692,56;

690,57; 695,46 y 694,40. La región negativa de CP1 fue descrita por Hierro e incluyó los sitios 695,61; 692,73; 690,78; 691,91; 695,10; 694,53; 697,73; 691,88; 696,04; 696,00; 695,49; 693,79; 696,09; 691,95 y 690,00.





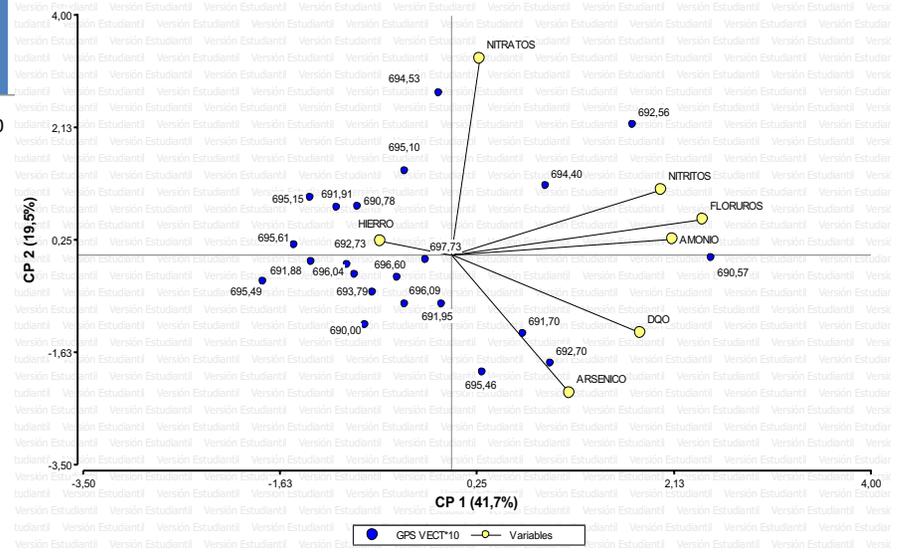
**Figura 2:** Concentración de: (A) nitratos, (B) nitritos, (C) amonio, (D) arsénico, (E) hierro y fluoruros, (F) DQO (mg/L) en función de la profundidad de los pozos analizados.

La CP2 fue principalmente definida por nitratos a lo largo del eje positivo. En esta región se ubicaron las coordenadas geográficas vectoriales 694,40; 692,56; 695,61; 690,78; 695,15; 691,91; 695,10 y 694,53. Por otro lado en el eje CP2 negativo solo se encontró arsénico y las coordenadas 691,88; 695,49; 696,04; 696,79; 696,09; 691,95; 690,00; 695,46; 691,70; 692,70 y 690,57.

Los resultados muestran que el análisis de componentes principales permitió discriminar entre las diferentes muestras de aguas. Se encuentran relaciones fuertemente positivas entre nitritos, fluoruros y amonio; relaciones negativas entre el hierro y las anteriores variables y se observa además que no existe relación entre el DQO y arsénico con los nitratos y arsénico con nitritos.

El parámetro hierro no se halla asociado a ninguno de los otros parámetros y su presencia no guarda relación específica con la

posición geográfica, sin embargo está ampliamente distribuido en las zonas analizadas. Además las posiciones geográficas 694,40; 692,56 y 690,57 son similares en términos de nitratos, nitritos, amonio y fluoruros y que 691,70; 692,70 y 695,46 son similares en términos de DQO y arsénico.



**Figura 3:** Análisis de componentes principales entre los parámetros fisicoquímicos de las muestras de agua y las coordenadas geográficas vectoriales.

Del estudio del contenido de nitratos, nitritos, amonio, arsénico, hierro y fluoruros en función a la ubicación geográfica realizado a partir del aplicativo Google Maps Engine, se pudo observar que

no existe una clara tendencia respecto a la concentración de los mismos respecto a la ubicación geográfica.

La **Tabla 4** resume la media, el desvío estándar, el valor máximo junto con sus coordenadas GPS correspondiente a la ubicación geográfica y la mediana de los parámetros bajo investigación llevados a cabo en este trabajo. A partir de esta **Tabla 4**, se puede observar que el valor máximo de amonio y fluoruro se encuentra en la misma muestra de agua, mientras que el valor máximo de arsénico se lo encontró en dos muestras de las 50 muestras totales analizadas.

**Tabla 4:** Valores estadísticos de las variables de investigación procedentes de la caracterización de las muestras de agua

	<i>Media</i>	<i>DE</i>	<i>Máximo</i>	<i>GPS del máximo</i>	<i>Mediana</i>
Arsénico	0,15	0,02	1,0	-30°42'49,44"; 61°52'58,14" -30°40'51,34"; 62°0'34,84"	- 0,05 -
Nitritos	8,85	2,61	165,0	-31°04'28"; -62°0'25"	0,08
Nitratos	65,96	5,62	230,0	-30°54'00"; -62°12'00"	45,19
Amonio	0,66	0,07	3,86	-30°59'39"; -62°05'96"	0,49
Fluoruro	1,41	0,07	4,56	-30°59'39"; -62°05'96"	1,26
Hierro	0,5	0,11	7,56	-30°34'12"; -61°4,92'	0,16
DQO	27,52	3,26	69,5	-30°48,545'; -61°48,233'	32,25

## CONCLUSIÓN

Se pudieron encontrar que las mejores condiciones en nitratos se encuentran a mayor profundidad de pozo. La presencia de arsénico, hierro y fluoruros se debe a un proceso geológico y por lo tanto sus valores son dispares entre un pozo y otro. De las 50 muestras de aguas subterráneas aquí analizadas se pudo observar que ninguna de ellas cumple con los requisitos para ser agua potable. Para consumo animal al igual que para consumo humano, su aceptabilidad queda excluida, mientras que para riego se necesita investigar otros parámetros a los fines de aplicar diversos índices que definan su calidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- CAA. 2012. Código Alimentario Argentino, Capítulo XII: Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. <http://www.anmat.gov.ar>. Argentina.
- Clesceri, L. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WPCF). Madrid. 17ª Edición. , Díaz de Santos S.A.
- Costa, J.L., Massone, H., Martínez, D., Suero, E.E., Vidal, C.M. and Bedmar, F. 2002. Nitrate contamination of a rural aquifer and accumulation in the unsaturated zone. *Agricultural Water Management*, 57, 33-47.
- Gabriel, K.R. 1971 The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis *Biometrika*, 58, 453-467.
- Galindo, G., Sainato, C., Dapeña, C., Fernández-Turiel, J.L., Gimeno, D., Pomposiello, M.C. and Panarello, H.O. 2007. Surface and groundwater quality in the northeastern region of Buenos Aires Province, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 23, 336-345.
- Nicolli, H.B., Bundschuh, J., Blanco, M.d.C., Tujchneider, O.C., Panarello, H.O., Dapeña, C. and Rusansky, J.E. 2012. Arsenic and associated trace-elements in groundwater from the Chaco-Pampean plain, Argentina: Results from 100 years of research. *Science of The Total Environment*, 429, 36-56.
- OMS. (2003). "Ammonia in drinking-water. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwg/ammonia.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/ammonia.pdf)."
- Smedley, P.L., Nicolli, H.B., Macdonald, D.M.J., Barros, A.J. and Tullio, J.O. 2002. Hydrogeochemistry of arsenic and other

inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. *Applied Geochemistry*, 17, 259-284.

### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen a CONICET, Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional de Córdoba, y Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica por la ayuda económica recibida.