

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO 075/2011

# COMPORTAMIENTO Y EVOLUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Buenos Aires, 27 de Agosto de 2019



Universidad Nacional  
de La Pampa



# INTRODUCCIÓN

- La llanura Chacopampeana argentina constituye una de las mayores áreas a nivel mundial afectada por la problemática del alto contenido de arsénico de sus aguas subterráneas.
- La misma es portadora de uno de los acuíferos con mayor ingerencia en el ámbito de la región involucrando a varias de las provincias argentinas económicamente más activas e importantes, desde el punto de vista industrial, agrícola-ganadero y con el mayor porcentaje de la población. Las provincias mayormente afectadas por los altos contenidos en arsénico son: Córdoba, Buenos Aires, Santa Fe, La Pampa y las del Norte-NO , involucrando a más de dos millones de personas

# INTRODUCCIÓN



- La moderada a severa toxicidad por As en la Llanura Chaco-Pampeana de la Argentina deteriora la calidad de los acuíferos Pampeano (loess eólico) y de limitados sectores del acuífero Puelche (continental).
- La marcada heterogeneidad en las concentraciones de As en el agua subterránea (As del acuífero Pampeano: hasta 5300  $\mu\text{g/l-1}$ ; As del acuífero Puelche: con sectores en el rango 37- 200  $\mu\text{g/l-1}$ ) está controlada por la litología, la geomorfología, el clima-paleoclima, la dinámica sedimentaria y el tiempo de residencia del agua.
- El vidrio volcánico de composición riolítica (As: 6800-10400  $\mu\text{g/kg-1}$ ) presente en el loess, es una importante fuente de provisión de As al agua así como otros constituyentes minerales de la fracciones arena y limo, y de la fracción arcilla.

- Los dos estados más comunes en la naturaleza son el  $\text{As}+3$  y  $\text{As}+5$ . El Arseniato es la especie más estable del  $\text{As}+5$  en condiciones aeróbicas y aguas, mientras que el Arsenito lo es del  $\text{As}+3$ , forma predominante en condiciones anaerobias en aguas superficiales si la oxidación del  $\text{As}+5$  es incompleta.
- En condiciones naturales, las mayores concentraciones de arsénico son encontradas en las aguas subterráneas como resultado de la fuerte influencia de las interacciones agua - sedimento, proceso que se ve favorecido por grandes tiempos de residencia.

- No obstante la importancia y la extensión señalada, este acuífero, salvo en casos puntuales, no tiene la necesaria investigación como para tener un conocimiento y conceptualización hidrogeológica más acabada y detallada, en todo lo que concierne a su hidrodinámica, procesos y fenómenos de recarga, y procesos geoquímicos que se llevan a cabo en el mismo.
- Las aguas subterráneas con alto contenido de arsénico y otros oligoelementos están alojadas en sedimentos loéssicos cuaternarios, generalmente agrupados bajo el nombre de Formación Pampeano.

- En lo que al arsénico respecta, las concentraciones en las aguas subterráneas se caracterizan por presentar una gran variabilidad AREAL Y TEMPORAL y un comportamiento aparentemente errático, sin mostrar ningún patrón regional y dificultando en gran medida la exploración de aguas con bajo contenido.
- La variabilidad en el contenido del oligoelemento puede deberse entonces a tres factores preponderantes: litológicos, hidráulicos y químicos. Se hace difícil poder establecer o delimitar con precisión todas las zonas con distintos valores de arsénico, aunque hay muchas áreas en la región que se destacan por su elevado contenido.

# PID 075/2011 - ARSENICO

## OBJETIVOS DEL PROYECTO

### INTRODUCCIÓN

- Mejorar el conocimiento regional y local de los factores hidrogeológicos, hidrogeoquímicos e hidrodinámicos que controlan la incorporación y el comportamiento del arsénico en el suelo, sedimentos y en el agua subterránea.
- Avanzar en la comprensión de los mecanismos que inciden en la disolución del Arsénico, Flúor y otros oligoelementos, aparentemente producto de una combinación de factores, como ser: de velocidad de flujo (hidráulicos) y reacciones físico-químicas con la superficie del mineral en mayor medida. Es por ello que se considera necesario abordar con énfasis el análisis detallado de la estratificación hidroquímica y de los procesos modificadores actuantes durante la infiltración.

# PID 075/2011 - ARSENICO

## PRODUCTOS ESPECÍFICOS DEL PID PARA LAS PROVINCIAS:

### INTRODUCCIÓN

- ✓ Base de Datos Hidrogeológica del Arsénico (una por provincia correspondiente) y base bibliográfica.
- ✓ Manuales de procedimientos: hidrogeológicos de exploración y explotación; operatorias de toma de muestras, acondicionamiento, traslado y análisis químicos en laboratorio, otros.
- ✓ Capacitación con Cursos, Talleres Regionales, entrenamiento específico en técnicas de gabinete, campo y laboratorio, aplicadas al estudio: base de datos y Sistema de Información, perforaciones, ensayos de acuíferos, geofísica, mapas temáticos, análisis hidroquímicos, hidrogeoquímica, otros.



**Actividad I: Área Piloto**  
 Hidrogeológico La Pampa –  
 Facultad de Ciencias Exactas  
 y Naturales-Universidad Nacional  
 de La Pampa

**Actividad II: Área Piloto**  
 Tres Arroyos Buenos Aires -IHLLA  
 Universidad Nacional del Centro

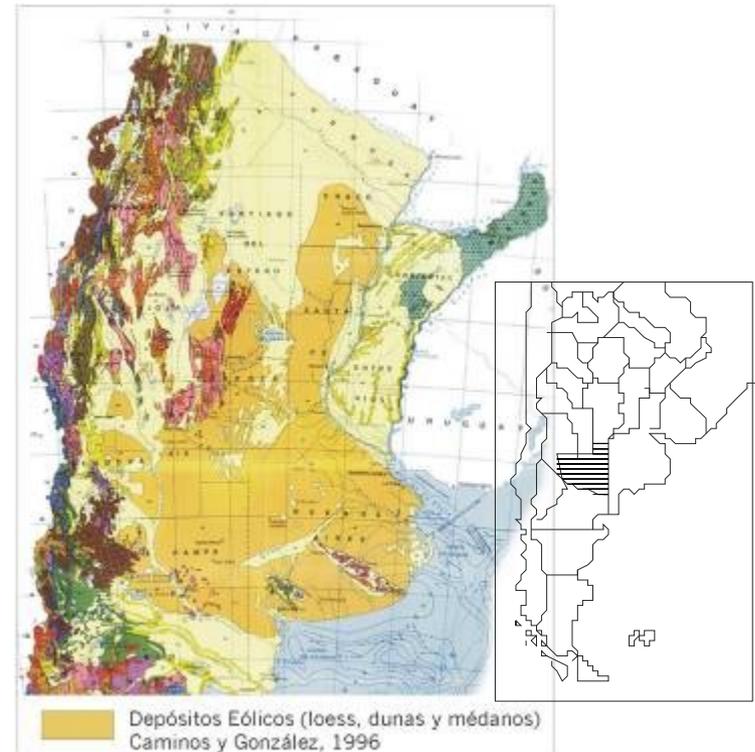
# Piloto La Pampa

## Área de estudio



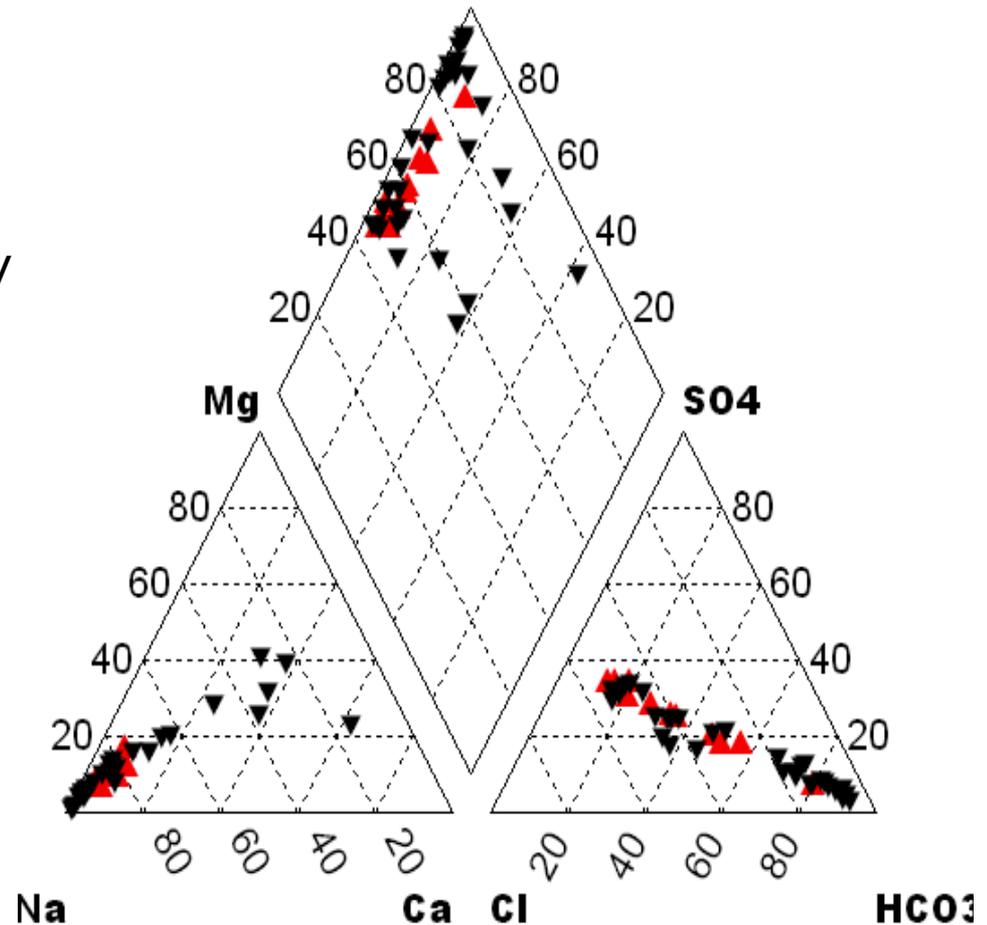
Eduardo Castex

La región en estudio se ubica en el departamento Conhelo de la provincia de La Pampa, emplazada en el sector SW de la región de la llanura Chaco Pampeana Argentina, portadora de uno de los acuíferos con mayor extensión e injerencia regional.



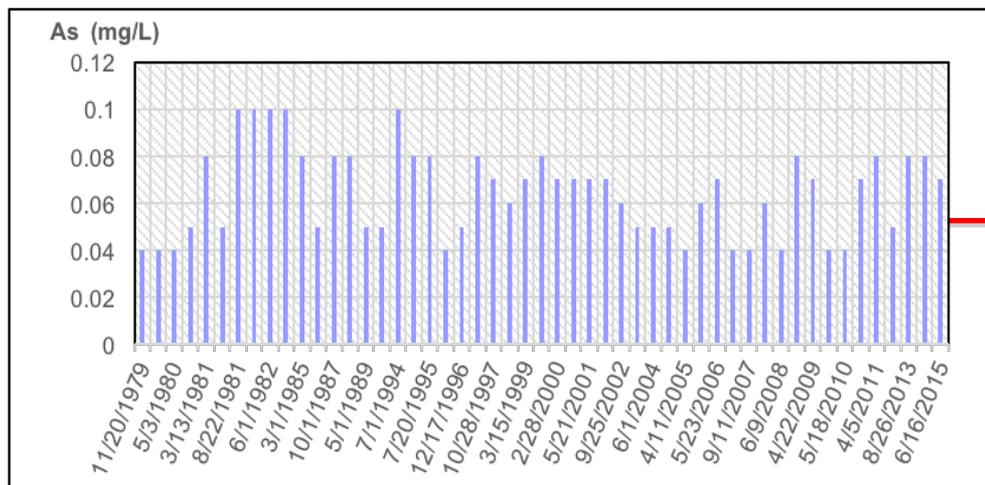
## Resultados

- **pH** neutral a alcalino: 8.3 en QQ y 8.2 en IA
- **Eh** (mV) condiciones oxidantes: 168.8 en QQ y 165.6 en IA
- **CE** ( $\mu\text{S} / \text{cm}$ ) alta en áreas de descarga: 456 - 11400 QQ; 1160 - 10640 IA
- **Tipo de agua** Na-HCO<sub>3</sub> o Na-Cl-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 99% del total de As: Arseniato como (V) (modelado en visual minteq)



## ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO (en $\mu\text{g/l}$ )

	Smedley et al. (2000)		Inventario Rec. Hídricos (2015)		PID 075/11 (2016)	
	As(T)	As(III)	As(T)	As(III)	As(T)	As(III)
<b>Mínimo</b>	<b>&lt;4</b>	<b>&lt;3</b>	<b>28</b>	<b>&lt;5</b>	<b>29.9</b>	<b>0,1</b>
<b>Máximo</b>	<b>5.280</b>	<b>105</b>	<b>567</b>	<b>&lt;5</b>	<b>4440</b>	<b>9,42</b>
<b>Promedio</b>	<b>414</b>	<b>10,7</b>	<b>185</b>	<b>---</b>	<b>411,1</b>	<b>1,61</b>
<b>Relación media As(III)/As(T)</b>	<b>0,0258</b>		<b>0,027 (aprox.)</b>		<b>0,004</b>	



0,05 mg/l

# CORRELACION DEL ARSÉNICO CON ELEMENTOS MENORES Y TRAZAS

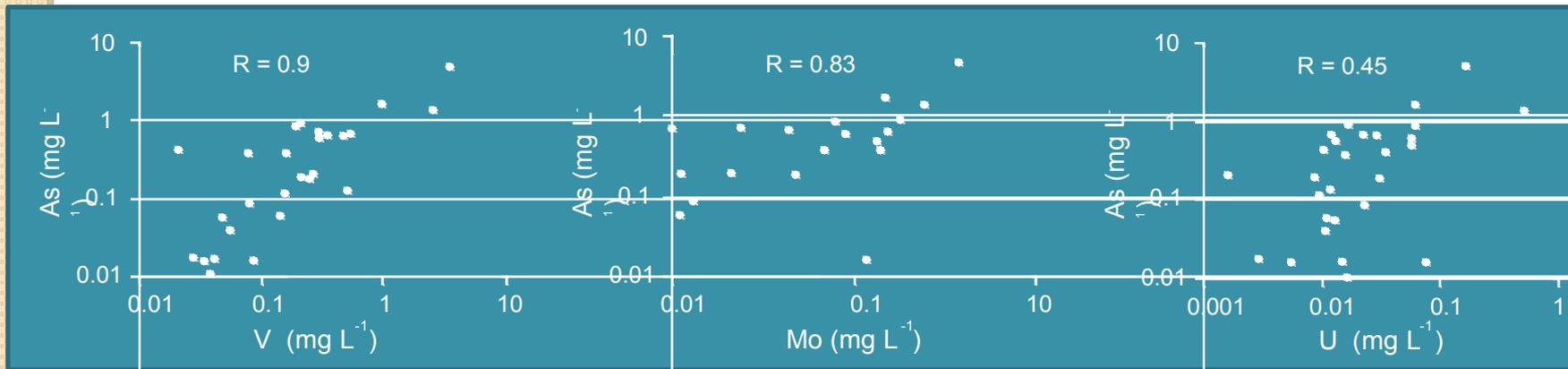
el arsénico tiene una buena correlación positiva con

**V, Mo, U, y F**

**Se encuentra en altas concentraciones en la ceniza volcánica**

**La ceniza volcánica es la fuente principal del arsénico en el agua subterránea**

Regional



↓

Óxidos y -hidróxidos de Al- y Mn son importante espacios para adsorción de arsénico

↓

El punto de la carga cero (**punto isoléctrico**) de Óxidos y -hidróxidos de Al y Mn, donde el arsénico es liberado en el agua, está en rango de pH 7,3- 9,1

→

Concuerde con maxima concentraciones del arsénico disuelto a altos valores de pH

↓

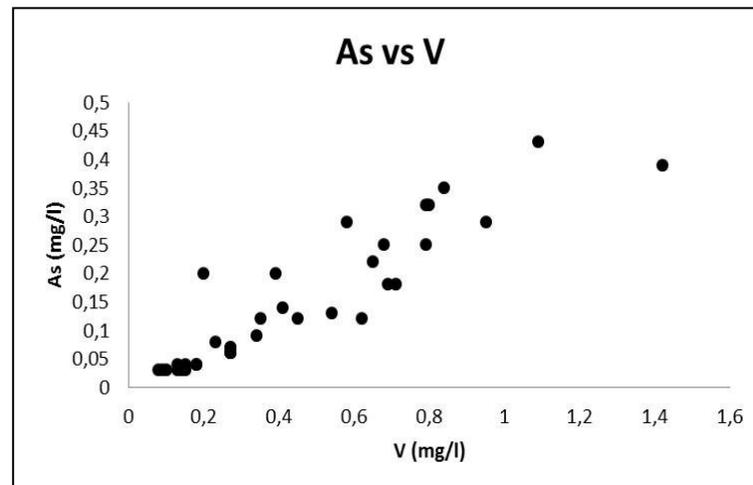
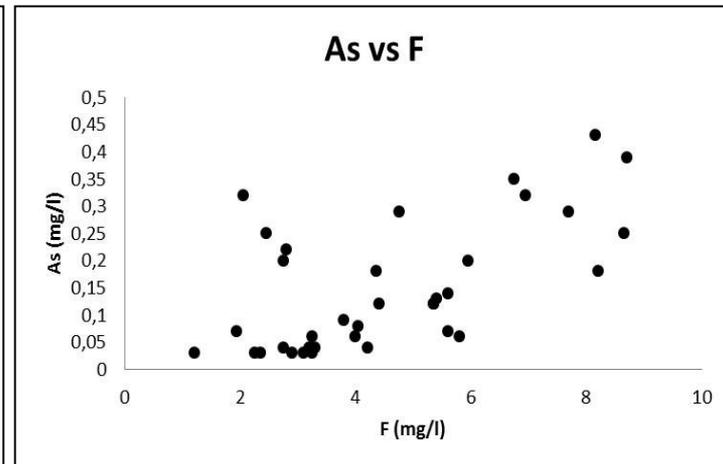
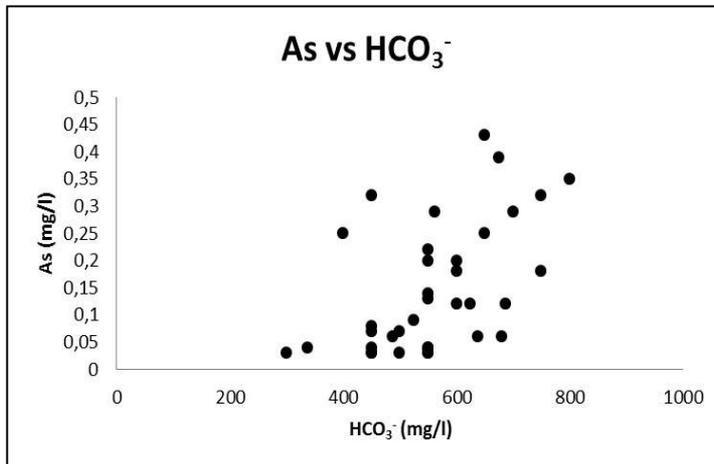
Oxidos y -hidróxidos de Al- y Mn controlan las concentraciones del arsénico disuelto

## Correlation coefficients of As versus other elements

	T	pH	EC	Eh	F	Cl	NO3	SO4	HCO3	PO4	Ca	Mg	Na
As	-0,117	0,547	0,023	0,569	0,867	0,082	0,239	-0,054	0,643	0,111	-0,465	-0,386	0,174
B	0,045	0,081	0,711	-0,112	0,558	0,639	0,188	0,666	0,719	0,068	-0,203	0,154	0,814
U	0,101	0,059	0,425	0,052	0,573	0,332	0,102	0,374	0,710	0,203	-0,066	0,145	0,496
V	0,121	0,491	0,145	0,510	0,640	0,222	0,232	-0,205	0,539	0,139	-0,376	-0,363	-0,011
Mo	0,191	0,080	0,616	0,117	0,446	0,572	0,142	0,628	0,289	0,102	0,059	0,238	0,629

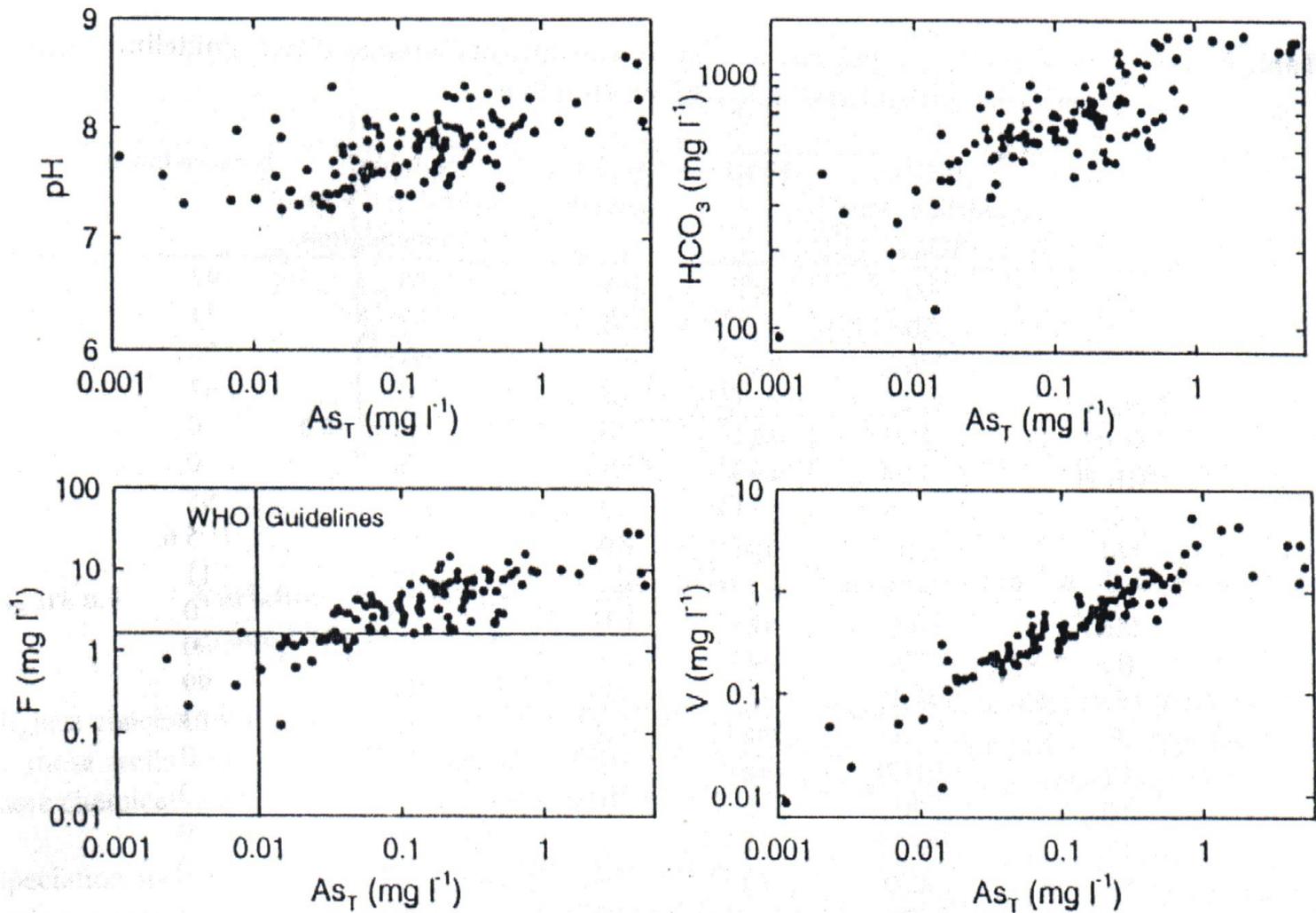
	K	As	B	U	V	Mo	Cu	Li	Si	Sr	Zn	Al	Fe	Mn
As	-	1,000	0,465	0,434	0,809	0,189	0,163	0,216	0,299	0,360	0,162	0,241	-0,119	0,204
B	0,116	0,465	1,000	0,810	0,222	0,535	0,055	0,521	0,222	0,222	0,034	0,334	0,008	0,081
U	0,081	0,434	0,810	1,000	0,223	0,411	0,004	0,434	0,179	0,129	0,059	0,173	0,070	0,163
V	0,234	0,809	0,222	0,223	1,000	0,134	0,149	0,322	0,210	0,328	0,137	0,098	0,134	0,180
Mo	0,203	0,189	0,535	0,411	0,134	1,000	0,136	0,434	0,264	0,283	0,114	0,083	0,231	0,018

# Relaciones iónicas - Área de estudio



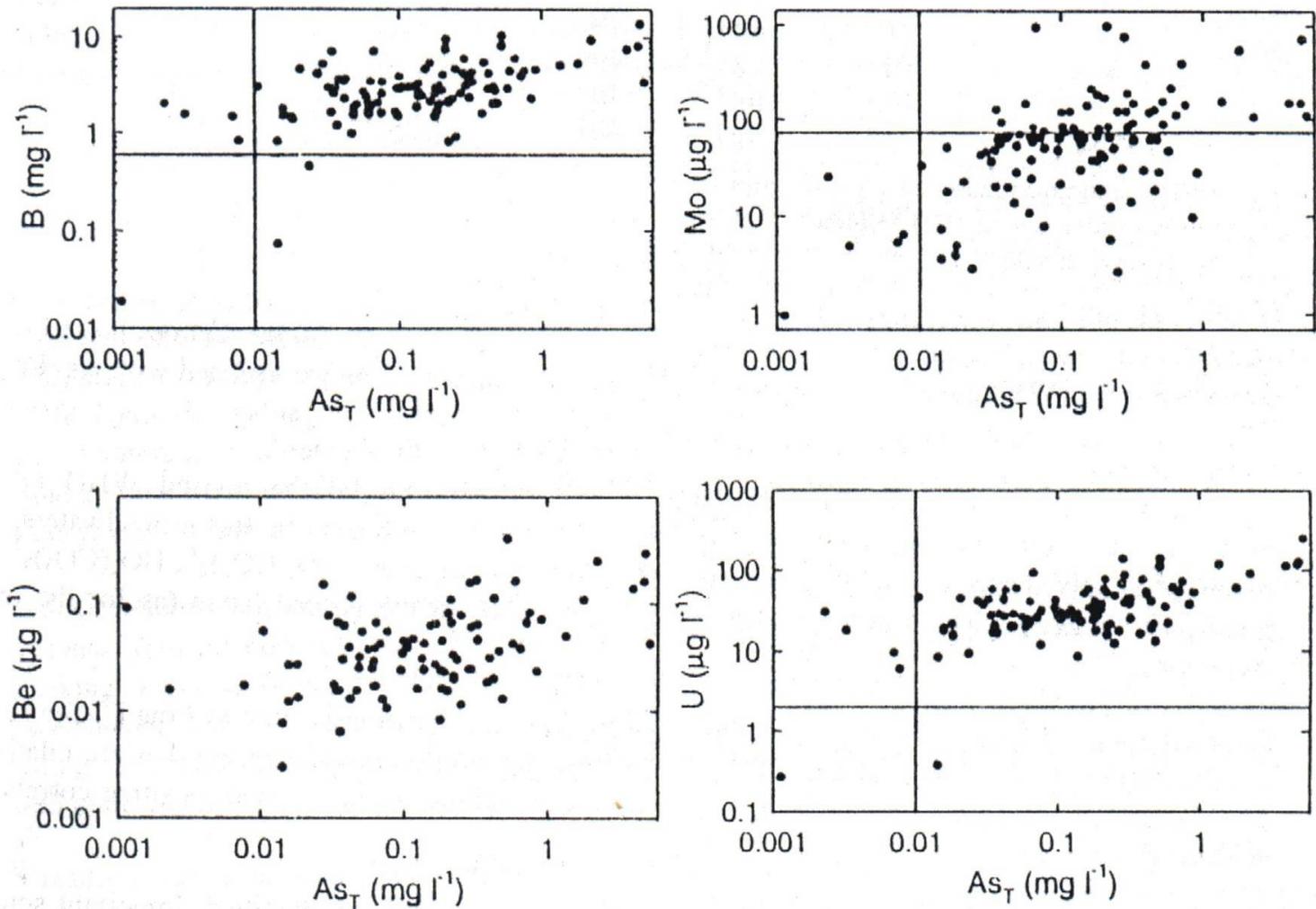
Inventario de Recursos Hídricos de La Pampa- Región 2

## Relaciones iónicas - Área de estudio



Fuente P,L, Smedley; Macdonal, D,M; Nicolli, H,B; Barros, A,J; Tullio, J,O y Pearce, J,M. 2000- B.G.S

## Relaciones iónicas - Área de estudio



Fuente P,L, Smedley; Macdonal, D,M; Nicolli, H,B; Barros, A,J; Tullio, J,O y Pearce, J,M. 2000- B.G.S

## Relaciones iónicas - Área de estudio

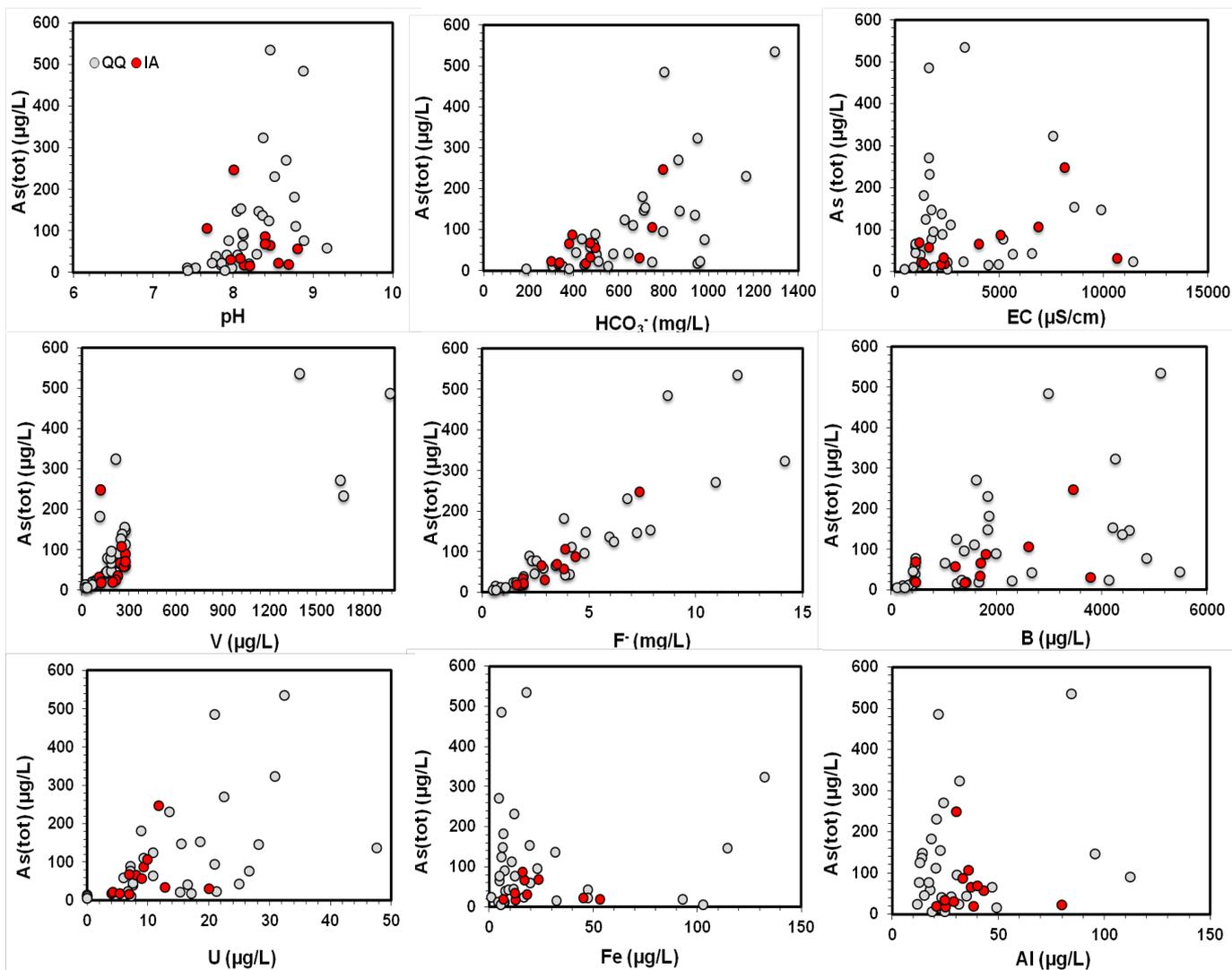


Gráfico de dispersión que muestra las correlaciones entre las concentraciones de As y otros parámetros hidroquímicos de las áreas de estudio de QQ e IA, Aullon, 2012

# VARIACIÓN VERTICAL DE LA HIDROQUÍMICA

## Metodología

- Perforación realizada mediante percusión.
- Profundidad de 78 m. (atravesando todo la formación acuífera)
- **Muestras de sedimento** cada 4 metros (inalterada y puntualmente representativa de esa profundidad).
- **Muestras de agua** cada 4 metros de profundidad (26 en total), 13 para determinación de elementos mayoritarios y 13 para determinación de elementos minoritarios.



# Metodología

## - **Análisis de sedimento:**

- + Análisis textural de las muestras de sedimentos por detector óptico de partículas.
- + Determinación de las especies cristalinas en sedimento mediante difracción de rayos X (DRX)

## - **Análisis de agua:**

- + Determinación de elementos mayoritarios mediante técnicas convencionales.
- + Los elementos minoritarios y traza se analizaron mediante espectroscopia de emisión con plasma de acoplamiento inductivo (ICP).

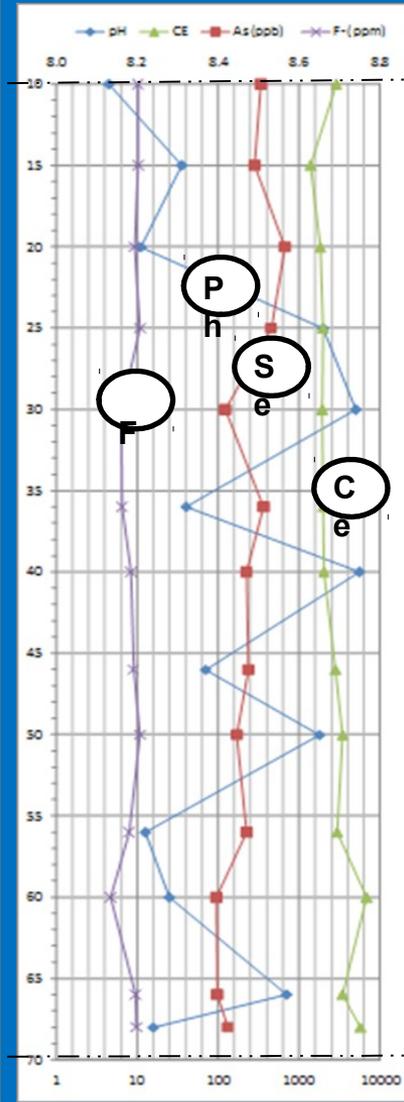
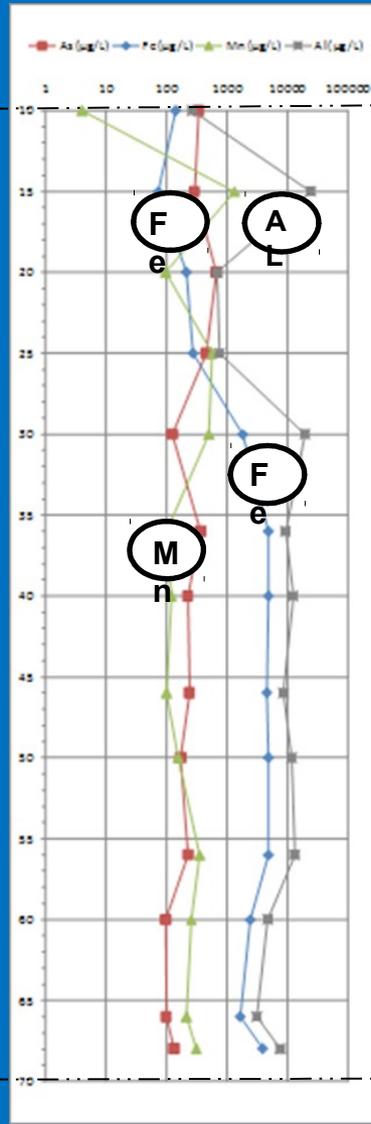
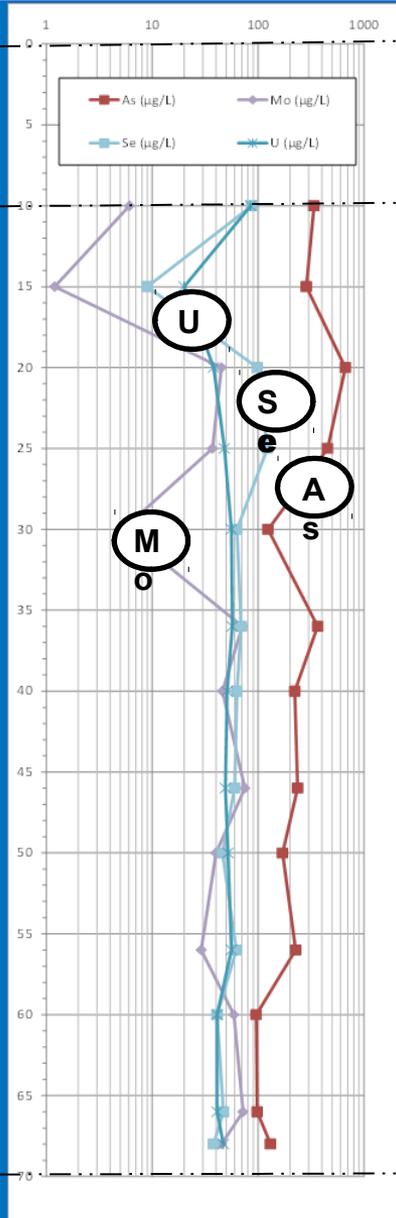
# Evolución hidroquímica en profundidad

Nivel del Agua



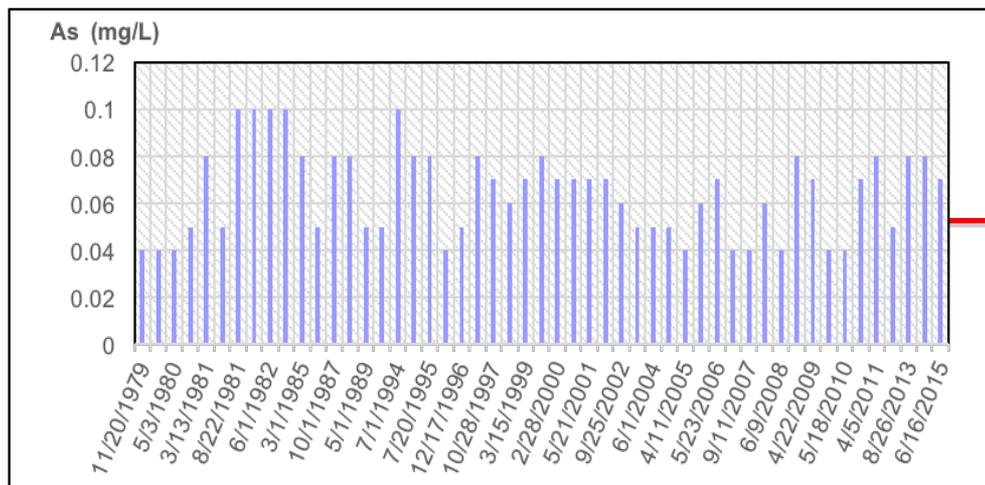
ZNS

ZS



## ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN EL ÁREA DE ESTUDIO (en $\mu\text{g/l}$ )

	Smedley et al. (2000)		Inventario Rec. Hídricos (2015)		PID 075/11 (2016)	
	As(T)	As(III)	As(T)	As(III)	As(T)	As(III)
<b>Mínimo</b>	<b>&lt;4</b>	<b>&lt;3</b>	<b>28</b>	<b>&lt;5</b>	<b>29.9</b>	<b>0,1</b>
<b>Máximo</b>	<b>5.280</b>	<b>105</b>	<b>567</b>	<b>&lt;5</b>	<b>4440</b>	<b>9,42</b>
<b>Promedio</b>	<b>414</b>	<b>10,7</b>	<b>185</b>	<b>---</b>	<b>411,1</b>	<b>1,61</b>
<b>Relación media As(III)/As(T)</b>	<b>0,0258</b>		<b>0,027 (aprox.)</b>		<b>0,004</b>	

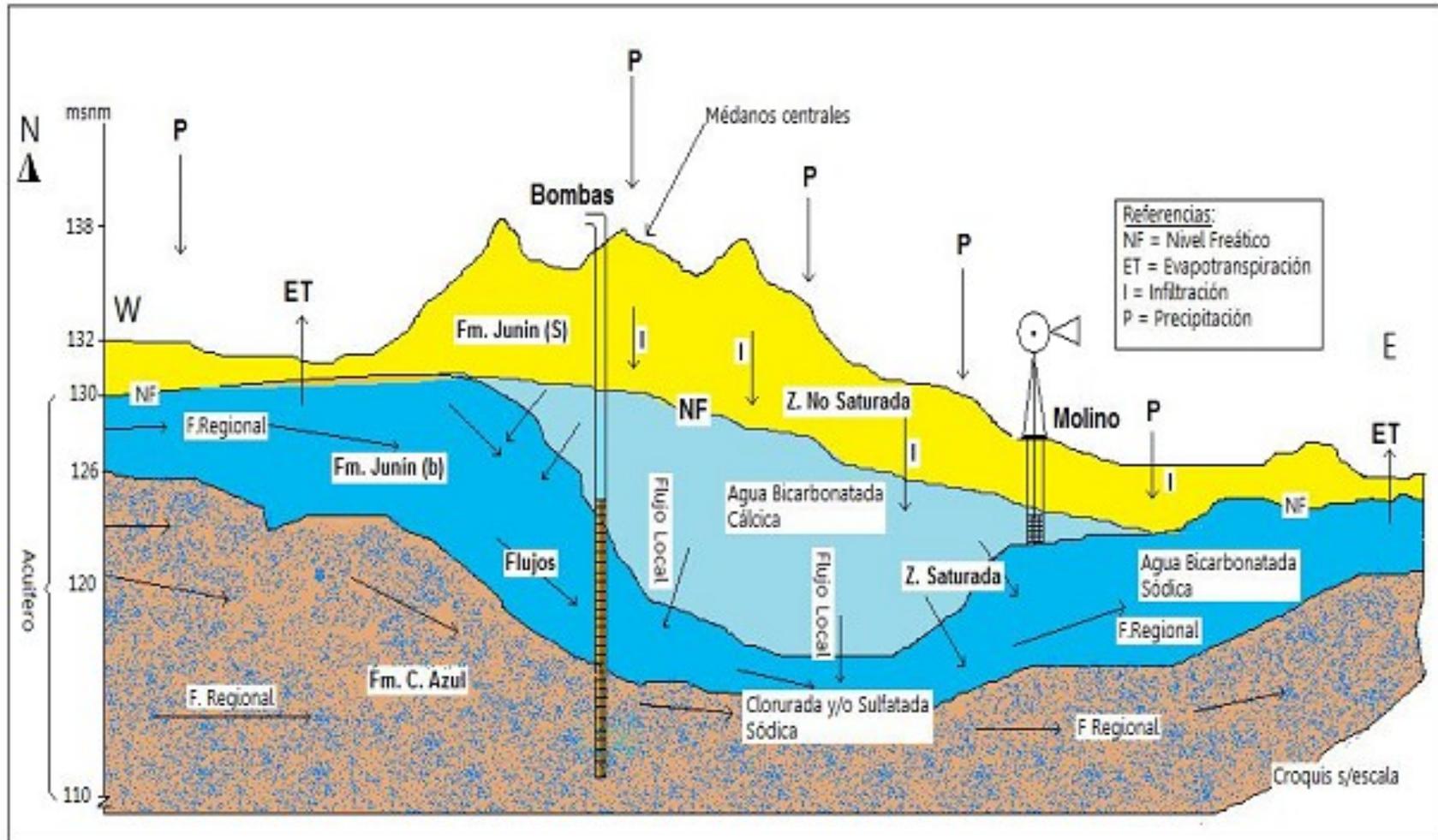


0,05 mg/l

# Modelo conceptual de funcionamiento hidroquímico

## Intendente Alvear La Pampa

Regional



# Piloto Buenos Aires

(Miembros Responsables: Dr. Pablo Weizettel – Dr. Sergio Bea)

INSTITUTO DE HIDROLOGIA DE LLANURAS

Zona de Tres Arroyos

SE de la Provincia de Bs. As

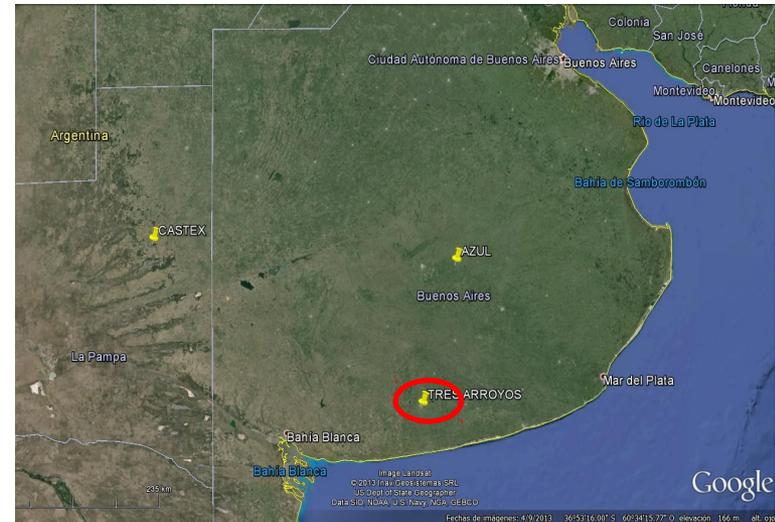
**As: 0.057 a 0.200 mg/l**

**F: 4 a 12 mg/l**

## OBJETIVOS

- Obtener un modelo hidrogeológico conceptual
- Avanzar en los procesos que producen la liberación y adsorción de As en el acuífero pampeano
- Encontrar herramientas para la exploración de zonas acuíferas que contengan agua con baja concentración de As

## UBICACIÓN



# Tareas en el proyecto PID



Perforaciones



Muestreo de sedimentos y Testigos continuos



Muestreo de agua con bailer



Extracción de agua poral de testigos con prensa



Tomografías de resistividad eléctrica

# PILOTO BUENOS AIRES

## Perfilajes eléctricos

Piloto Buenos Aires



**SONDA DE FLUJO  
(Impeller flowmeter)**



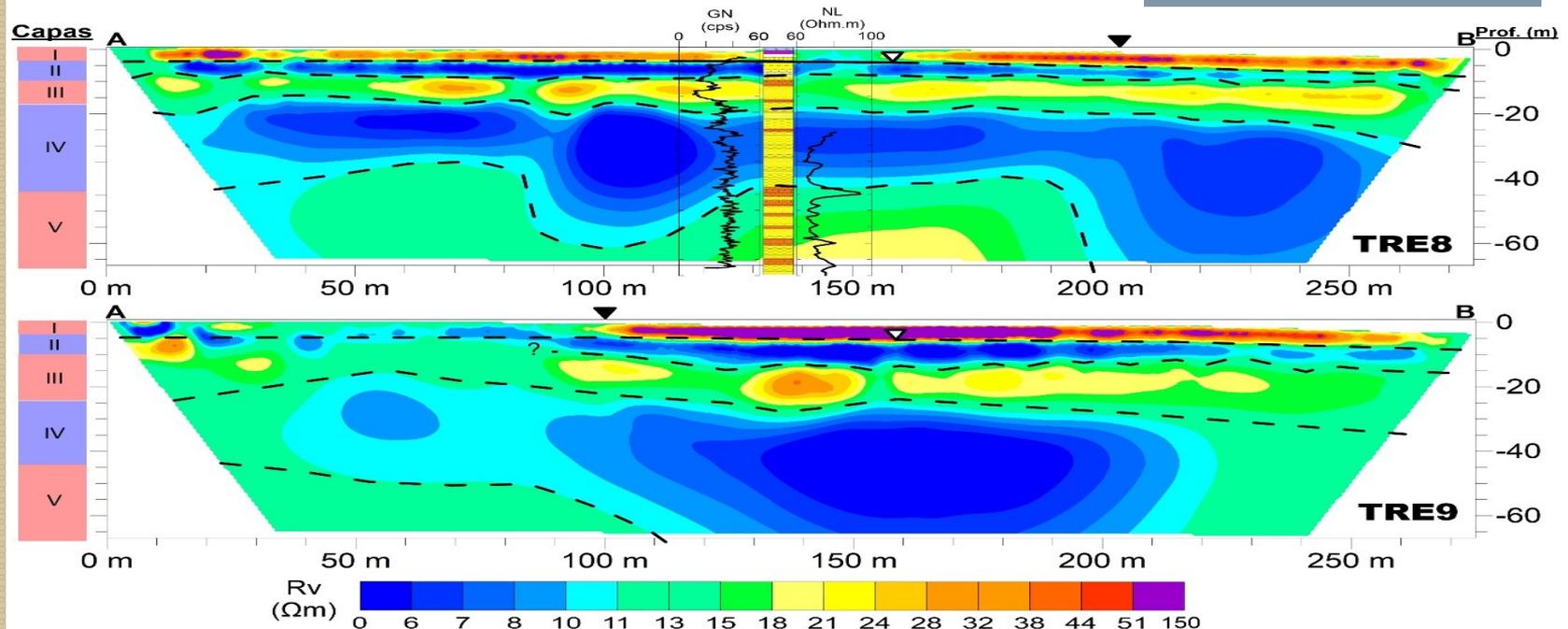
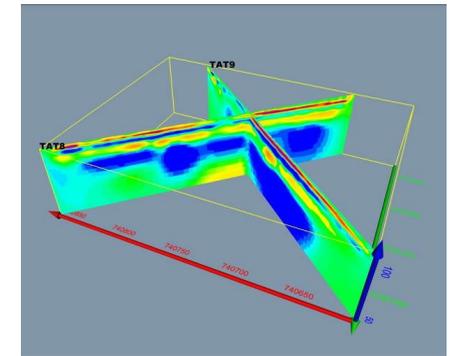
**SONDA DE ESPECTROMETRÍA  
GAMMA NATURAL (NGS)**

# RESULTADOS PRELIMINARES

## TOMOGRAFÍAS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

Permiten definir la continuidad de las capas acuíferas y su zonación hidroquímica

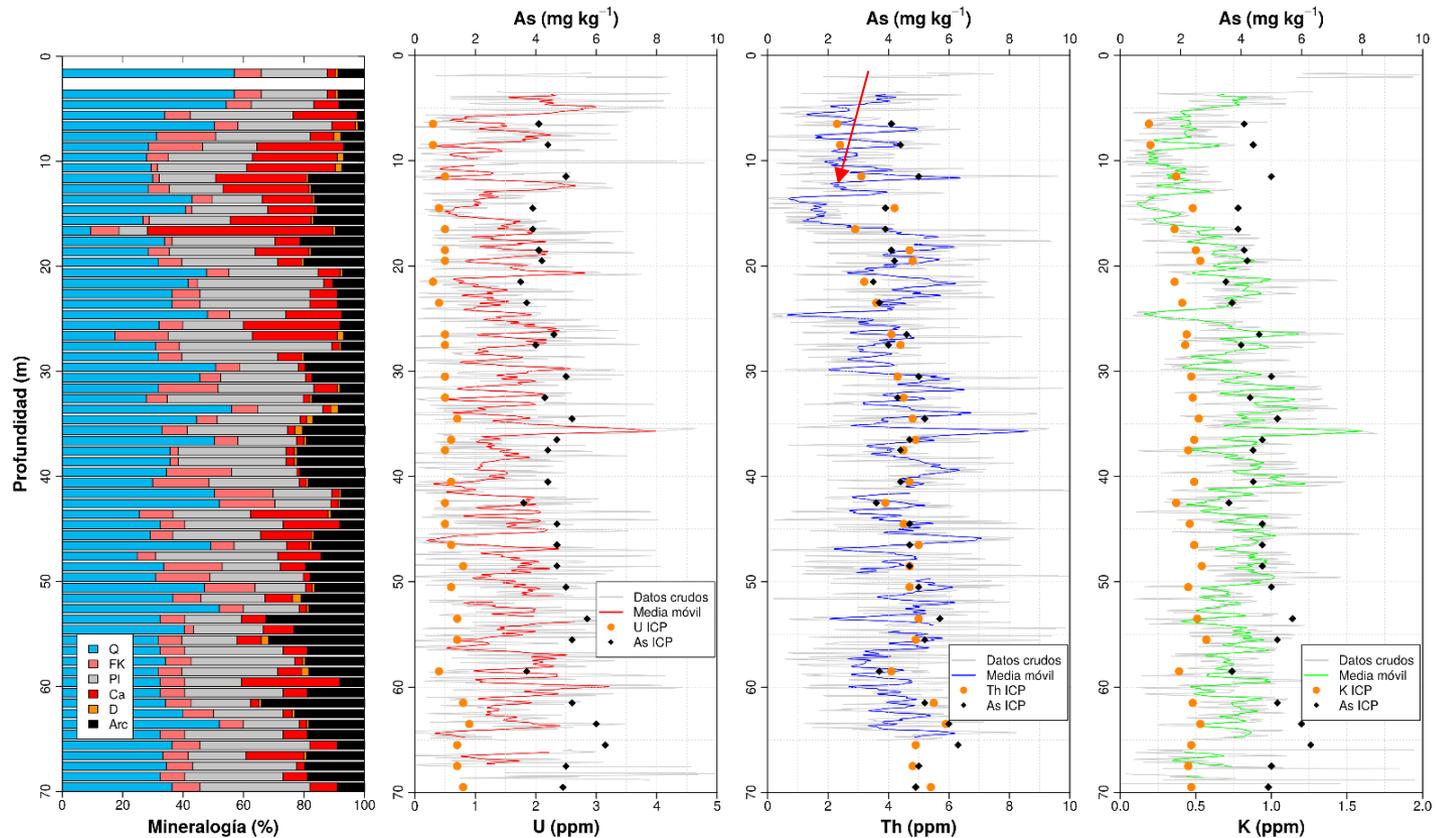
Se pudo reconocer la variación y continuidad lateral de las capas, ayudando a la conceptualización del área de estudio.



# SONDA NATURAL GAMMA SPECTROSCOPY (NGS)

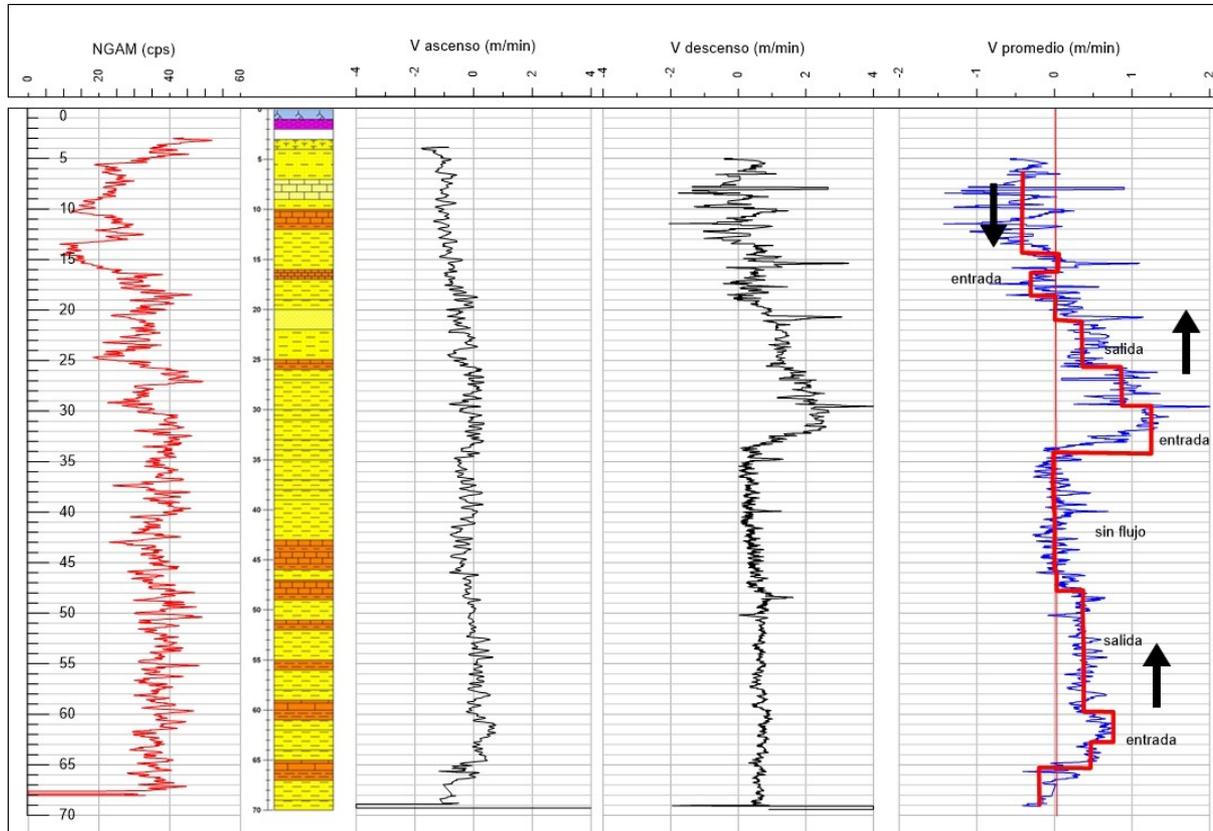
- Muestra su utilidad para la diferenciación de litologías y mineralogías de los sedimentos del acuífero Pampeano al discriminar contenido de U, Th y K
- Es capaz de obtener estrechas correlaciones entre los contenidos Fe y Mn en el sedimento por medio de la señal de Th. Pueden estar asociados a minerales secundarios susceptibles de contener y liberar As fácilmente al agua.

Se observa buena relación entre el As del sedimento y el Th



# SONDA IMPELLER FLOWMETER

- La aplicación del flowmeter combinado con el muestreo químico de los pozos de estudio representa un importante paso en la exploración de los acuíferos afectados por iones de arsénico o flúor.
- Permite conocer las zonas acuíferas con mayores aportes de agua al pozo



## CONCLUSIONES

- Las nuevas herramientas geofísicas aplicadas al acuífero Pampeano permiten mejorar la exploración de un acuífero multicapa permitiendo aislar zonas con mayor contenido de arsénico y otros iones nocivos
- Ayudan a proponer un modelo conceptual de una zona especialmente cuando se utiliza tomografía de resistividad eléctrica
- Los ensayos de laboratorio complementan el trabajo de estas herramientas ayudando al entendimiento de los procesos geoquímicos que se producen en el pampeano tanto en limos, arcillas y en los carbonatos presentes
- Nuevas investigaciones a desarrollar en otros pozos exploratorios permitirán aumentar el conocimiento y aplicabilidad de las herramientas propuestas

## Algunos valores de As en distintas Provincias.

### Salta

Muestra	Nombre	As total mg/L
P1	Rivadavia	0,26
P2	La Fortuna	0,05
P3	Siervo Cansado	0,27
P4	El Algarrobal	0,17
P5	El Mirador	0,19
P6	Tres Horcones	0,17
P7	El Breal	0,13
P8	Santa Rosa	0,24
P9	La Unión	0,007
P10	El Ocultar	0,002
BP1	San Felipe	0,0061
BP2	La Esperanza	0,002
BP3	San Tadeo	0,67
BP4	Nueva Población	1,22
BP5	Pelicano Quemado	0,74
BP6	La Medialuna	0,0055

### Centro La Pampa

Ubicación	As. Total	As.+++
Edo. Castex	1.35	0.030
Ea. El Tigre	5.28	0.086
Ea. El Otoño	4.93	0.105
El Peral	2.24	0.033
La Sabina	0.84	0.017
La Leonor	0.59	0.018

### Cuenca del Río Salí, Tucumán.

Pozo	As (µg/l)
agua azul	1655
cortaderal	124
pampa muyo	1654
los pereyra1	278
los pereyra2	119
los pereyra3	583

### Costas Banda y Robles - Santiago del Estero

Nombre	Ubicación	As (µg/l)
<b>Juana Moran</b>	Nuevo Libano, Dpto. Banda	8083
<b>Juan Fernando Ibarra</b>	Colonia Raquín, Dpto. Banda	14969
<b>Raúl Cruz</b>	Mistol, San Vicente, Dpto. Banda	669
<b>Robles</b>	Banda	
<b>Simón Castillo</b>	Las Hermanas, Dpto. Banda	1585
<b>Coronel Elena</b>	Los Arias, Dpto. Robles	846
<b>Gregoria Paz</b>	Mili, Dpto. Robles	4780
<b>Livio Lugones</b>	Villa Robles, Dpto. Robles	1420
<b>Eduardo Ruiz</b>	Los Pereyra, Dpto. Robles	624
<b>Concha Ávila</b>	Los Pereyra, Dpto. Robles	975
<b>Selva Bravo</b>	Los Pereyra, Dpto. Robles	649
<b>Ángel Díaz</b>	Los Pereyra, Dpto. Robles	642
<b>Héctor Ávila</b>	Los Pereyra, Dpto. Robles	656
<b>Marcial Carrizo</b>	Villa Robles, Dpto. Robles	1680
<b>Víctor Atilio Costas</b>	Janta, Dpto. Robles	839

### Córdoba

#### Acuífero freático en zona rural aledaña a la localidad de Alejo Ledesma:

As = 900 - 1.700 µg/L - Referencia: **Bernetti, G., 1996.**

#### Acuífero freático en zona rural aledaña a la localidad de Huinca Renancó:

As = 1.100 - 1.760 µg/L - Referencia: **Blarasin M., A. Cabrera,**

**E. Matteoda, J. Felizzia y C. Eric, 2012.**

#### Acuífero freático en zona rural aledaña a la localidad de Mattaldi:

As = 900 - 2.000 µg/L - Referencia: **Blarasin M., A. Cabrera,**

**F. Bécher Quinodoz y J. Felizzia, 2012.**

#### Acuífero freático en zona rural aledaña a la localidad de Mackenna:

As = 1.000 - 2.400 µg/L - Referencia: **Bécher Quinodoz, 2012.**

# Resultados

## TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO

3 tesis doctorales, dos asociadas al Proyecto y 2 de maestría

Transferir los conocimientos adquiridos en las actividades anteriores mediante Talleres, Cursos, Capacitación básica, Capacitación de especialistas en hidrogeología y otros.

## REUNION REGIONAL PID/075 - CATAMARCA 22 DE AGOSTO DEL 2013

**1º Taller:** Presencia de arsénico en agua subterráneas. Salta, 23 de Mayo de 2014

**2º Taller:** Presencia de arsénico en agua subterráneas. San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, 1 de Julio 2016

**3º Taller:** Presencia de arsénico en agua subterráneas. Santa Rosa, La Pampa, 06 de Julio de 2017



# Capacitación

**\*1.- Captación de aguas subterráneas: Marco Regulatorio y Calidad de Aguas**

**Docentes:** Dr. R. García: UNSa. Dr. E. Mariño: UNLPam. Dr. Carlos Schulz: UNLPam.

**\*2.- Hidráulica de pozos y acuíferos: Docentes** Dr. R. García: UNSa

**\*3.- Taller sobre: Isótopos en precipitación en argentina Docente:**  
Dra. Cristina DAPEÑA. (INGEIS, CONICET-UBA)

**\*4.- Balance hídrico y recarga de acuíferos: Docentes** Dr. Carlos Juan Schulz Dr. Rodolfo Fernando García



## **Cursos de Posgrado dictados en el marco de las Actividades Académicas de las Universidades**

**-Hidroquímica e Hidrogeoquímica:** Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de La Pampa. Mayo 2014. Docentes: Dr. Daniel Martínez- Dr. Carlos Schulz

**-Isotopos ambientales en sistemas naturales :** Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de La Pampa. Agosto 2014. Docentes Dr. Héctor Panarello-Dra. Cristina Dapeña

**-Geohidrología Ambiental:** Escuela de Postgrado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Noviembre de 2014-Docentes Dr. Carlos Schulz Dr. Rodolfo García

**-La hidroquímica como herramienta de gestión del agua:** Escuela de Postgrado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Mayo 2015.Docente Dr. Eduardo Mariño

**-Planificación gestión y protección de los recursos hídricos:** Escuela de Postgrado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Mayo 2016. Docentes Dr. Carlos JSchulz Dr. Rodolfo García

**-Monitoreo y deterioro de calidad y reserva de acuíferos:** Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de La Pampa. Marzo 2015. Docente Dr. Miguel Auge

**Planificación gestión y protección de los recursos hídricos:** Escuela de Postgrado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Mayo 2016

Docentes

Dr. Carlos Juan Schulz

Dr. Rodolfo Fernando García

**Monitoreo y deterioro de calidad y reserva de acuíferos:** Maestría en Recursos Hídricos, Universidad Nacional de La Pampa. Marzo 2015.

Docente

Dr. Miguel Auge

**Propuestos**

**Balance hídrico y recarga de acuíferos:** Departamento de Académico Geología y Geotermia. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Universidad Nacional de Santiago del Estero

Docentes

Dr. Carlos Juan Schulz

Dr. Rodolfo Fernando García

**Planificación gestión y protección de los recursos hídricos:** Escuela de Postgrado Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta. Mayo 2016

Docentes

Dr. Carlos Juan Schulz

Dr. Rodolfo Fernando García

## Resultados Generales-Discusión y Conclusiones

- 1.- Vastos sectores de la Argentina presentan aguas subterráneas con elevados tenores de Arsénico, que los tornan no potables.
- 2.- Este inconveniente se ve agravado en función de que el Arsénico se presenta en forma cuantitativamente muy heterogénea y su distribución varía, tanto en forma vertical como horizontal.
- 3.- En la llanura pampeana, la mayor incertidumbre de la evolución química, se manifiesta en sentido vertical, pues presenta una estratificación hidroquímica muy pronunciada. Concordante con ello, se observa con cierta recurrencia que en zonas de rápida infiltración (zonas medanosas) el Arsénico se presenta en bajas cantidades, aumentando en el sentido de flujo y en los niveles inferiores del acuífero madre (pampeano).
- 4.-La presencia del Arsénico no tiene relación con las características hidrogeológicas regionales, sino más bien parece estar relacionadas con particularidades de tipo local.

## Resultados Generales-Discusión y Conclusiones

5.- Hay una disolución rápida del vidrio volcánico, lo cual es amorfo y muy soluble con la liberación de Al y As

6.- Se produce la presencia de baja cantidad de adsorbentes para fijar el arsénico, tal como oxihidróxidos de Fe (III)

7,- Existe adsorción de As en zonas con aguas del tipo Ca-HCO<sub>3</sub>, con valor neutral de pH

8,- Alta concentración y movilidad de As en zonas con aguas del tipo Na-HCO<sub>3</sub>, con valores altos de pH (desorción de As), formado por el intercambio iónico y disolución de silicatos

## Resultados Generales-Discusión y Conclusiones

9.- Las posibilidades del aprovechamiento del agua subterránea está condicionada por dos variables: 1.- el espacio, distribuido en tres aspectos fundamentales que son a) Factores Climáticos, b) Factores Geológicos (Estructurales y Litológicos) y c) Geomorfología y 2.- el tiempo, dependiente del primer factor, fundamentalmente de la lluvia.

10.- El mecanismo que controla la disolución del Arsénico es una combinación de factores de velocidad de flujo (hidráulicos) y reacciones físico-químicas con la superficie del mineral en mayor medida.

11.- No existe relación ni patrones hidrogeoquímicos que nos permitan relacionar, con rigurosidad científica, el comportamiento homogéneo o sistemático, con otros iones presentes en las aguas.

12.- Debe tenerse en cuenta que la ingesta de altos guarismos en Arsénico ocasiona consecuencias, por lo menos serias en la población. Existen estudios que afirman como muy conocido el peligro que encierran dichos excesos, siendo más tóxicos los compuestos inorgánicos que los orgánicos y en el caso específico del Arsénico, la forma trivalente más que la pentavalente.

## Resultados Generales-Discusión y Conclusiones

13.- Los pocos lugares donde se han realizado estudios de especiación de As, se ha encontrado que, en un 95 %, que el mismo es pentavalente.

14.-La construcción de mapas de isocontenidos de Arsénico (u otro elemento) es una herramienta que lleva a la confusión, por lo que no es recomendable su utilización.

15.- Acrecentar , en cada zona, el conocimiento de la distribución del As y otros oligoelementos asociados en los acuíferos.

16.- Establecer un programa de definición de áreas críticas o prioritarias para su atención.

17.- Profundizar los intercambios científicos de los estudios geológicos de las diferentes áreas y los resultados de las experiencias en la eliminación de oligoelementos contaminantes en agua.

## Resultados Generales-Discusión y Conclusiones

18.- Los datos de sedimentos-química presentados no permiten una clara distinción entre las fuentes minerales potenciales de As. A priori se podría pensar en los **óxidos de Fe y Mn** como fuente que se consideran más probable, ya que a lo largo de todo el perfil hay gran presencia de nódulos de dichos óxidos y su alto contenido de Fe y Mn en las muestras de agua lo corrobora.

19.- En teoría en las aguas subterráneas **oxidantes**, la solubilidad de óxidos de Fe y de Mn es baja y sus concentraciones deberían ser, por tanto, bajas.

20.- Las reacciones **de adsorción/desorción** deben estar implicadas en la movilización del As y de los otros oxianiones (Smedley y Kinniburgh, 2002).

21.- Los **altos valores de pH** ( $> 8$ ) encontrados, favorecen la **desorción** de estos elementos (Fe y Mn) de las superficies de los óxido de metal.

## Reflexión

Ante situaciones extremas de altos contenidos de As en las aguas subterráneas es necesario realizar la exploración de aguas superficiales y subterráneas para la detección de nuevas áreas con agua potable, lo que comprende estudios geológicos y geofísicos (sondeos geoeléctricos verticales), hidrología de superficie y subterránea, estudios hidrogeoquímicos, y ensayos hidráulicos para determinar. Si se agotan estas posibilidades recién tratar de mitigar o resolver los problemas planteados, mediante tratamientos para abatir las concentraciones altas de As.

# Gracias!!

