

ORIGEN Y DINAMICA DEL ARSENICO EN EL AGUA SUBTERRANEA DEL DPTO. ROBLES – PROVINCIA DE SGO. DEL ESTERO

**Dr. Humberto Herrera - Ggo. Bonifacio Farías - Ggo. Raúl Martín
Gga. Julia Cortés - THS. Angel Storniolo - THS. Juan M. Thir**
Universidad Nacional de Santiago del Estero
FCE y T – Departamento de Geología y Geotecnia

RESUMEN

El estudio del Arsénico en el Departamento Robles, Provincia de Santiago del Estero, abarca una superficie aproximada de 184 km² con centro en la localidad de “Los Pereyra”, distante 40 km. al Este de la ciudad Capital. Casos de hidroarsenismo detectados desde el año 1983 en la mencionada localidad, han llegado a reportar defunciones provocadas por la presencia de este oligoelemento en el agua subterránea, que supera cincuenta veces los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud. El presente trabajo analiza en el acuífero libre aspectos hidroquímicos del Arsénico, su extensión, magnitud y tipo de contaminación. Se estudian los factores que intervienen en la variación de su concentración en el agua subterránea, su relación con la naturaleza de los sedimentos y con la composición química del agua. La delimitación de zonas de alto riesgo permitió recomendar a las autoridades de salud de la Provincia, la realización de programas de control de arsenismo en los pobladores y para una segunda etapa programar el estudio del abastecimiento de agua potable a estas comunidades rurales mediante la construcción de obras más convenientes como son: perforaciones profundas, acueductos, Plantas de Osmosis Inversa, etc.

ABSTRACT

The study of the Arsenic in the Department Robles, Province of Santiago del Estero, comprises an approximate surface of 184 km² with center in the town of “Los Pereyra”, distant 40 km to the east of the Capital city. Hydroarsenism cases detected in the mentioned town, informed about deaths taken place by the presence of the arsenic in the groundwater that overcomes fifty times the limit admitted by the Health World Organization. The present work analyzes in the aquifer free hydroquimic aspects of the Arsenic related with the extension, magnitude and type of contamination. The factors were studied that intervene in the variation of their concentration in the groundwater, their relationship with the nature of the silts and with the chemical composition of the water. The delimitation of areas of high risk will allow to recommend to the authorities of health of the Province, the realization of programs of arsenic control in the people and for a second stage to program the study from the supply of drinkable water to these rural communities by means of the construction of the deep boreholes, Plants of Inverse Osmosis, etc.

INTRODUCCIÓN

Los efectos tóxicos del Arsénico se conocen desde la antigüedad, y sus consecuencias sobre la salud han sido estudiadas desde el siglo XIX, concluyendo con la fijación de normas de tolerancia al arsénico, las que varían según los países, y fijado en 0,05 mg/l como límite máximo por la organización Mundial de la Salud.

En el país las primeras manifestaciones patológicas de principio de Siglo, eran conocidas como “enfermedad de Bell Ville”, ciudad donde se había observado el mayor número de enfermos. El mejor conocimiento de ésta enfermedad y su tratamiento en distintos centros urbanos dieron la pauta de que la zona afectada era mucho mayor, abarcando las provincias de Chaco, Santa Fé, Sgo. del Estero, etc. y hoy se sabe que incluye toda la región Chaco-Pampeana. La zona más estudiada de la Provincia de Sgo del Estero corresponde al noroeste, desde Monte Quemado en el Dpto. Copo hasta el Río Salado, en donde se han analizado aguas con tenores en arsénico superiores a 1,00 mg/l. En el año 1983 comenzaron a aparecer las primeras manifestaciones de Hidroarsenismo en pobladores de los Dptos. Banda y Robles, por lo que se iniciaron por entonces algunos trabajos de muestreo del agua subterránea, cuyos análisis químicos arrojaron elevados tenores de arsénico, con los que se confeccionaron planos zonificando las áreas más afectadas. Entre las conclusiones de los mismos, figuran algunos interrogantes que tratamos de dilucidar en éste trabajo como ser: la gran variabilidad en el contenido de arsénico en el agua subterránea, origen y razones de su presencia.

Descripción del área de estudio

La zona de estudio está ubicada a 40 km aproximadamente al sudeste de la ciudad Capital de la Provincia de Sgo. del Estero abarcando una superficie aproximada de 184 km². Se confeccionó la Cartografía Base digitalizando el mapa del Departamento Robles, a escala 1: 50.000, el que es utilizado en toda la cartografía temática desarrollada en el trabajo. Para el estudio del Cono Aluvial del Río Dulce se utilizó la Imagen Satelital a escala 1:2.500.000 y una imagen restituída con coordenadas Gauss-Kruger, a escala 1:100.000

Características generales

Precipitación: Este aspecto comprende la determinación del régimen de precipitación, tomando como base el análisis de los registros de lluvia de la estación Experimental del INTA de la Banda de los años 1938-1990, lo que arroja una precipitación media anual de 532 mm., una máxima de 1072 mm, y una mínima de 260 mm. La **Temperatura** media anual es de 21° C, la máxima 29,9° C, la mínima 14,7°, la máxima absoluta de 46,4° C y la mínima absoluta -10° C. El **Tipo de Clima** es DB₄da', Semiárido, nulo o pequeño exceso de agua, Mesotermal, con una concentración estival de la eficiencia térmica menor del 48%. El **Balance Hídrico** para el mismo período arroja una Evaporación Potencial de 1031 mm anuales, una Evaporación Real de 558 mm, un Déficit Hídrico de 473 mm anuales.(Torres Bruchmann E.,1981)

Hidrografía

El límite sud de la zona de estudio está dado por el Río Dulce, el que presenta las siguientes características: en su cuenca media desde el Dique Río Hondo hasta la ciudad de Santiago del Estero corre sobre terrenos arcillo-margosos, bordeado de barrancas de hasta 8 m de altura y a partir de allí, inicia su recorrido por la cuenca inferior, en donde predomina la erosión horizontal formando numerosos meandros hasta su desembocadura en Mar Chiquita, Prov.de Córdoba. Los caudales que transporta el río son muy variables, siendo su módulo para el período que va del año hidrológico 1927/28 al 82/83 de 96,8 m³/s con un volumen medio anual de 3.054 Hm³.

Geomorfología

El área de estudio está incluida dentro de lo que geomorfológicamente corresponde al Cono Aluvial del Río Dulce, el que tiene una extensión aproximada de 1500 km². Los numerosos cauces que se aprecian formando parte de este sistema fluvial, son un elocuente testimonio de los frecuentes cambios de lecho, durante los diferentes ciclos alternados de bajos caudales, con predominio del relleno, y las grandes crecientes, con transporte de sedimentos y erosión. El hombre ha intervenido modificando con distinta intensidad y extensión esta zona. El trazado de canales de riego para uso agrícola, o el empleo de paleocauces como colector de drenaje está desembocando en una progresiva salinización y correspondiente sodificación de los suelos.

Comportamiento hidrogeológico del Cono Aluvial

Con el fin de establecer la correlación entre los sedimentos y la continuidad de los horizontes acuíferos para su estudio, se construyó un perfil hidrogeológico de dirección noroeste-sudeste, que va desde el ápice del Cono Aluvial hasta la porción distal del mismo, el que incluye en su parte media la zona específica de estudio. Desde el contacto con la falla hacia el este, los horizontes permeables compuestos por gravas y arenas gruesas con escasas intercalaciones arcillosas se van profundizando, alcanzando a los 10 km espesores de 114 m. En su parte media las condiciones cambian notablemente, hay una alternancia de sedimentos químicos (margas) con areniscas pobremente cementadas y horizontes acuíferos muy permeables pero de poco espesor. En superficie está caracterizado por la presencia de un limo arenoso y arenas propios de una llanura de inundación. En lo referente a la hidrodinámica del agua subterránea podemos definir a los acuíferos del Cono Aluvial como **Multiunitario** y la morfología de la superficie piezométrica es **Hiperbólica Radial Divergente**. (Farias et al). El máximo caudal característico determinado fue de 43 m³/h/m., con agua de buena calidad química. En la zona de estudio el condicionante químico de los acuíferos superiores es la presencia de arsénico, especialmente en la capa freática.

METODOLOGIA

A efectos de establecer la evolución hidroquímica del Arsénico, se repitieron los puntos censados en el año 1984, de los que se tiene únicamente información del contenido de arsénico y conductividad eléctrica. En total se censaron 74 puntos, de los cuales 60 corresponden a pozos barrenados con instalación de bombas de mano. Dado que en la mayoría de los casos no se pudo medir el nivel estático, se tuvo que construir un red freaticométrica para toma de muestras de agua y sedimentos.

Freatimetría

Se cuenta entre los antecedentes recopilados, con la información de una red freaticométrica instalada en el año 1970 por la ex Agua y Energía Eléctrica, en el Area de Riego III del Río Dulce con registro del nivel estático de los años 1971-78. La desaparición de dichas instalaciones hizo necesaria la construcción de una red nueva, la que fue ubicada próxima a los puntos de los que se tenía información. En total se construyeron 24 freaticómetros, a los que se les determinó la cota mediante nivelación topográfica, la que unida a la información del nivel estático sirvió para determinar las fluctuaciones de la capa freática entre los años 1971-1998, como así también la dirección del flujo subterráneo, y fundamentalmente la toma de muestras para análisis sedimentológico.

Las curvas isofreáticas del año 1971 (Fig.1) nos indican niveles entre -1,50 y -10,20 m, correspondiendo los primeros a la parte central del área de estudio y los más profundos al sector sudeste. Las del año 1978 (Fig.2) muestran una configuración similar con un ascenso más marcado en la zona de mayor profundidad de la capa freática de -10,20 a -7,20 m. En cambio las

del año 1998 (Fig.3) presentan una forma completamente distinta; en la parte central ha descendido el nivel freático y aumentado en el sector sudoeste. La razón de esta variación es que, como consecuencia de la salinización y sodificación de los suelos, la zona cultivada se va desplazando hacia el Este, en la que aumentó el riego, provocando el ascenso del nivel freático de -10,20 a -5,15 m. Esto es importante desde el punto de vista geoquímico porque corresponde a la zona en donde se determinó la mayor concentración de Arsénico. Si bien aquí el horizonte de cenizas volcánicas se encuentra entre -3,10 y -3,50 m, la zona capilar llega a incluirlas. Las isopiezas del año 1998 (Fig. 4) nos muestra el carácter influente del Río Dulce y el sentido sudeste de escurrimiento subterráneo.

Muestreo sedimentológico y análisis

Los sedimentos de los puntos muestreados corresponden a una secuencia superior más moderna, integrada por materiales cuya edad corresponde al Holoceno reciente. El loess pospampeano está constituido por una fracción de naturaleza arcillosa: hidroargillitas y zeolitas, mientras que en el piso más antiguo prevalece el caolín. En general estos sedimentos presentan un contenido de arena fina muy variable, entre el 11 al 60 %. Desde el punto de vista químico este loess está compuesto por silicatos dobles, hidratados de calcio y magnesio.

Perfil Estratigráfico Tipo – Lugar: Los Pereyra - Cota: 162.84 m s.n.m.- Nivel Freático: - 4.72 m.
 00.00 m a 1.15 m Limo pardo con arena muy fina, friable. Material no saturado.
 1.15 m a 2.41 m. Arena muy fina limosa friable. No saturado.
 2.41 m a 3.10 m Limo pardo con ceniza volcánica yesífera, blanco-grisácea.
3.10 m a 3.50 m *Ceniza volcánica blanco-grisácea, friable, de textura fina, no saturada.*
 3.50 m a 4.80 m Arena fina a mediana, muscovítica, ligeramente saturada.
 4.80 m a 5.10 m Arena muy fina parda, muscovítica.

En general los sedimentos de la zona no-saturada observados macroscópicamente, pueden definirse como psamíticos y pelíticos de deposición continental, depositados en un medio geológico de baja energía, puesto que los rangos texturales gruesos, no fueron observados en la zona hasta la profundidad estudiada. Este ambiente está caracterizado por la dinámica generada por una antigua llanura de inundación de río Dulce. Una fuerte actividad eólica que cubrió la región con cenizas volcánicas y procesos posteriores de remoción los ubicaron en zonas de mayor estabilidad lo que permitió su conservación durante el Holoceno hasta la actualidad. Esta capa bien definida estratigráficamente en el perfil del subsuelo, representa un horizonte guía de correlación.

Monitoreo y análisis físico-químico del Agua subterránea

El muestreo del agua subterránea fue realizado en el mes de mayo que corresponde a la época de mayor recarga de la capa freática. Las fluctuaciones del nivel freático pueden incidir en la concentración salina, y además poner en contacto el agua subterránea con sedimentos que reaccionan de distinta manera según estén saturados o no.

En los laboratorios de la Universidad Nacional de Santiago del Estero se analizaron 71 muestras de agua subterránea, a las que se les efectuaron las siguientes determinaciones: Ph, Conductividad Eléctrica, Residuo Seco a 105 °C, Alcalinidad total, Dureza Total, los cationes Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ y los aniones CO_3H^- , SO_4^- , Cl^- , prestando especial atención en la determinación de As y F.

Se han establecido relaciones geoquímicas y clasificado las aguas subterráneas (Fig.5), las que en un 76% son bicarbonatadas sódicas, el 15% son sulfatadas sódicas y un 8% cloruradas sódicas. La (Fig.6) muestra la distribución geográfica del Arsénico en la capa freática, en la que se aprecian dos zonas bien definidas con tenores que superan el miligramo por litro. De las muestras

analizadas el 52%, presentan exceso de As, según las normas de OMS y el valor máximo determinado corresponde a la muestra N°45 bis, con 2,4 mg/l en la localidad de Mili.

Relación agua-suelo

La salinidad como la sodicidad de los suelos, tienen estrecha vinculación con las fluctuaciones de la capa freática en proximidades de la superficie. Esta situación se presenta en la parte central del área de estudio, en donde la capa libre fluctúa entre 1,50 y 2,50 m de profundidad. En general contiene un alto porcentaje de sales sódicas, por lo que su ascenso está acompañado de una sodificación de los coloides. La elevada proporción de sodio se ve agravada por la predominancia de aniones bicarbonatos (HCO_3^-), lo que favorece el desplazamiento del calcio de las arcillas y su reemplazo por sodio durante los períodos de fluctuación de la capa libre. (Nijensohn L.1970)

La elevación de la capa freática es consecuencia del riego y del impedimento del escurrimiento superficial debido al trazado de caminos transversales a la dirección del flujo. Este ascenso puso en algunos casos en contacto directo al agua subterránea con el horizonte de ceniza volcánica y en otros a través de la zona capilar. Esta sería la causante del incremento del arsénico en el agua, cuya incorporación se vería favorecida por el contacto permanente con soluciones que facilitaron su desintegración.

La figura 7 nos muestra la correlación entre el arsénico con los distintos cationes, aniones y el pH; estas revelan una relación directa con el ión bicarbonato y el pH; una razón inversa con el Ca^{++} y Mg^{++} ; y la no correspondencia respecto del ión sulfato.

La interacción agua-roca produce la alteración de la roca volcánica con la desvitrificación del vidrio que está constituido por tetraedros de SiO_4 unidos por enlaces de oxígeno ($\equiv\text{Si-O-Si}\equiv$). Cuando el agua subterránea entra en contacto con el vidrio tienen lugar procesos de intercambio iónico. Algunos cationes (K, Na, Ca, Mg) del vidrio tienen enlaces iónicos, se desplazan por la solución para intercambiarse por H^+ . Los hidrógenos provienen de la disociación del ácido carbónico que se forma durante en proceso natural de recarga del agua subterránea. De este modo el Bicarbonato está en relación directa con el consumo de iones hidrógeno durante el intercambio de cationes, reacción que incrementa el Ph.

Educación para la salud

La zona de estudio es de altísimo riesgo para contraer enfermedades relacionadas con la ingesta de agua subterránea contaminada con arsénico. En virtud de ello se informó de los resultados preliminares a las autoridades de Salud Pública de la Provincia, quienes iniciaron una campaña de detección de hidroarsenismo en un área que abarca los Departamentos Banda y Robles. En aquellos lugares en los que los análisis químicos del agua dieron un alto contenido de arsénico, se les tomó a los moradores muestras de cabello y uñas para su determinación.

En el área de estudio, que abarca una superficie de 184 km², se detectaron cuatro casos de hidroarsenismo, por lo que se programó una campaña de educación sanitaria y se inició el abastecimiento de agua mediante camiones tanque como solución inmediata, hasta que se estudie la forma más conveniente de hacerlo, ya sean perforaciones profundas, acueducto o plantas de ósmosis inversa.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

El nivel de la capa freática fue aumentando como consecuencia del incremento del riego a partir del año 1970.

La salinización de los suelos es producto de la elevación del nivel freático, acrecentado por el impedimento del libre escurrimiento superficial debido a los caminos perpendiculares a la dirección de flujo.

Existe un horizonte de cenizas volcánicas entre los 2 y 3,50 m de profundidad que se extiende por casi todo el área de estudio, faltando únicamente en los paleocauces.

El tenor del arsénico en el agua subterránea ha ido creciendo como consecuencia de quedar incluidas las cenizas volcánicas en la zona de saturación por aumento del nivel freático.

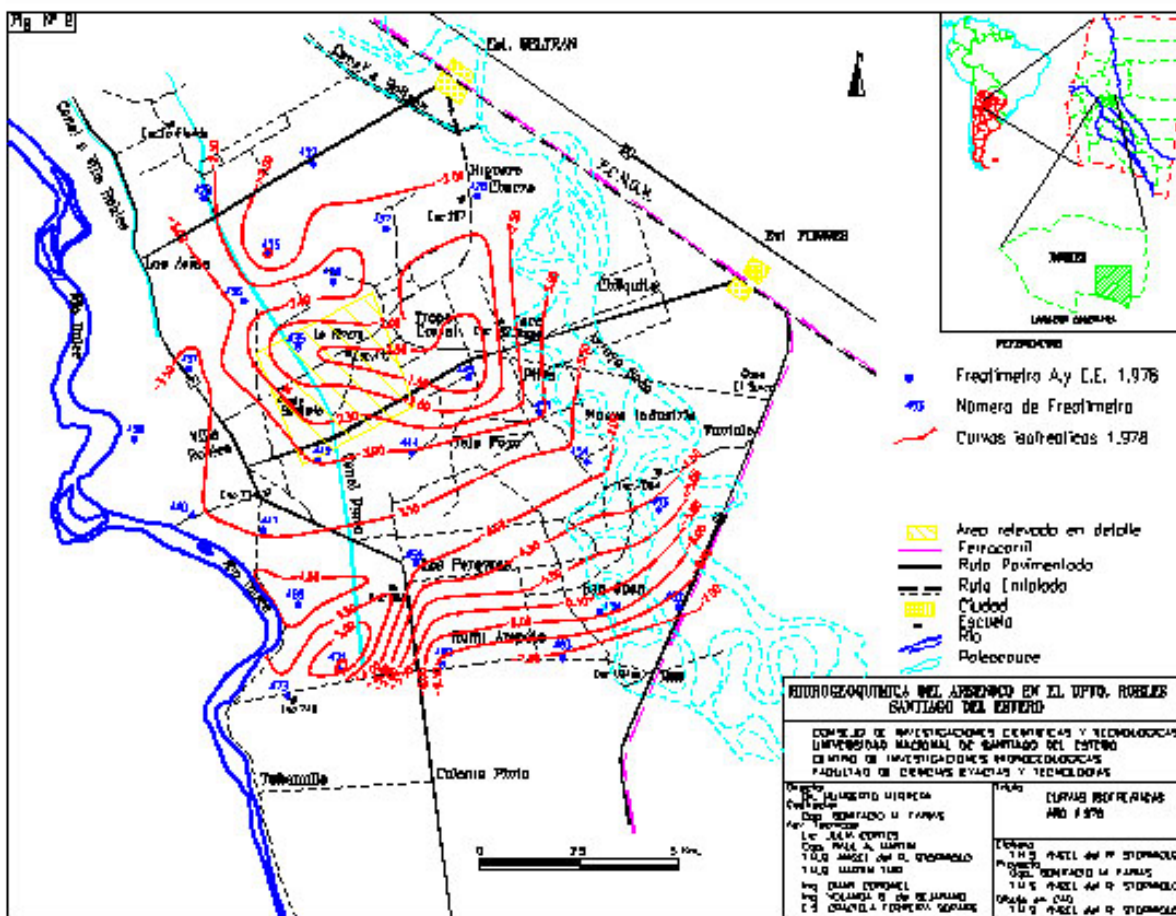
Se han definido dos zonas donde la concentración del arsénico supera el miligramo por litro (Mili y La Rivera).

El Río Dulce es influente respecto de su margen izquierda, provocando la dilución de las sales incluidas las de arsénico, de ahí su baja concentración en las proximidades del mismo.

La observación del comportamiento del arsénico con los distintos cationes, aniones y el pH, nos revelan una relación directa con el ión bicarbonato y el pH; una razón inversa con el Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺; y la falta de correlación respecto del ión sulfato.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Cardona A., Carrillo Rivera J., 1998. Hidrogeoquímica y mecanismos de recarga en la Sierra Madre Occidental, México. Cuarto Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea. T.3 pp.1468-1487 – Montevideo – Uruguay
- Farías B., y otros, 1989. Programa para el Estudio Integral del Río Dulce – Informe Final - Hidrología Subterránea – Volumen III, pp.1-203 (inédito)
- Farías B., Cortés J., 1997. Estudio Hidrogeológico del cono aluvial del Río Dulce en Santiago del Estero – Primer Congreso Nacional de Hidrogeología – Actas – pp.63-76 – Bahía Blanca
- Nijensohn L., 1970 Clasificación y estudios de suelos en el área del Proyecto Río Dulce – Informe Final del Experto en suelos - Corporación del Río Dulce – Sgo.del Estero – (inédito)
- Torres Bruchmann E., 1981. Climatología General y Agrícola de la Provincia de Santiago del Estero – Imprenta Universidad Nacional de Tucumán – pp.1-199.



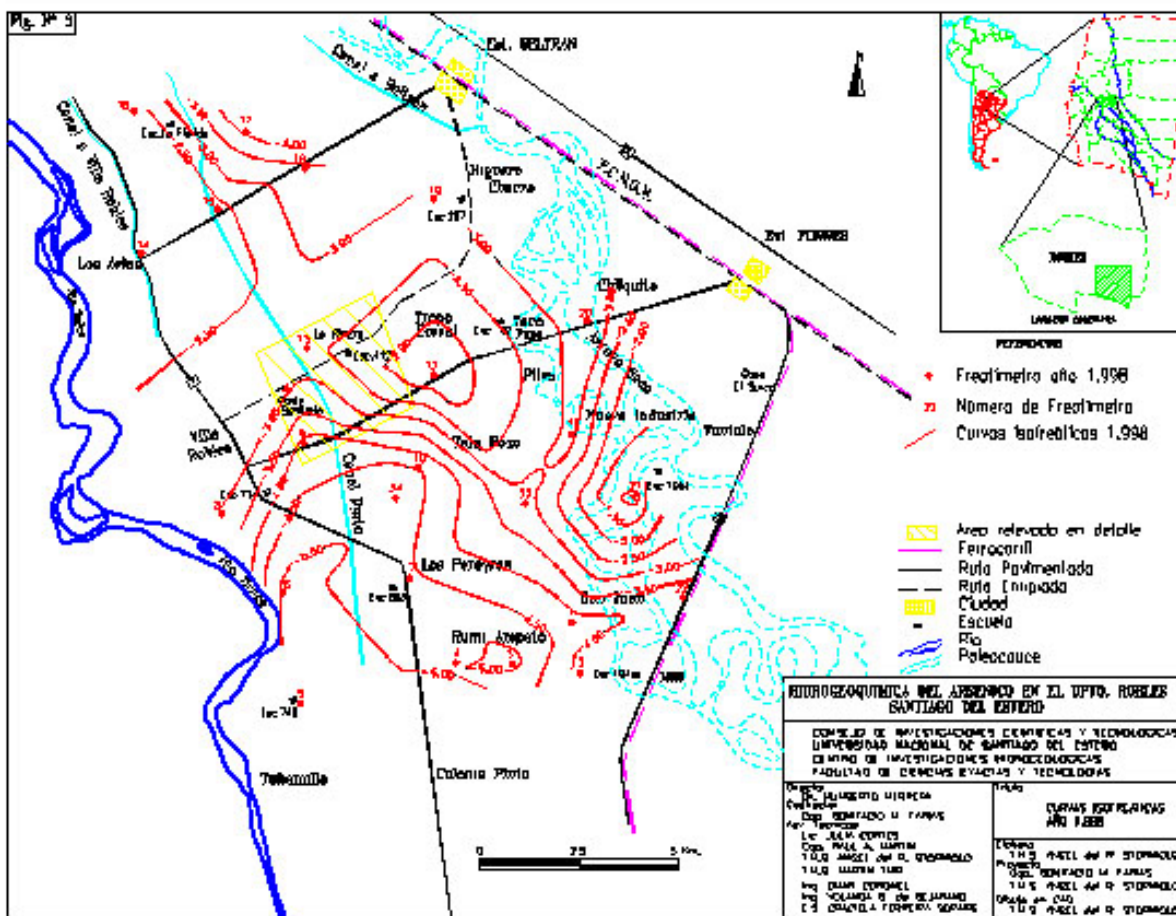


FIGURA 5

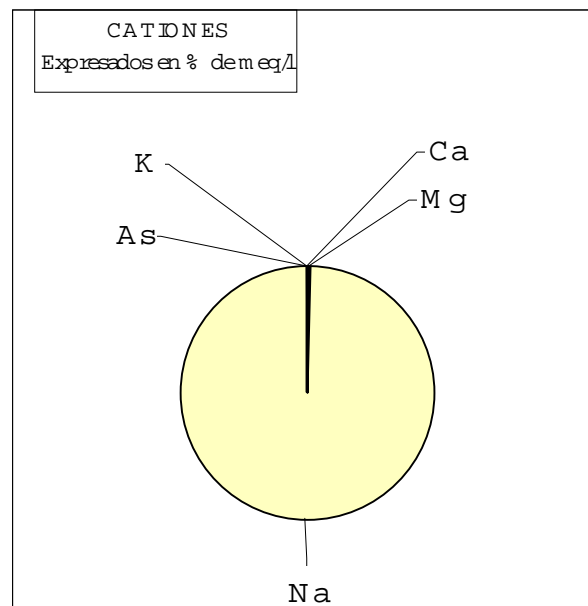
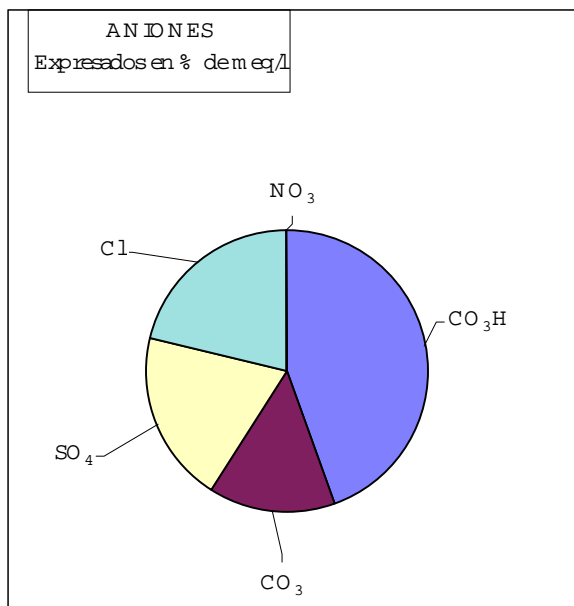
HIDROGEOQUIMICA DEL ARSENICO - DPTO.ROBLES - PROV.DE SANTIAGO DEL ESTERO

PROCESAMIENTO INFORMATICO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

Lugar: Los Pereyra	Dpto: Robles	Prov.: Sgo.del Estero	Fecha: 12/08/98	Muestra: 49
Prof.N.E. (m): 4	C.E. (uS/cm): 2276	CO2 mg/l:	R. S. mg/l: 1457	pH: 8,45
Acuífero Tipo: Libre	Cota:	Coordenada X:	Y:	Procesó Cortes : Julia

Error en %	-0,62
Conduct. Medida (us/cm)	2276,00
Conduct. Calculada (us/cm)	#¡VALOR!
Dureza Total DT	9,10
pH Medido	8,45
pH Equilibrio (Tillmans)	9,95
pH equilibrio a 20°C (Langelier)	#¡NUM!
Indice de Agresividad IA	-1,50
Indice Cambio de Bases ICB	-3,56
Indice de Desequilibrio IDD	-1,22
Relacion Na/K (mEq/l)	#¡DIV/0!
Relacion Ca/Mg (mEq/l)	1,21
Relacion SO4/Cl (mEq/l)	0,91
Relacion Cl/HCO3 (mEq/l)	0,48
SAR	86,18

CLASIFICACION GEOQUIMICA	
Agua Muy Buena	
Dureza Muy Baja	
Agua Corrosiva	
Peligro de salinización:	C-4 Conduct. Muy Alta
Peligro de alcalinización:	S-4 Muy Alto
Bicarbonatada	Sódica



R.S. mg/l	Salinización del Suelo	Alcalinización del Suelo	Dureza
<=2000 Muy Buena	C.E. en umohs/cm	Relación Adsorción Sodio	<= 50 Muy baja
<=4000 Buena	C1 - 100 - 250 Baja	S1 - 0 - 10 Baja	<= 150 Baja
<=7000 Aceptable	C2 - 250 - 750 Media	S2 - 10 - 18 Media	<= 250 Media baja
<=10000 Regular	C3 - 750 - 2250 Alta	S3 - 18 - 26 Alta	<= 350 Media
>10000 No Apta	C4 - >2250 Muy alta	S4 - >26 Muy Alta	<= 450 Media alta
Según O.M.S.	Según U.S. SALINITY LABORATORY STAFF		<= 550 Alta
Cota: referida a la boca de pozo sobre nivel de mar en m			> 550 Muy alta
Coordenadas X Y: Sistema de Proyección Plana GAUSS-KRUGER			Según O.M.S.

n/d: ión no determinado

ERR: Error de cálculo por falta de dato de algún ión

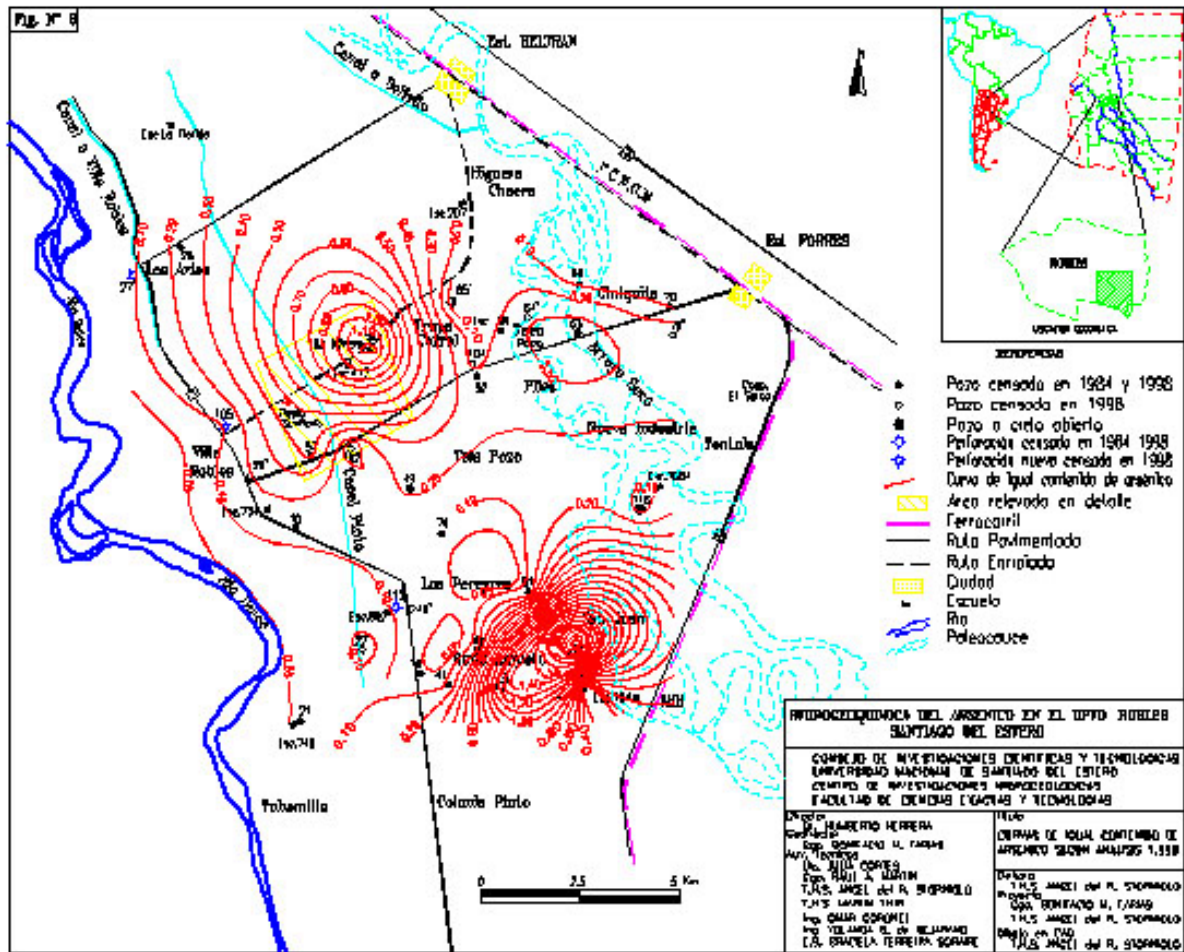


Fig. N° 7. RELACION ARSENICO Vs. ANIONES – CATIONES - pH

