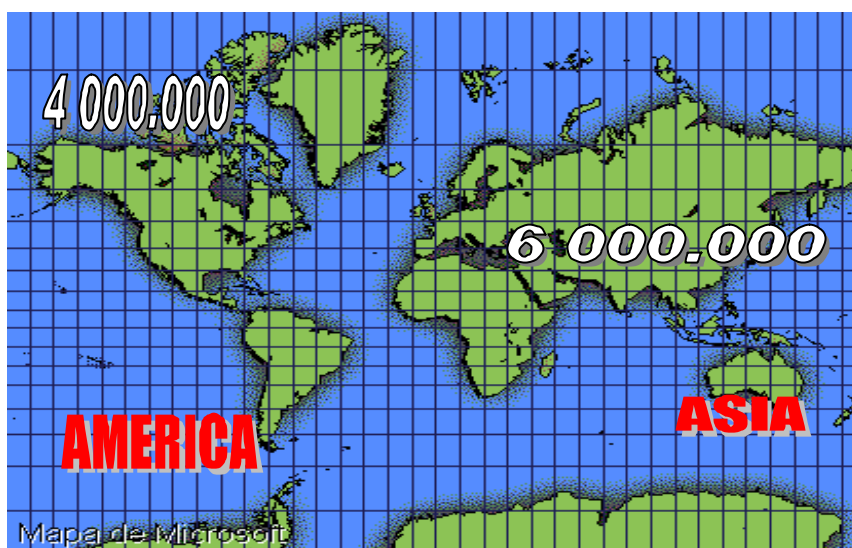


## REMOCION DE ARSÉNICO A NIVEL DOMICILIARIO

*Resumen Informe Técnico de Quim. María Luisa Castro de Esparza, Asesor Regional de Control de Calidad y Servicios Analíticos, CEPIS , Quim. Mary Wong, de Medina, Analista Instrumental , CEPIS*



### INTRODUCCION

En varios países de América Latina como: Argentina, Chile, México, El Salvador; por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. Las concentraciones de arsénico en el agua, sobre todo en el agua subterránea, presentan niveles que llegan en algunos casos hasta 1 mg/L. En otras regiones del mundo como India, China y Taiwan el problema es aún mayor.

De acuerdo a la información obtenida, en India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. En Estados Unidos más de 350, 000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 0,025 mg/L.

El problema del arsénico en el agua de bebida se viene tratando en

Argentina desde hace varios años cuando epidemiólogos de Córdoba y otras provincias de ese país evidenciaron y asociaron la enfermedad del HACRE (daños a la piel) con la presencia del arsénico en el agua de bebida.

Los esfuerzos y estudios ejecutados para minimizarlo o eliminarlo, han logrado un gran avance a nivel del tratamiento de agua a escala urbana en Argentina, Chile y Perú pero, a nivel rural, la solución en estos países sigue pendiente. De ahí que las autoridades de salud argentinas promuevan con decisión estudios que conlleven a una propuesta para la solución o minimización del problema señalado.

### EFECTOS DEL ARSENICO EN EL HOMBRE

Se conoce que las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación, que es acumulable en el organismo por exposición crónica y a ciertas concentraciones ocasiona afecciones como:

alteraciones de la piel (relajamiento de los capilares cutáneos y la dilatación de los mismos) con efectos secundarios en los sistemas nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastro-intestinal y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones. La evidencia epidemiológica de personas con ingestión prolongada de arsénico inorgánico, vía agua de bebida, es la hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.



La presencia de arsénico en agua, su grado de contaminación y la incidencia de enfermedades de piel en Argentina y México se describen en diferentes estudios. (2, 3, 4)

Resultados con animales de laboratorio indican que el arsénico inorgánico trivalente es más tóxico que el pentavalente debido a que los compuestos pentavalentes tienen menor efecto en actividades enzimáticas, pero in vivo éstos pueden ser reducidos a compuestos trivalentes. La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina >  $As^{+3}$  inorgánico >  $As^{+3}$  orgánico >  $As^{+5}$  inorgánico >  $As^{+5}$  orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del  $As^{+3}$  es 10 veces mayor que la del  $As^{+5}$  y la dosis letal para adultos es de 1-4 mg As/Kg.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norte América, USEPA, clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición a 0,05 mg/L puede causar 31,33 casos de cáncer de la piel por cada 1,000 habitantes y ha considerado bajar el límite máximo de aceptación de 0,050 mg/L, al de 0,010 - 0,020 mg/L.

El Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer lo ha clasificado en el grupo I porque tienen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para seres humanos. La eliminación natural del organismo humano es por vía urinaria, heces, sudor y epitelio de la piel (descamación).

Algunos estudios de toxicidad del arsénico indican que muchas de las normas actuales basadas en las guías de la OMS son muy altas, y plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos

A continuación se presentan valores guías para arsénico establecido por varias agencias reguladoras:

**Valores Guías - Arsénico**

<b>País/Organización</b>	<b>(NCM) ug/L</b>
Canadá	0.025
USA	0.050
Francia	0.050
Alemania	0.040
OMS	0.050
CEE	0.050
India	0.050
China	0.050
Taiwán	0.050

En América Latina ha podido apreciarse que a niveles similares de arsénico en diferentes condiciones (climatológicas, de nutrición y otros) el nivel de afectación es diferente.

**EL ARSÉNICO EN EL AGUA NATURAL**

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza formando un 0,00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica o inorgánica.

Su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La concentración del arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local.

En los sistemas acuáticos el arsénico se puede presentar en cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo las más comunes sus estados trivalentes (arsenitos) y pentavalentes (arsenatos). En aguas naturales de pH 5 a 9 predominan las especies:  $H_2AsO_4^-$ ,  $HAsO_4^{2-}$ ,  $H_3AsO_3$ ,  $H_2AsO_3^-$ . Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente.

Los arsenatos tienen mayor capacidad de ionización debido a la presencia del doble enlace. La molécula, al perder el ion hidrógeno por la disociación, queda con carga negativa formando varios aniones.

En aguas con altos niveles de oxígeno, el  $As^{+5}$  (como  $H_2AsO_4^-$ ) es estable, existiendo las especies antes mencionadas, en un rango de pH de entre 2 a 13.

Bajo condiciones anóxicas, aún a pH mayor que 7 el arsénico es estable en especies dominantes no iónicas. Como se puede apreciar, los arsenatos y arsenitos se disocian a un pH muy diferente

Además de la información de la disociación de los iones arsenito y

arsenato a pH diferentes también es importante la información termo dinámica del arsénico, que ayuda a entender su distribución (formas presentes) y movilidad en el agua subterránea, y su posterior tratamiento.

**REMOCIÓN DE ARSÉNICO DEL AGUA**



En general, el tratamiento de agua potable está orientado a remover color, turbiedad y microorganismos de origen fecal.

Esta remoción se logra a través de una combinación adecuada de procesos de: coagulación-floculación-sedimentación-filtración y desinfección. Pero cuando se desea remover elementos químicos del agua, como el arsénico, es necesario recurrir a métodos más complejos, como los señalados en el cuadro:

**Técnicas empleadas para la remoción de arsénico**

- |  |
|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adsorción-coprecipitación usando sales de hierro y aluminio</li> <li>2. Adsorción en alúmina activada/ carbón activado/ bauxita activada</li> <li>3. Osmosis inversa</li> <li>4. Intercambio iónico</li> <li>5. Oxidación seguida de filtración</li> </ol> |
|--|

En las plantas de tratamiento de agua el As<sup>+5</sup> puede ser removido en forma efectiva por coagulación con sulfato de aluminio o hierro y por los pro-

cesos de ablandamiento con cal y soda. Los coagulantes señalados se hidrolizan formando hidróxidos, sobre los cuales el As<sup>+5</sup> se adsorbe y coprecipita con otros iones metálicos.

De acuerdo con la literatura, aguas naturales con gran cantidad de coloides requieren de altas concentraciones de coagulantes para lograr eficiencias de remoción semejantes a las señaladas en la siguiente tabla:

**Eficiencia de coagulantes en la Remoción de Arsénico**

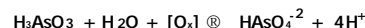
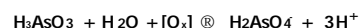
Coagulante	Arsenato As <sup>+5</sup>	Arsenito As <sup>+3</sup>
	Remoción (%) pH	Remoción (%) pH
Sulfato Férrico Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100 < 9.0	20 < 9.0
Sulfato de Alúmina Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	90 < 7.0	50 < 7.0

La remoción de arsénico con procesos convencionales de coagulación con sales de aluminio y hierro y ablandamiento con soda son dependientes del pH del agua tratada, del tipo y dosis de coagulante así como de la concentración inicial de este elemento.

Cuando la concentración de arsénico en el agua cruda es superior a 1,0 mg/L, la remoción de arsénico disminuye a medida que aumenta la concentración inicial, particularmente si se usa sulfato de aluminio. La coagulación con sulfato de aluminio o cloruro férrico no remueve en forma tan eficiente el As<sup>+3</sup> como en el caso del As<sup>+5</sup>. El primero requiere de oxidación preliminar para ser removido por coagulación convencional y/o ablandamiento con cal y/o soda.

Con la precloración se obtiene una remoción del As<sup>+3</sup> similar a aquella

alcanzada para el As<sup>+5</sup> con el mismo tratamiento, debido a que las constantes de disociación del As<sup>+5</sup> son menores que las del As<sup>+3</sup> y por lo tanto su disociación es mayor. La eficiencia de remoción de As<sup>+5</sup> comparada con la de As<sup>+3</sup> justifica la oxidación del agua subterránea antes del tratamiento. La oxidación del As<sup>+3</sup> a As<sup>+5</sup> se produce según las siguientes reacciones :



Después de la oxidación, el As<sup>+5</sup> se debe adsorber en los flocs formados por la coagulación de los coloides presentes en la masa de agua por acción del hidróxido de aluminio o del hierro. Probablemente la adsorción se produzca mas por un efecto físico que químico, debido a las fuerzas de atracción superficiales que posibilitan el fenómeno.

**Probables mecanismos de remoción:**

Probablemente los mecanismos que rigen la remoción del arsénico (soluta) más conocidos son:

- ◆ Interacciones moleculares del sistema Arsénico/Agua/Hidróxido-arcilla
- ◆ Interacciones eléctricas en la superficie
- ◆ Interacciones del arsénico con el agua
- ◆ Energía libre en la superficie de adsorción

**OBJETIVO**

El presente estudio tuvo como objetivos:

- ◆ Desarrollo de una metodología simple y de bajo costo que permita remover, a nivel domiciliario, el arsénico natural presente en las aguas

subterráneas que son usadas para bebida en poblaciones rurales y desprotegidas.

- ♦ La aplicación del método afronta en forma simultánea el problema del arsénico y la calidad bacteriológica del agua de bebida.

## METODOLOGÍA



El estudio estuvo orientado a desarrollar:

- ♦ Una bibliografía sobre los posibles métodos de remoción de arsénico en aguas subterráneas
- ♦ Selección del esquema de tratamiento con uso de un oxidante, arcillas y coagulantes.
- ♦ Metodología analítica y control de calidad de la información
- ♦ Pruebas de eficiencia de cada producto en forma individual, para establecer combinación óptima de los productos seleccionados
- ♦ Aplicación en el campo (Salta-Argentina) de productos propuestos (ALUFLOC y FERRIFLOC)

- ♦ Evaluación de su estabilidad y aplicación
- ♦ Evaluación económica del estudio y del costo del producto

Durante las pruebas se trató de crear condiciones apropiadas para que se produzca una buena coagulación de los coloides y una buena adsorción del arsénico en éstos y en los flocs formados.

Como el agua subterránea y, por ende, el agua preparada a tratar no tiene turbiedad, se le adicionó coloides (bentonita natural y arcillas activadas). Con el fin de identificar los mecanismos generales de la remoción del  $As^{+3}$  y  $As^{+5}$  se hicieron pruebas donde las sales de hierro y aluminio se hidrolizan en presencia de arsenato y producen la coprecipitación con los compuestos formados en la hidrólisis y/o sorción sobre los precipitados.

El conocimiento de la complejación de los aniones y los mecanismos que rigen los procesos permiten identificar los factores que favorecen la remoción del arsénico.

Esto, más la propuesta de trabajo, permitió la selección de los materiales para las combinaciones de coagulantes y sorbentes a probar, cuya evaluación y control permitió encontrar una mezcla y condiciones óptimas para la remoción del arsénico. El estudio se realizó de acuerdo a la siguiente secuencia:

### A. Consideraciones generales en la ejecución del estudio

#### 1. Evaluación bibliográfica de las características del agua a tratar.

Se hizo una búsqueda bibliográfica de las características físico-químicas del agua a tratar en las regiones de Salta, Tucumán y Córdoba y se determinó que eran aguas con poca o escasa turbiedad, alcalinidad entre 120-180 mg/L  $CaCO_3$  y pH de 7,0 a 8,5,

dureza total de 200-400 mg/L  $CaCO_3$ , con niveles variables de arsénico.

#### 2. Simulación artificial de la calidad del agua a tratar

En el laboratorio se preparó agua con características fisicoquímicas similares al promedio de las aguas que se querían tratar.

Con respecto a los valores de arsénico se le adicionó óxido de arsénico de calidad analítica en concentraciones de 0,3 ; 0,8 y 2,2 mg/L.

#### 3. Selección de los productos

Oxidante

En la introducción se indicó la conveniencia de la oxidación del  $As^{+3}$ , que predomina en las aguas subterráneas antes del tratamiento con coagulación.

Debido a que los arsenitos se oxidan fácilmente a arsenatos con cloro, se seleccionó el hipoclorito de calcio al 70% de cloro activo como material oxidante.

#### Arcillas naturales y activadas

Las arcillas usadas fueron arcillas naturales (bentonitas) y arcillas activadas. La ventaja de estas últimas son la homogeneidad de sus características físico-químicas, porosidad y de superficie, debido al tratamiento de activación al cual han sido sometidas.

#### Coagulantes

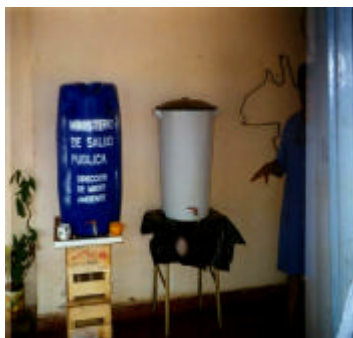
Los coagulantes seleccionados para las pruebas fueron el sulfato de aluminio y el cloruro férrico (de mayor disponibilidad en el medio) debido a que es conocido que los arsenatos se precipitan o se adsorben sobre los hidróxidos de hierro y aluminio me-

diante reacciones superficiales específicas.

Según la literatura, la mejor adsorción del  $As^{+5}$  sobre los precipitados de hierro,  $Fe(OH)_3$  y alúmina  $Al(OH)_3$ , tienen lugar entre un pH de 4 a 7, cuando la superficie del hidróxido tiene carga positiva y el arsénico está en forma aniónica, promoviendo las interacciones electrostáticas entre el  $As^{+5}$  y el precipitado

Se consideró que el método de mayor eficiencia para la remoción de arsénico en aguas subterráneas ( $As^{+3}$ ) es el de coagulación controlada en la zona en la cual se produce la oxidación y condiciones de pH-pE apropiadas para el proceso.

**4. Ensayos estándar y parámetros evaluados**

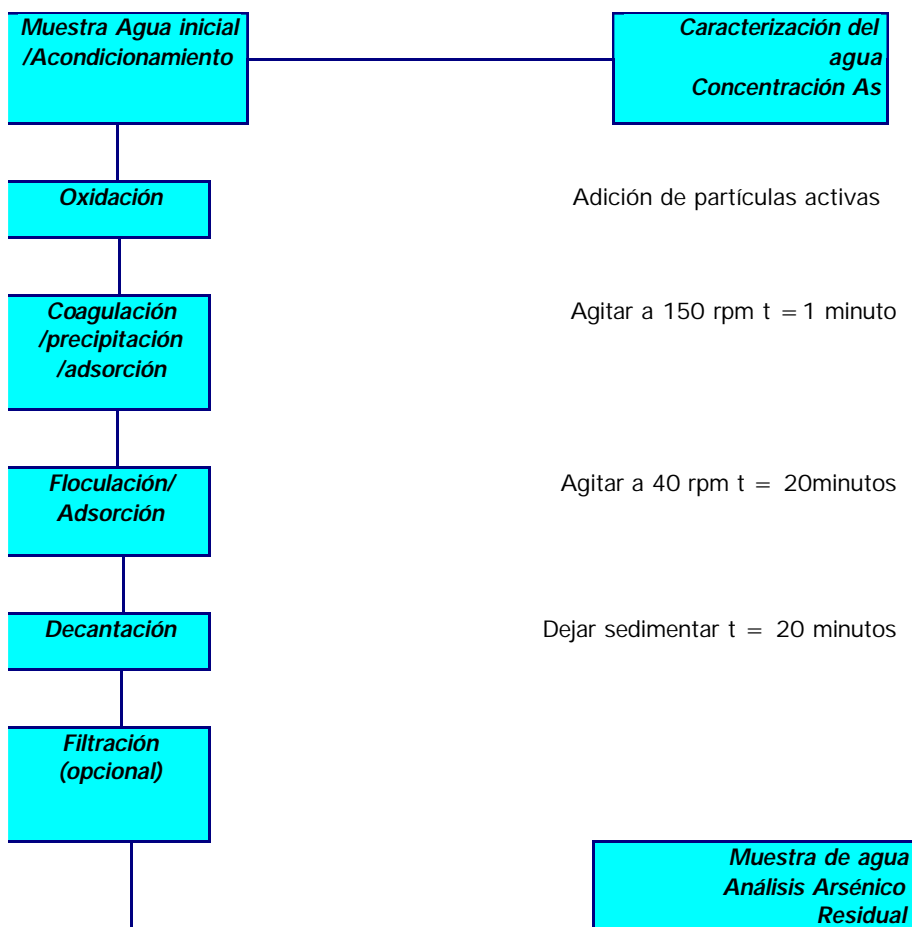


Las pruebas se hicieron por lotes, evaluando el grado de remoción de As en condiciones de estabilidad del sistema agua/ arcilla/ coagulante/ arsénico.

Se controló el pH de la solución como un indicador de las interacciones entre el soluto y el sorbente. Por otra parte, el balance de masa se realizó con respecto a algunos de los parámetros medidos, su cambio a través de pruebas efectuadas y el tiempo.

La secuencia seguida en los ensayos fue la siguiente:

**PRUEBAS DE LABORATORIO**



- ♦ Los ensayos de coagulación-floculación en el laboratorio se hicieron según procedimiento estándar ASTM, en las pruebas de jarras en las condiciones señaladas en el diagrama anterior.
- ♦ Reactores de cuatro litros y reactores de 20 litros.

Para estas pruebas se acondicionó reactores simples, eje horizontal, eje vertical y botellones que permitieron reproducir las condiciones de mezcla hidráulica.

### 5. Métodos y control de la calidad analítica empleados en el laboratorio

Los análisis se realizaron de acuerdo a los métodos estándar de la AWWA 19 Edic. El análisis de arsénico se hizo por el método espectrofotométrico del di-etil-di-tio-carbamato de plata, que consiste en la reducción de arsénico inorgánico a arsina,  $AsH_3$ , utilizando cinc en solución ácida como reductor. La arsina es absorbida por una solución de dietil-di-tio-carbamato de plata en piridina. La sal de plata reacciona con la arsina, y produce un complejo rojo con absorción máxima a 540 nm. La concentración detectable mínima de As con este método es de 0.001 mg de As.

Se midió el aluminio por espectrofotometría de absorción atómica con llama de óxido nitroso.

El cloro residual se midió con el método titulométrico del DPD, con sulfato ferroso amoniacal como titulante.

### B. Pruebas de remoción del Arsénico en el agua

#### Pruebas de remoción de arsénico en el laboratorio

#### *Evaluación individual de la capacidad de remoción de cada componente del producto.*

Mediante:

- a) Dosificación de cada uno de los componentes en forma independiente y proceso de acuerdo a ensayo estándar, para evaluar su comportamiento y servir de comparación en la evaluación de la eficiencia de remoción de las combinaciones usadas en el tratamiento del agua con varias concentraciones de arsénico a remover. (Gráfico N° 1)
- b) Dosificación de arcillas y coagulantes sin oxidación del agua a tratar. (Gráfico N° 2)

#### *Evaluación de las combinaciones y selección de la combinación óptima*



- a) Dosificación en condiciones controladas empleando el equipo de prueba de jarras a diferentes concentraciones de coloides (arcillas), oxidante (cloro) y coagulantes (sulfato de aluminio y cloruro férrico). Cuyas combinaciones óptimas se denominaron :

- Mezcla 1- arcilla /  $Al_2(SO_4)_3$  /  $Cl_2$

- Mezcla 2 - arcilla /  $FeCl_3$  /  $Cl_2$

- b) Pruebas de la mezcla (sólido) de las combinaciones óptimas. (Gráfico N° 3)

- c) Se emplearon tres vasos de un litro de agua con la mezcla 1 y tres vasos con la mezcla 2 que representa las condiciones óptimas de remoción de arsénico con los coagulantes  $Al_2(SO_4)_3$  y  $FeCl_3$  en las condiciones hidráulicas señaladas en el cuadro de resultados.

- d) Para mostrar la necesidad de la oxidación preliminar se evaluó el efecto del estado de oxidación del arsénico en la remoción mediante pruebas de tratamiento del agua (con arsenito) con y sin adición de cloro.

- e) Con las combinaciones más eficientes de remoción se realizaron pruebas con muestras de agua con diferentes concentraciones de arsénico, empleando un reactor de cuatro litros con eje de giro horizontal (Gráfico N° 4)

- f) Posteriormente se probó las mejores combinaciones con reactores de 18 a 20 litros (a-reactor de eje horizontal, b- balde con paleta en eje vertical, c- botella de 20l con paleta simple). Las condiciones hidráulicas se indican en el cuadro de resultados. (Gráfico N° 5)

#### *Selección de la arcilla más apropiada y reproducibilidad de las pruebas*

- a) Se dosificó seis tipos de arcillas activadas (Fultmont Premiere, Super A, A.A, B.B, X.X) y naturales (bentonitas), seleccionando la mejor para tratar aguas con 0.8 mg/l de arsénico.

- b) Luego se realizaron un número de pruebas de remoción empleando reactores de 20 litros con las mejores mezclas ALUFLOC (mezcla 1) y FERRIFLOC (mezcla 2) para estimar la reproducibilidad

de los resultados para el tratamiento del agua en concentraciones de As de 0,4 y 0,8 mg/L.

*Verificación de la efectividad de las mezclas con el tiempo de almacenaje*

Se prepararon sachets con las mezclas que contienen un tipo específico de arcilla (activada), sulfato de aluminio y cloro para tratar 20 litros de agua con una concentración de arsénico de 0,55 mg/l. A un lote de sachets se le controló el cloro residual y aluminio durante 15 días.

Paralelamente a estas mediciones se hicieron pruebas de jarras con las mismas mezclas para comprobar si se mantenía su eficiencia de remoción de arsénico (15 días). Después de los resultados obtenidos y al ver la pérdida de la capacidad del producto para abatir el arsénico, se prepararon sachets con doble compartimento, uno con arcilla y el otro con la mezcla de sulfato de aluminio y cloro.

El contenido de los dos compartimentos se mezclaron en el momento de ejecutar las pruebas, se controló el cloro en el producto durante una semana. Paralelamente con estas mezclas se realizaron pruebas baldes provistos de una paleta de agitación. Se evaluó la remoción de arsénico con respecto al tiempo (durante 15 días).

Control de la estabilidad del producto

a) Control del cloro en la mezcla (sachet) con los dos diferentes tipos de coagulantes y con el tiempo

Se envasaron sachets con la mezcla de arcilla/sulfato de aluminio/cloro (500/60/5). Para el control del cloro se disolvió el contenido del sachet en un litro de agua destilada, luego se hicieron otras diluciones necesarias para lograr los niveles que permitan su medición con el método de DPD.

b) Control del aluminio en la mezcla

Se tomaron muestras de las soluciones anteriores, para medir su contenido de aluminio.

c) Pruebas de efectividad de la coagulación

Para estas pruebas se emplearon sachets con las mezclas de arcilla/sulfato de aluminio/cloro, de las cuales se pesó 0,57 g. para tratar un litro de agua.

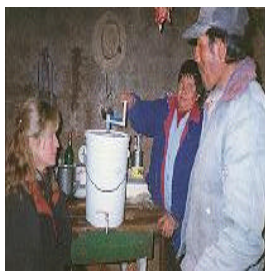
Las pruebas para la evaluación de la estabilidad del producto preparado en base a la mejor combinación de los productos, se realizaron al inicio de la preparación de la mezcla y luego de 7 y 15 días.

d) Control del cloro residual en la mezcla de sulfato de aluminio/cloro

Se envasaron bolsitas tipo sachet con la mezcla de sulfato de aluminio mas cloro, se hicieron controles de cloro residual durante una semana y una a los 15 días.

e) Pruebas en baldes de 20 litros y agitación manual con paleta

Para esta prueba se uso agua con un contenido de 0,55 mg/L de



arsénico. El contenido de los sachets de compartimento doble se mezcló al inicio de las pruebas disolviéndolo en un vaso con agua. Pruebas de remoción de arsénico en el campo

Se efectuaron pruebas de campo en Salta y Tucumán, usando directamente las dos mezclas seleccionadas y los equipos: a) reactor de eje horizontal, b) balde con paleta en eje vertical, c) botella de 20 litros de plástico transparente con paleta simple.

**C. Evaluación económica**

- Costo del estudio
- Costo del producto

**RESULTADOS**



A) Características iniciales del agua a tratar:

PH	7,8
+ 1°C	22 °C
Alcalinidad	151 mg/L
Turbiedad	0,4 UN
Dureza total	398 mg/L
Sólidos totales	752 mg/L
Sólidos disueltos	745 mg/L
Eh	180 mV

B) Pruebas de remoción en el agua

Las características del agua después del tratamiento fueron:

	Tratamiento con arcilla/Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub>	
	50	60
Dosis de coagulante	50	60
Temperatura ° C	21	21
pH después de dosificar	7,49	7,33
Alcalinidad mg/L	134	130
Dureza total mg/L	389	387
Turbiedad UN	6	11
Sólidos totales mg/L	766	780
Sólidos disueltos mg/L	740	698
Arsénico mg/L	0,49	0,48
Remoción %	75	76

	Tratamiento con arcilla/FeCl <sub>3</sub> /Cl <sub>2</sub>	
	70	80
Dosis de coagulante	70	80
Temperatura ° C	21	21
pH después de dosificar	7,66	7,15
Alcalinidad mg/L	112	108
Dureza total mg/L	379	379
Turbiedad UN	11	12
Sólidos totales mg/L	740	758
Sólidos disueltos mg/L	728	745
Arsénico mg/L	0,05	0,05
Remoción %	97	97

Selección de las arcillas más apropiadas y reproductividad del tratamiento

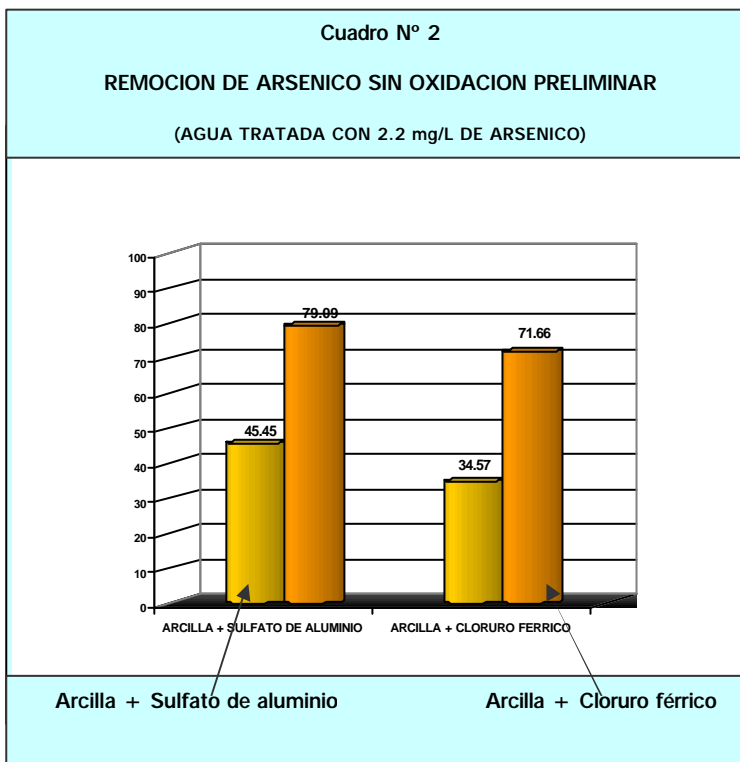
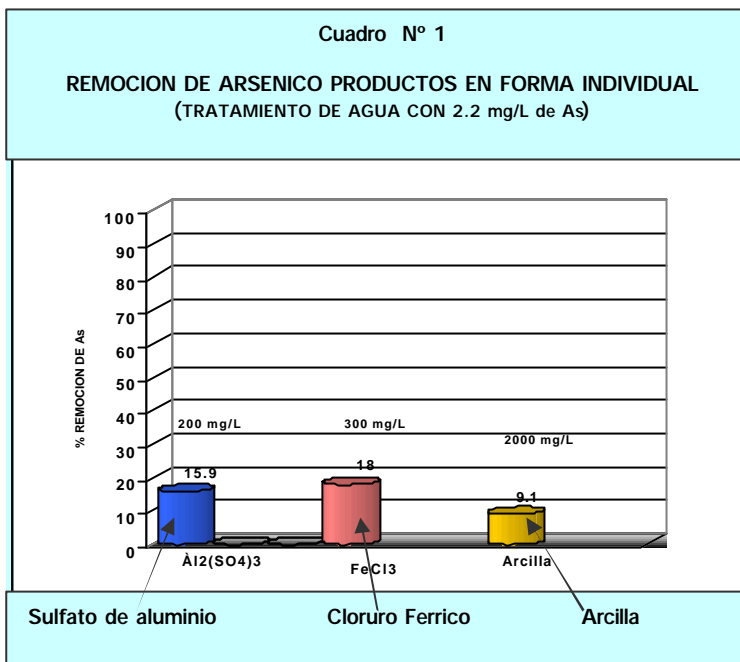
a. Pruebas de repetibilidad de las mejores mezclas ( 1 y 2)

Coagulant e *	Sulfato de aluminio mg/L (1)		% remoción
1	0,082	0,076	76,05
2	0,165	0,175	95,40
3	0,188	0,206	82,21
4	0,160	0,160	85,19
5	0,290	0,300	70,37
6	0,133	0,136	86,05

Muestras por duplicado

Coagulante *	Cloruro férrico mg/L (2)		% remoción
1	0,194	0,192	76,30
2	0,037	0,034	95,70
3	0,136	0,133	83,58
4	0,120	0,115	85,80
5	0,240	0,245	69,75
6	0,113	0,120	85,19

Muestras por duplicado



Evaluación de la estabilidad del producto

De acuerdo con los análisis de cloro envasado en sachets (arcilla/sulfato de aluminio/cloro) se observa que el cloro sufre una reducción significativa a través del tiempo ( $p < 0,01$ ).

Respecto al tipo de arcilla, las diferencias encontradas entre ellas no alcanzan significancia estadística ( $p > 0,10$ ).

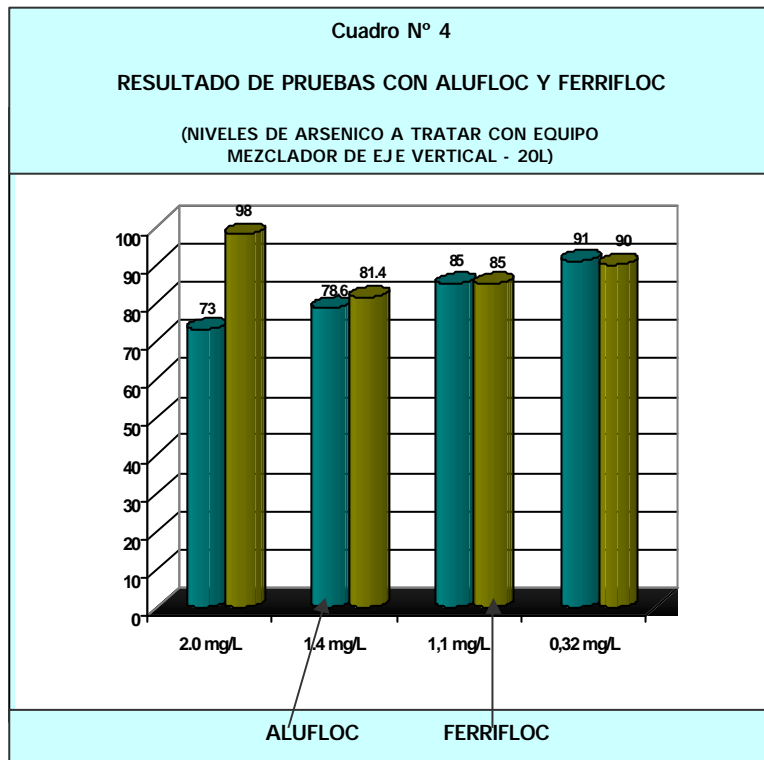
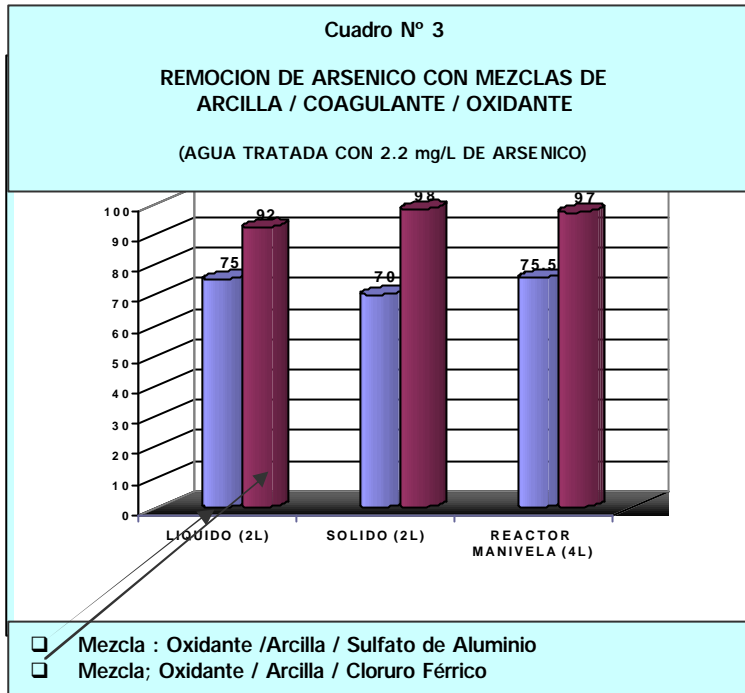
En un 65% las variaciones del nivel de cloro residual pueden ser explicadas por la regresión lineal en función del tiempo y en un 35,5% se deben a otros factores presentes no considerados para el modelo. El cloro tiene una velocidad promedio de deterioro de 0,19 mg/l diario, de manera que en una semana los niveles de cloro son muy bajos.

Cuando se emplearon sachets con la mezcla de sulfato de aluminio y cloro, separado de las arcillas, los resultados mostraron que el cloro no disminuye con respecto al tiempo de almacenaje antes de su uso (0, 1, 2, 4, 7, 15 días). (Gráfico N° 6)

Las pruebas realizadas con sachets con compartimientos dobles en baldes (y agitación con paleta) son estables con respecto al tiempo (1 semana).

Las remociones de arsénico usando diferentes tipos de arcillas para tratar agua con 0,55 mg/L de As demuestran que hay diferencia significativa  $p < 0,1$  entre éstas para remover el As. La reproducibilidad del efecto de remoción de arsénico con respecto al tiempo ( $p = 0,85$ ) tiene variaciones no significativas, las cuales podrían explicarse por la aleatoriedad en el experimento.

Esto indica que el porcentaje de remoción es estable con el tiempo.

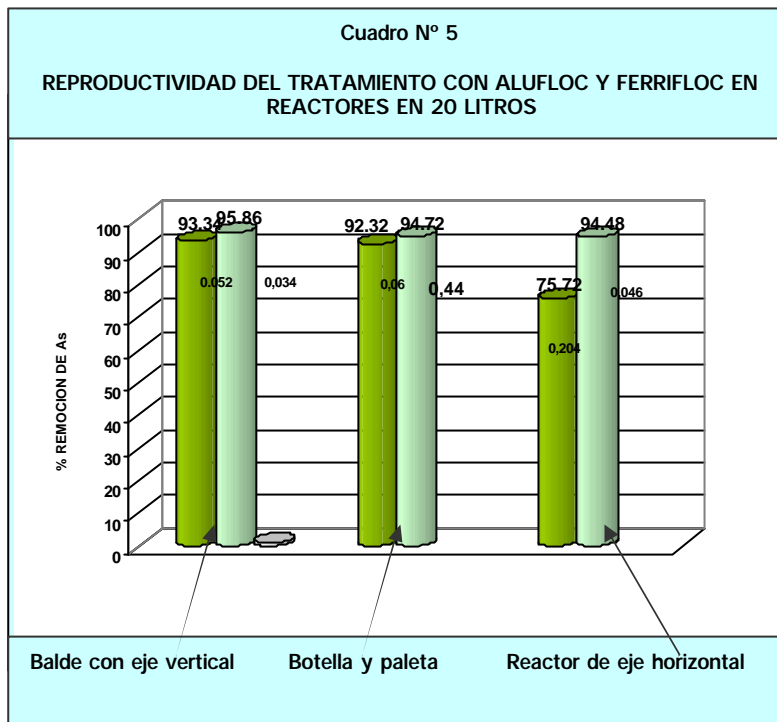


a. Provincia de Salta

En esta ciudad se realizaron pruebas de jarras, usando las mezclas óptimas de arcilla/oxidante y coagulantes.

b. Provincia de Tucumán

Los mejores resultados se obtuvieron aquí, tanto para la mezcla 1 como para la mezcla 2 con el reactor de eje horizontal. Se logró obtener una remoción de un 70 a 75%. En los otros recipientes la remoción alcanzada de 60%, en ese momento, se explicó como una interferencia de las condiciones en que se realizaron las pruebas en cuya agitación participaron varias personas. Pruebas posteriores demostraron que este menor rendimiento se debió al efecto del tiempo en los productos usados.



**C Evaluación Económica**

El costo a la fecha ha sido reducido a EUA\$0.22 por unidad para una producción en una cantidad semi-industrial, y se espera que el costo a nivel industrial bajará a por lo menos EUA\$0.15 por unidad.

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

A) Sobre la efectividad de las muestras coagulantes

Las alternativas de tratamiento propuestas en condiciones controladas de laboratorio logran remover niveles de arsénico hasta en 98%, siendo más efectivo el uso de cloruro férrico para tratar concentraciones mayores de 1 mg/l de arsénico y es mejor usar sulfato de aluminio para concentraciones de arsénico menores a la señalada.

