

Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

**Reducción de Arsénico en agua
Uso de un método doméstico**

Seminario AGUA

**Docentes: Prof. Roberto Rodríguez
Prof. Milena Echeverría**

**Grupo de trabajo
Ing. Camacho, Beatriz
Ing. Curcio, Hector
Lic. Duhalde, Diego
Ing. Fuentes, Alfonso
Ing. Magneres, Agustin
Ing. Muller, Carlos
Ing. Podepiora, Carlos
Ing. Suárez, Paulo**

**Especialización y Maestría en Ingeniería Ambiental
Facultad Regional Bahía Blanca
Universidad Tecnológica Nacional - U.T.N.**

Año 2008

1. Motivación.

La porción de recursos hídricos que puede ser usada para satisfacer el consumo humano, es cada vez más escasa, cuantitativamente y cualitativamente. Es así como en términos tanto de gestión de los recursos de agua disponibles como de provisión del acceso al agua potable y saneamiento para la población mundial, el agua constituye un desafío mundial para el siglo XXI.

El agua es un bien social: La disponibilidad domiciliar de agua es un derecho inalienable de los ciudadanos y cumplen una función de protección de la salud.

El agua es un bien ambiental: La preservación del agua como recurso natural e integrado al Medio Ambiente es hoy el principio rector para el manejo del agua en todos sus usos.

El agua es un bien económico: Los costos de instalación, operación y mantenimiento obligan a adoptar un criterio empresarial en la comercialización del agua.

El manejo de la gestión del agua tiene asimismo una dimensión política insoslayable. Las soluciones integrales para cubrir la cobertura y la calidad de los servicios deben considerar el acompañamiento de la comunidad mediante la participación comunitaria.

En este sentido, uno de los problemas más graves que enfrenta la utilización de agua subterránea es el contenido de elementos perjudiciales para la salud de quienes la consumen, como es el caso del arsénico.

En diversas regiones del país, la provisión de agua para bebida se ve seriamente dificultada por la existencia de agua subterránea con elevados contenidos de arsénico y flúor (también vanadio), lo que la hace tóxica para el consumo, pues estos elementos químicos se acumulan en el organismo produciendo patologías denominadas hidroarsenicismo y fluorosis.

Según el Código Alimentario Argentino en su *CAPITULO XII BEBIDAS HIDRICAS, AGUA Y AGUA GASIFICADA AGUA POTABLE*, Artículo 982 - (Res MSyAS N° 494 del 7.07.94), se establece como límite: Arsénico (As) máx.: 0,05 mg/l.

Como veremos a lo largo del presente trabajo, la problemática se encuentra instalada a nivel mundial y nuestra región no es la excepción.

Si bien en los últimos años se han desarrollado muchas técnicas para la eliminación del arsénico en las aguas de consumo, muchas de ellas son inaplicables debido a que la construcción de las plantas exige inversiones elevadas de dinero, y su posterior operación y mantenimiento también son costosas.

Lamentablemente la situación económica actual en la que estamos inmersos no permite la aplicación de estas tecnologías. Prueba de ello es el caso de la planta de osmosis inversa ubicada en la localidad de Dorrego, la cual nunca se pudo poner en operación.

Otras técnicas son aptas solo en determinadas condiciones de PH y resultan relativamente rentables cuando se requieren la eliminación en conjunto de otros elementos indeseables.

Es por ello que este grupo considera viable la utilización de filtros a escala doméstica, basados en técnicas sencillas y económicas, tanto en su construcción como en su mantenimiento y operación por parte del usuario.

Para comprender mejor el marco actual de situación comenzaremos por una breve descripción de la temática a nivel global, pasando por la realidad a nivel regional para luego introducirnos en la problemática local del arsénico.

Será imprescindible también mencionar el marco regulatorio en cuanto a la calidad del agua de consumo, establecido por el Código Alimentario Nacional, lo que nos brindará los límites máximos permitidos actualmente en vigencia.

Para tomar conciencia real del problema, no podemos dejar de mencionar también los efectos devastadores que a largo plazo provoca el arsénico sobre la salud humana.

En este trabajo nos ocuparemos del As por su carácter carcinogénico y la importancia que reviste en el territorio argentino.

Por otro lado, si bien el grupo considera, como ya se mencionara, que la solución más viable es la potabilización en pequeña escala, no debemos dejar de lado la posibilidad de utilizar otras técnicas, de las cuales haremos una breve descripción.

2. Características del arsénico.

- Masa molecular de 74.92 g mol⁻¹.
 - Punto de fusión de 817° a 36 atm.
 - Tiene tendencia a formar cationes.
 - El As elemental se obtiene por reducción de sus óxidos con hidrógeno o carbono.
- El arsénico (As) es un elemento químico minoritario en nuestro planeta que se presenta bajo la forma química de As³⁺; AS⁵⁺ fundamentalmente. Todos los compuestos de As tienen un cierto efecto tóxico, pudiendo además experimentar fenómenos de bioacumulación que potencian su efecto negativo, se lo incluye como carcinógeno para el ser humano.
- El arsénico es usado comercialmente e industrialmente como un agente en la manufactura de transistores, láser y semiconductores, como también en la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, preservantes de alimentos y madera, municiones, procesos de bronceado, plaguicidas y productos farmacéuticos.

3. Problemática a nivel global y en América Latina.

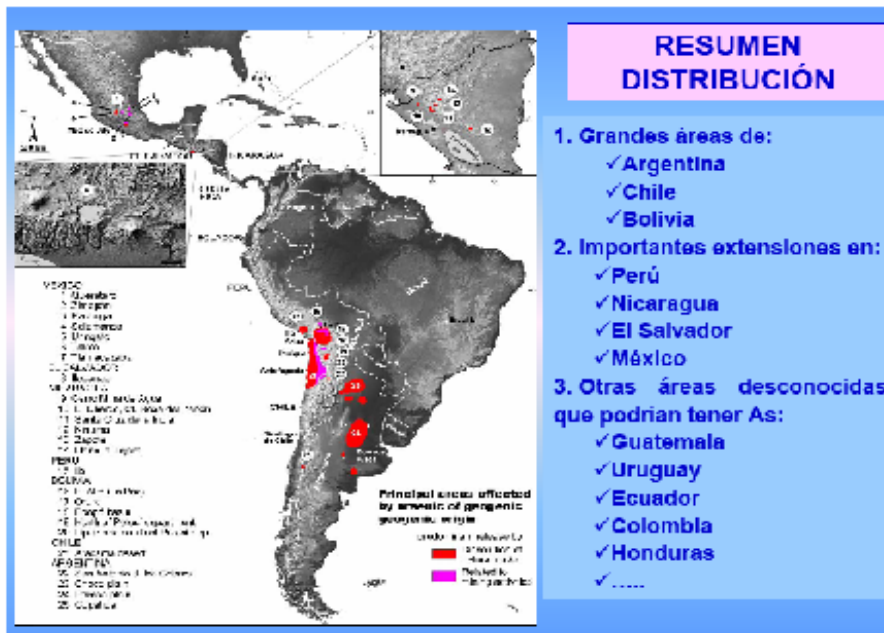
En los siguientes mapas se puede observar la distribución de arsénico en las diferentes escalas.

Distribución del arsénico a nivel mundial:



En América Latina:





4. Problemática a nivel Argentina.

En la Argentina, este problema involucra entre un millón y un millón y medio de personas en dieciséis provincias; las más afectadas son Salta, La Pampa, Córdoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco y Tucumán

Las isolíneas de máxima muestran áreas de mayor concentración en acuíferos en el NE de la provincia de Córdoba (La Francia 12,0 mg/l), W de la provincia de Salta (San Antonio de los Cobres, 2.9 mg/l) y SW de la provincia de Buenos Aires (Medanos, 2,0 mg/l). El arsénico se presenta en forma natural en rocas sedimentarias y rocas volcánicas, y en aguas geotermales. El arsénico se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita, que se encuentran como impurezas en los depósitos mineros, o como arsenato y arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. El arsénico está presente en el agua por la disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de los efluentes industriales y la sedimentación atmosférica. La presencia de este elemento en el ambiente, y específicamente en las fuentes de agua para consumo humano, se debe principalmente a factores naturales de origen geológico.

El origen del As en las aguas subterráneas de la Argentina es atribuido a la actividad volcánica ocurrida en los Andes durante el Cuaternario. La contaminación se produce cuando las napas, que se escurren bajo la tierra como un río subterráneo, pasan por zonas invadidas por cenizas originadas en las erupciones del Período Terciario y más tarde son sepultadas por los plegamientos del Cuaternario”.

Esa actividad fue muy intensa en el Altiplano y a ella se deberían las altas concentraciones de As que poseen los ríos Rosario, Pastos Chicos, Chorrillos (3.5mg/l) y San Antonio (0.7 mg/l) cercanos a San Antonio de los Cobres, Salta; en el río Jáchal, San Juan (0.10 a 0.15 mg/l) (Trelles, 1970) y el San Antonio (0.15 a 0.8 mg/l), Anta, Salta (Esparza,1996). Como consecuencia de ese vulcanismo, en el E. de la llanura Pampeana se habrían acumulado grandes depósitos de vidrios volcánicos que contienen As (vidrios frescos 11 ± 0.78 , vidrios alterados 14.7 ± 0.70) (Nicolli 1987). La solubilidad del As depende de la alcalinidad del agua, especialmente aquellas ricas en bicarbonato de sodio. En cambio es escaso o no se encuentra en aguas ricas en sales de calcio o magnesio aunque sean bicarbonatadas o sulfatadas. Las aguas subterráneas que contienen mayor concentraciones de arsénico son las muy alcalinas.

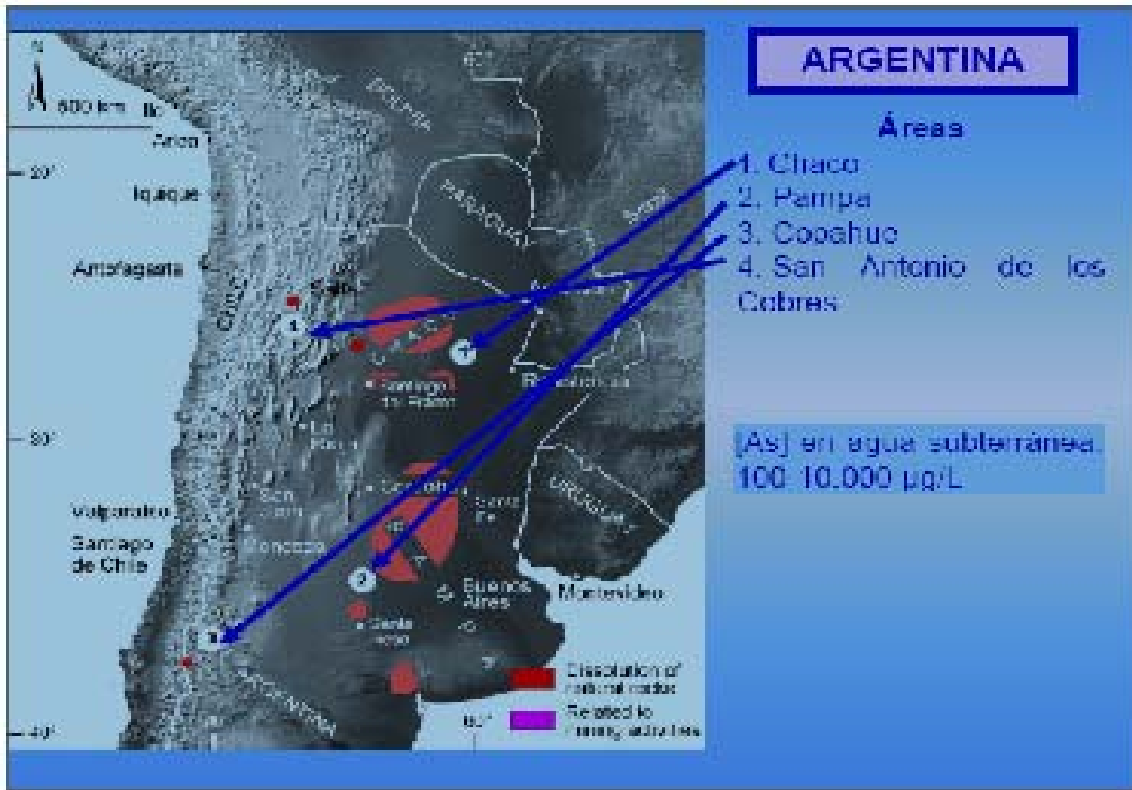
El As predomina en acuíferos profundos (probables ambientes lagunares del Cuaternario que recibieron sólidos en suspensión desde la Puna luego concentrados por evaporación) en Santiago del Estero: Monte Quemado a 90-100 m; Selva: 0.57 mg/l a 40 m de profundidad (Doderó et al, 1984), en Santa Fe (Rufino), Chaco, La Rioja y Salta. En el NE de la Provincia de Santiago del Estero, estudios realizados por Martín et al (1993) sobre 340 pozos concluyen que aquellos ubicados sobre los paleocauces localizados en el W del departamento de Alberdi proveen de agua con relativamente bajos contenidos de As, aunque con gran contaminación biológica. En cambio los pozos ubicados sobre el abanico aluvial de la Sierras Subandinas (al W del Departamento de Copo), poseen una gran importancia hidrológica pero con altos contenidos de As (máximos de 0,60 mg/l) asociado a las mayores profundidades (80-110 m). Predomina en las capas superficiales (estratos de cenizas volcánicas acumulados también en el Cuaternario por acción eólica o bien por la descarga de sistemas lagunares desarrollados en la Puna) en la provincia de Córdoba (Bell Ville, cuenca del río Tercero), centro y norte de la provincia de Santa Fe, norte y sur de la provincia de Buenos Aires (Paoloni et al 1999); norte de la provincia de La Pampa (Jacinto Araus 0.4 mg/l según Doderó et al 1996b), Tucumán (6 a 30 m) (Esparza, 1996), y San Juan (Trelles et al, 1970; Gavarotto, 1984). Las aguas de Huinca Renanco (Córdoba posee 0.302 mg/l, ADI CANADA 1996). En el agua se puede encontrar arsénico tanto en su forma trivalente como pentavalente, según las condiciones del medio. En el agua superficial predominan las formas oxidadas, y en el agua subterránea, sobre todo en la más profunda, las reducidas.

5. Area en cuestión.

El área con problemas de arsénico en sus acuíferos coincide con la llanura pampeana hasta el norte de Santa Fe y Santiago del Estero, área de mayor producción ganadera y mayor concentración de población.

Las isóneas de máxima muestran áreas de mayor concentración en acuíferos en el NE de la provincia de Córdoba (La Francia 12,0 mg/l), W de la provincia de Salta (San Antonio de los Cobres, 2.9 mg/l) y SW de la provincia de Buenos Aires (Medanos, 2,0 mg/l).

Las isolíneas de mínima concentración, pero también de elevado contenido de arsénico, muestran una zona de 2.00 mg/l en La Francia (Córdoba) y 0.60 mg/l en Vila, provincia de Santa Fe; 0,50 mg/l en San Marcos Sur y Asunta en el SE de la provincia de Córdoba.



6. Problemática local.

En muestras de agua tomadas en sectores próximos a las rutas 35 y 33, se encontraron concentraciones de arsénico de 0,16 miligramos por litro, pero en cercanías de Espora treparon a 0,24 y a 0,30 en Grünbein, Médanos 2 mg/l. Respecto de la proliferación de las bombas, como estas acceden a napas más profundas, el riesgo podría ser menor, aunque, aun así, en Dorrego, encontraron elevados valores de arsénico. La búsqueda en Bahía Blanca se concentra, por ahora, en el acuífero freático, el cual se considera como el más explotado con el empleo de molinos de viento, y se destina tanto al consumo humano como a la ganadería, agricultura y horticultura. En Bahía Blanca, no encontraron contaminación de estricta responsabilidad humana, la que sí es notable en las proximidades de Buenos Aires; sobre todo, en sectores cercanos a basurales y

sanitarios clandestinos.

7. Efectos sobre la salud.

El arsénico interfiere con numerosas actividades fisiológicas esenciales (Adsorción de elementos esenciales, Actividad enzimática, Transcripción celular)

Alteraciones cardíacas, vasculares y neurológicas, lesiones hepáticas y renales, repercusiones en el aparato respiratorio y lesiones cutáneas que avanzan progresivamente hasta las neoplasias: estos son los riesgos a los que se expone quien consume agua con excesivo contenido de arsénico durante un tiempo prolongado. A pesar de ser absorbido por las plantas no pasa a la carne vacuna en cantidades apreciables. Por otra parte, cuando los animales beben aguas arsenicales, pueden acumularse en sus distintos tejidos, incluyendo los que servirán posteriormente como alimento para el ser humano, como por ejemplo hígado y riñón. Pueden aparecer o acumularse arsénico o metabolitos producidos por el organismo, lo que significa un riesgo para el consumidor.

El arsénico se combina con los grupos sulfhidrido de los tejidos queratinizados, acumulándose en ellos (pelos).

Hay especialistas que sugieren que la ingesta de aguas con concentraciones de 0,050 a 0,100 mg/l durante apenas un año sería suficiente como para que una persona, incluso mucho tiempo después de haber dejado de consumirlas, pueda padecer alguna enfermedad maligna.

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) fue descrito por primera vez en la Argentina por Goyenechea (1917) que la denominó "Enfermedad de Bell Ville" por la procedencia de los pacientes. Ayerza (1917) describió las manifestaciones cutáneas características por lo que estas recibieron la denominación de "enfermedad de Ayerza" y Tello (1951) le dio la denominación actual con la que es conocida en los círculos médicos de la Argentina. Tello (1986) registró 339 pacientes provenientes de las provincias de Córdoba, Santa Fe, Chaco, Buenos Aires y Salta. Biagini et al (1995) entre los años 1972 y 1993 detectaron otros 87 enfermos provenientes, la mayoría de ellos, de las provincias de Santiago del Estero, Chaco y Salta, y en menor número de Córdoba, Santa Fe y de Chile. Trelles et al (1970) transcribió una estadística del período 1934-1944 registrada por el Hospital Regional de Bell Ville, donde se detectaron 511 pacientes afectados de arsenicismo. Ayerza (1917), sobre una población total de 8.534 habitantes, refiere 1.300 enfermos (15%) para Bell Ville. Penedo y Zigarán (1998) realizaron un mapa de riesgo para la provincia de Córdoba, basándose en la incidencia de patologías relacionadas y los tenores de arsénico actuales en las aguas de consumo humano. Relevaron 40 localidades midiendo el contenido de arsénico tanto como el pH y relacionaron estos datos con la tasa de mortalidad por cáncer de piel y órganos blandos. Los mayores índices de riesgo los encontraron en la zona de llanura (departamentos de San Justo, Marcos Juárez, Unión, Río Cuarto y Río Primero). Paoloni et al (1999) publicaron un mapa de riesgo para la región sur de Provincia de Buenos Aires demarcando zonas de hasta 1 mg/l en los alrededores de la localidad de Médanos.

En los Estados Unidos el As ha sido asociado con un mayor riesgo de cáncer de próstata, diabetes de adulto, enfermedades cardiológicas, nefritis y pericarditis (Lewis et al 1999), cáncer de piel (no melanomas) (Calderón et al 1999), aunque no está claro si esos efectos se producen con los niveles de As que recibe esa población (0.05 mg/l) (Karagas et al 1998). Por lo tanto se requieren mayores investigaciones sobre el consumo de agua con arsénico y sus efectos en la salud. Concha et al (1998) estudiaron el metabolismo del As en la población de San Antonio de los Cobres, Taco Pozo y Rosario de Lerma con resultados diferentes en las concentraciones de As en sangre y orina de niños y mujeres por lo cual habría una considerable variación interindividual además de un polimorfismo genético en esta cuestión.



El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) es una enfermedad producida por exposición de la población a la ingestión prolongada (crónico) de agua que contenga sales de arsénico (hidro-arsenicismo), que afecta a gran parte de la población (endémico) de una región (regional) lo cual constituye un ejemplo interesante de analizar como complejo eco-patógeno (Picheral, 1982) . Progresivamente la enfermedad evoluciona en cuatro periodos:

- 1) *hiperhidrosis palmoplantar* con prurito y descamación, conjuntivitis, vómitos o diarreas;
- 2) *hiperqueratosis palmoplantar* con lesiones dolorosas que impiden caminar y realizar tareas manuales,
- 3) *melanodermia* del tronco y parte superior de los miembros y
- 4) *cancerización* (cáncer de Hutchinson, epiteloma de Bowen).

El HACRE es un síndrome tóxico órgano-endémico adquirido que se presenta en individuos de 1 a 15 años debido a la ingesta prolongada de agua con concentraciones de arsénico superiores a los 0,05 miligramos/litro. La piel

engrosada, rugosa y más oscura es un síntoma en quienes padecen esta enfermedad.

Puede confundir el hecho de que los agricultores, que son trabajadores manuales, poseen por lo general esta característica, pero: "le aseguro que con sólo estrecharle la mano a una persona afectada se le puede hacer el diagnóstico, precisó el médico Carlos Padial", quien atiende a pacientes con esta patología en una zona cercana a la ciudad de La Banda, en la provincia de Santiago del Estero. El arsénico se deposita también en los huesos y en los dientes, e impacta escuchar que el veneno atraviesa con facilidad la barrera placentaria y que su potencial queratogénico produce daño fetal, es decir, no sólo afecta al bebé ya nacido sino incluso al que está en gestación.

8. Tratamientos del agua.

En el agua los estados de oxidación más comunes del arsénico son As (V), o arseniato, y As (III), o arsenito. El As (V) prevalece en aguas superficiales mientras que es más probable encontrar especies de As (III) en aguas subterráneas anaerobias. En el intervalo de pH natural del agua las especies de As (V) se encuentran cargadas negativamente y las de As (III) son eléctricamente neutras.

Las eficiencias de remoción para As (V) son mucho mejores que la remoción de As (III), debido a sus propiedades eléctricas. Una carga neta negativa facilita la remoción por adsorción, intercambio aniónico, la carga neta de las especies de As (V) a estos valores de pH es negativa, en consecuencia su remoción es mucho más fácil.

Así, para incrementar la eficiencia de remoción cuando está presente el As (III) es necesaria su preoxidación a especies de As(V), lo que se logra con la aplicación de cloro, aunque puede utilizarse también permanganato de potasio (KMnO₄) u ozono (O₃).

a. Coagulación y filtración con sales de Aluminio e hierro.

La coagulación de As (V) con sales de Al (III) y Fe (III) es un método reconocido como uno de los más eficientes para la remoción de arsénico. Las sales de hierro y aluminio se hidrolizan formando hidróxidos sobre los cuales el As (V) se adsorbe y coprecipita.

Es un proceso efectivo de remoción de As (V) de acuerdo a ensayos de laboratorio y planta piloto. El tipo de coagulante y dosis usada afectan la eficiencia del proceso. Entre altos o bajos rangos de pH, la eficiencia decae significativamente. El alumbre demostró una menor efectividad que el sulfato férrico. Otros coagulantes están siendo ensayados.

La superficie del hidróxido tiene un carácter anfótero, por lo que puede recibir y entregar protones. Se encuentra con carga neutra en su punto isoeléctrico, dependiendo por lo tanto su carga del pH del medio. Para la adsorción de aniones deberá estar cargada positivamente.

El proceso de oxidación-coagulación es aplicable para aguas superficiales con alta

turbiedad, donde además de As deben removerse otros contaminantes. En estos casos es justificable un tratamiento convencional que incluya: mezcla, floculación, sedimentación y filtración, donde la mayor parte de As se remueve durante la sedimentación.

La planta de tratamiento consiste de un estanque de ingreso, coaguladores y filtros (primarios y secundarios). Se realizan los procesos de presedimentación, para la remoción de As particulado; aeración y precloración, para la oxidación del As (III) a As (V); ablandamiento y coagulación, para la remoción de As soluble; sedimentación y filtración, para la remoción de As coagulado.

Como resultado de un estudio realizado en Méjico por el Instituto Mejicano de Tecnología del Agua se concluyó que es sobresaliente la capacidad de los minerales con alto contenido de óxidos de hierro y manganeso (hematita, ferromanganeso y dióxido de manganeso) para remover arsenatos.

Se han obtenido resultados que muestran que el As se adsorbe mejor a los hidróxidos de hierro que a los de aluminio (alúmina).

Los resultados obtenidos usando arena recubierta con óxidos de hierro son notables. No existe desorción significativa de hierro; sin embargo su principal desventaja radica en la complejidad del procedimiento de acondicionamiento del medio.

Para el diseño de las instalaciones se necesitan los datos fisicoquímicos del adsorbente para obtener el coeficiente de absorción del contaminante en estado de equilibrio con el adsorbente.

En una planta de tratamiento de adsorción / filtración se hace pasar un flujo de agua cruda por un filtro, que está recubierto con los compuestos adsorbentes, hidróxidos de metal. El filtro puede consistir de mallas metálicas u otra superficie inerte, como puede ser arena. Los dispositivos generalmente están patentados y no se conocen siempre los hidróxidos utilizados.

Es necesario regular el pH del agua cruda (el rango varía según el hidróxido utilizado) y oxidar el As (III) a As (V) con un oxidante. Luego el agua ingresa en la columna del filtro. Los hidróxidos metálico y su respectivo soporte, actúan simultáneamente como filtro y adsorbente.

Una vez alcanzada la capacidad máxima de filtración de la columna, se realiza un lavado y regeneración de los filtros. Los metales son removidos del filtro por un proceso de desorción inducido con pH. Para ello se hace pasar hidróxido de sodio (5%) por el lecho, seguido de ácido sulfúrico (1%).

El agua residual es conducida a un sedimentador. Los sólidos se asientan rápidamente y forman el lodo, cuyo volumen suele encontrarse en un 5% del volumen de regenerante utilizado.

El líquido sobrenadante puede alcanzar distintas concentraciones de As según el tipo de las aguas utilizadas, estimándose una media de 0.02 mg/l de As.

Con esta técnica se logra la remoción de aprox. 75 % de As en aguas. Este valor depende de la frecuencia de regeneración. Para obtener los mejores resultados se realiza la filtración con dos o más filtros colocados en serie.

Presenta la ventaja de trabajar en presencia de altas concentraciones iónicas de fondo, excepto en presencia de altas concentraciones de fosfatos, que reducen considerablemente la capacidad de adsorción del As. Se aconseja su uso para la

remoción de As en aguas blandas, con alto contenido de sulfatos o cloruros, para las que no son efectivas otras técnicas.

En California se realizaron varios estudios en el que se utilizaron la coagulación convencional, que se realiza con sales metálicas, sulfato de aluminio o cloruro férrico, junto con polímeros catiónicos para mejorar los resultados. En la mayor parte de los casos se comprobó que el cloruro férrico es mucho más efectivo que el sulfato de aluminio. El porcentaje de remoción de arsénico suele ser independiente de su concentración inicial.

No siempre existe correlación entre la remoción de turbiedad y la remoción de As, sin embargo, para una buena remoción del arsénico es un prerrequisito una buena remoción de turbiedad.

La remoción con sulfato de aluminio depende del pH. La mayor remoción de As (V) se obtiene para $\text{pH} < 7,0$, en cambio la eficiencia de remoción con cloruro férrico parece ser independiente del pH en el rango de 5,5 a 7,0.

En fuentes subterráneas, donde el agua es de mejor calidad, el tratamiento convencional no es recomendable por la complejidad de la operación, la cantidad del coagulante, los volúmenes del lodo producido y el costo de la planta. En estos casos, por lo general, el intercambio iónico o la adsorción sobre la alúmina activada resultan más factibles.

Estos procesos son altamente costosos aún para el tratamiento de pequeñas cantidades de agua, por lo que deben buscarse alternativas factibles de aplicación en pequeños sistemas de abastecimiento.

b. Coagulación con Alúmina activada.

Esta técnica también se trata de un proceso de adsorción/filtración, en la cual se utiliza hidróxido de aluminio.

Alúmina activada es una forma granulada de óxido de aluminio que ha sido tratada térmicamente (calentamiento a 800°C). Posee, según su proceso de producción, un área superficial de 200-300 metros cuadrados por gramo. Absorbe con gran eficiencia químicos inorgánicos. En el tratamiento de aguas para consumo se utiliza para la remoción de fluoruros, arsénico, ácidos húmicos

En el proceso de filtrado se hace pasar agua que contiene al contaminante a través de un cilindro o contenedor de alúmina activada. La alúmina adsorbe el contaminante y el agua tratada puede ser utilizada como agua de bebida.

Para que la adsorción sea efectiva es necesario reducir el pH a un rango óptimo. Al ser tratada con una solución ácida, la alúmina se carga positivamente y adsorbe selectivamente a los aniones en solución; en el caso del As, adsorbe a la especie H_2AsO_4

- La mayor capacidad de adsorción para el As se da en con pH entre 5.5 y 6.5. Para lograr el descenso del pH es necesario

la adición de ácido, lo que lo hace un método problemático para sistemas pequeños, ya que debería supervisarse esta acción para no producir un cambio problemático en la química de las aguas. Por otra parte, los dispositivos pueden acumular microorganismos, principalmente bacterias, por lo que el agua tratada

puede presentar mayor concentración de microorganismos que el agua cruda si no se realiza una desinfección posterior.

La tecnología es efectiva cuando se trata agua con alta cantidad de sólidos disueltos (TDS). No obstante, fosfatos y el selenio, flúor, cloro y sulfato en menor medida, si se encuentran presentes en niveles altos, pueden competir por los sitios de adsorción. La presencia de iones calcio mejor la adsorción del As porque carga positivamente la superficie de la alúmina.

Por tratarse de un método muy selectivo hacia el As(V), esta fuerte atracción resulta en problemas para la regeneración, posiblemente llevando a una pérdida del 5 al 10% de capacidad de adsorción en cada marcha de tratamiento.

El contenedor de la alúmina debe ser sustituido periódicamente si no se la regenera. Es importante determinar cuando la capacidad de remoción del contaminante ha sido agotada. Una vez que la alúmina ha absorbido la masa máxima de contaminante, el filtro tenderá a liberar contaminante en lugar de removerlo.

El uso de esta técnica con regeneración de la alúmina en el mismo contenedor constituye una opción sólo para establecimientos grandes. Es necesaria la presencia de personal entrenado para realizar los procesos de regeneración. Luego de la circulación de un volumen predeterminado de agua a través del medio adsorbente, el tanque que lo contiene debe ser lavado, regenerando la alúmina con soda cáustica. Luego se lleva a cabo el enjuague y la neutralización con ácido. Por último debe volver a ser enjuagado con agua. La regeneración no es económicamente conveniente.

c. Corrección de aguas superficiales por coagulación con sulfato ferroso de cloro.

El coagulante principal es el sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), por ser más económico que otros. Los flóculos generados son muy densos y sedimentan fácilmente, razón por la cual el tamaño de los tanques de sedimentación puede reducirse notablemente.

Se puede trabajar con aguas turbias, poco coloreadas, duras y que coagulen en un rango suficientemente amplio de pH.

Tiene como ventajas ante el sulfato férrico, su mayor solubilidad y que en presencia de aguas muy bicarbonatadas (arsenicales), queda menos cantidad de hierro en disolución.

Se utilizan como oxidantes cloro o hipocloritos (para pasar de hidróxido ferroso que tiene poca capacidad de adsorción a hidróxido férrico) porque aseguran la completa oxidación y simultáneamente ayudan a la desinfección del agua.

El sulfato ferroso con cloro va a formar una mezcla de cloruro férrico y sulfato férrico (caparrosa clorada):



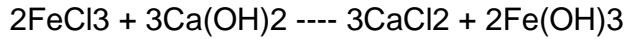
(1 mg de sulfato ferroso requiere 0.23 mg de cloro para oxidarse)

El cloruro ferrico en presencia de agua se descompone por hidrólisis:

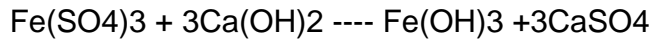


Formándose el hidróxido de hierro insoluble, responsable del proceso de adsorción.

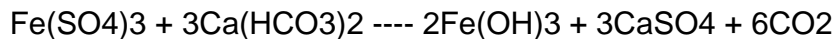
Si al mismo tiempo se añade cal:



Por su parte el sulfato férrico reacciona de una de las dos formas:



O a expensas de los iones carbonatos ácidos presentes en el agua



A medida que se aumenta el pH del agua, la adsorción del As disminuye, indicando que una prealcalinización sería contraproducente. Esto está de acuerdo en primer lugar con el hecho de que el pH de coagulación del sulfato ferroso clorado está comprendido entre valores de 6.5 y

8.0 a diferencia del sulfato ferroso solo que requiere valores de pH entre 9 y 11. Por otra parte quedaría demostrado además que a pH elevado la desadsorción del As por el coágulo de óxido de hierro hidratado es mucho más rápida.

La corrección de pH del agua, siempre es preferible realizarla posteriormente a la coagulación dado que si se prealcalinizara, sería necesario agregar una mayor cantidad de coagulante, ya que al aumentar el pH la adsorción de As por el coágulo de hidróxido de hierro disminuye.

d. Corrección de aguas arseniacales utilizando sulfato de aluminio.

El uso de sulfato de aluminio es aplicable en aguas cuyas concentraciones de arsénico no sean muy elevadas, ya que la capacidad de adsorción del gel de hidróxido de aluminio es tres veces menor que la del gel de hidróxido de hierro y que coagulan bien con pH entre 5.0 y 7.5.

En el caso de aguas poco alcalinas es necesario el agregado de carbonato de sodio o cal. Aguas de escasa mineralización coagulan mejor en un rango de pH de 5.7 a 6.6, las ligeramente alcalinas entre 6.4 y 7.2 y las muy alcalinas entre 7.2 y 7.8.

e. Corrección de aguas arsenicales utilizando sulfato de manganeso y cal.

Con la formación de un precipitado de hidróxido de magnesio a expensas de sales de magnesio, llevando el pH del agua aproximadamente a 12, es posible fijar o eliminar el As contenido en el agua.

Es importante recordar que cada tipo de agua presenta un problema diferente al encararse el proceso de coagulación. Se deberá tener en cuenta la elección del coagulante más apropiado, dosis y reactivos necesarios para cada uno de ellos en particular.

La EPA aconseja el uso de unidades de coagulación / filtración para los tratamientos generales de aguas, destacando que no se trata de un método

aconsejable para tratar específicamente el As. Esto se debe principalmente a la preocupación por la disposición de los barros, que pueden entrar en la categoría de residuos peligrosos. Sin embargo, en general la concentración de As en ellos es inferior a la concentración límite de 5 mg/l de As (EPA), regulada por la ley, para considerarlos residuos peligrosos.

f. Intercambio Iónico.

Este método puede remover fácilmente el arsénico. Al considerar su aplicación para la remoción de As es importante tener en cuenta que efectos de competencia entre iones ocurrirán y hasta que punto puede ser reciclada el agua residual (se trata de una solución saturada de sales).

Existe una secuencia en la selectividad para el intercambio de determinados iones. Los sulfatos, sólidos disueltos, selenio, flúor y nitratos compiten con el arsénico y pueden afectar la eficiencia de la marcha de intercambio. Aguas crudas conteniendo niveles de sulfatos mayores a 120 mg/l y niveles de TDS superiores que 500 mg/l no son adecuadas para el tratamiento de intercambio iónico. Aguas con altos niveles de hierro o TDS pueden ser sometidas a un pretratamiento.

El tratamiento con series de columnas podría mejorar la capacidad de retención de arsénico y permitir una menor frecuencia de regeneración. Se debe tener en cuenta que los sólidos disueltos y el hierro precipitado pueden causar taponamiento de la columna. _

El intercambio iónico es un método de tratamiento de “punto de entrada” comúnmente utilizado en hogares y establecimientos mayores.

Inicialmente se inyecta un oxidante, como por ejemplo cloro, para asegurar la oxidación de As trivalente a As pentavalente. Un tanque de retención permite el adecuado tiempo de contacto entre As y el oxidante.

Dado que la resina aniónica es envenenada con cloro, hierro, manganeso y con la mayoría de sustancias orgánicas que pueden encontrarse presentes en el agua, debe removérselos previamente con un filtro GAC (carbón activado granulado), que los adsorbe.

El paso final es la instalación de una unidad intercambiadora de aniones de base fuerte de tipo II. Generalmente se trata de resinas de poliestireno. En ella es removido el As, junto a sulfatos, nitratos y nitritos. La regeneración se realiza con cloruro de sodio. Los períodos de tiempo entre regeneraciones consecutivas se calculan utilizando los parámetros utilizados en los sistemas de remoción de nitratos.

La regeneración del medio se calcula en 10 libras de sal por pie cúbico de resina. Durante la regeneración del lecho de resinas se produce una solución residual, que podrá presentar una alta concentración de As y otros contaminantes. Puede presentar altos costos para ser tratada o dispuesta.

A partir de diferentes investigaciones se ha llegado a la conclusión de que la solución residual puede ser reutilizada como regenerante hasta 25 veces para minimizar el volumen de residuo generado.

Una vez instalado, el costo de operación para la mayoría de tipos de aguas es bajo. La reducción del As es de 95-97%.

Debe tenerse en cuenta que no se obtiene ningún efecto de ablandamiento del agua al utilizar resinas aniónicas. Solo se logra la remoción de arsénico, nitratos y nitritos.

g. Osmosis Inversa.

Si dos líquidos con diferentes concentraciones de sales en solución son separados mediante una membrana semipermeable, se observa que el solvente de la solución más diluída pasa a través de la membrana hacia el compartimento con la solución más concentrada. La diferencia de altura de la columna hidrostática generada por este pasaje, es el valor correspondiente a la presión osmótica. Si se aplica a la solución concentrada una presión

ligeramente superior a la presión osmótica, se invierte el sentido del flujo del solvente a través de la membrana. En la práctica hace falta aplicar una presión entre 5 y 20 veces superior a la presión osmótica. Este proceso es el llamado de ósmosis inversa o hiperfiltración (OI).

La presión osmótica está directamente relacionada con la concentración de la solución considerada, según la ley de Raoult. La presión aplicada en el proceso de OI depende de la concentración de la solución a tratar. Comúnmente se encuentra en el rango de 14 a 65 atm.

Las membranas constituyen el medio encargado de efectuar la separación de soluto del solvente en el que se halla en solución. La primera condición que se le debe exigir es un alto poder

separador, lo que se llama “rechazo de membrana” que indica la relación entre la concentración del contaminante del agua tratada y la concentración del mismo en el agua sin tratar. Las membranas utilizadas son del tipo asimétricas, con diferencias en sus caras por fabricación.

Poseen una capa densa microporosa que rechaza del soluto a la vez que limita el flujo del solvente. Tiene una capa soporte esponjosa de poro mucho más abierto. Se suelen fabricar, según el sistema de OI, de diferentes materiales poliméricos, como acetato de celulosa y poliamidas.

Los módulos de OI son el conjunto constituido por la membrana semipermeable, el soporte semipermeable y el colector de líquido permeado. La finalidad del soporte es conferir resistencia mecánica. En etapa comercial se encuentran diferentes opciones de diseño: tubular,

placa-marco, espiral y fibra hueca. Los módulos son dispuestos comúnmente en serie. La recuperación de agua ronda 75 %, según la salinidad del agua cruda.

La planta de tratamiento está dividida en tres secciones.

1) *Sección de pretratamiento*: es fundamental en lo que hace al mantenimiento y rendimiento de la planta. Tiene una alta influencia en los costos de instalación y operación. Los reactivos utilizados son ácido sulfúrico y sustancias antiincrustantes,

para evitar la taponación de las membranas con partículas y sustancias adsorbidas.

Las membranas retienen mejor al As (V), por lo que es conveniente realizar una oxidación previa.

2) *Sección de sistema hidráulico y de bombeo*: Significa el mayor costo de instalación.

Los equipos de bombeo deben proveer la presión necesaria para un caudal adecuado. Las bombas utilizadas son muy costosas.

3) *Sección modular o separador*: Conjunto de módulos ordenados para obtener una producción determinada (caudal, calidad)

Un aspecto importante es la recuperación obtenida= caudal producido/ caudal de alimentación. Actualmente se supera el 60% de recuperación dado que se recicla el concentrado y se vuelve a procesar.

La ósmosis inversa es la técnica más utilizada en Argentina para la eliminación de As del agua de consumo.

A través de ella se logra mejorar la calidad general del agua, en casos donde la sola remoción del As no la haría potable.

Este tratamiento ha probado eficiencias de remoción de As y otras sales mayores del 95 al 99.5 % (y aún mayores) cuando se opera a presiones ideales. Esto permite mezclar aguas tratadas con agua cruda para el consumo, sin que se superen los valores de As permisible.

La remoción de As mediante OI presenta problemas al tratar aguas de alta salinidad.

Un problema es que la baja recuperación de agua puede llevar a un incremento de la necesidad de agua natural. El agua salina de desecho también es un factor de preocupación. La implementación a pequeña escala de este proceso puede llevar a que sea necesaria la optimización de la recuperación del agua debido a la escasez de la misma, lo cual puede desembocar en un aumento del costo del tratamiento de aguas con arsénico.

h. Electrodialisis por Inversión.

Se trata de un método nuevo, aceptado para la remoción del As. Puede llegar a eficiencias de tratamiento del 80%, pero si se realiza el reciclado de las soluciones residuales, se alcanzan valores más elevados.

Tiene costos de operación altos debido al uso de energía.

Las ventaja que presenta es que se trata de una técnica generalmente automatizada, por lo que puede considerarse apropiada para sistemas pequeños.

i. Nanofiltración.

Las membranas de nanofiltración tienen un tamaño de poro que se encuentra entre los 0.001 y 0.005 micrones. Debido al pequeño tamaño, puede remover tanto As (III) como As (V).

Al igual que las otras técnicas, la remoción es más efectiva en el caso de la especie pentavalente. Como consecuencia también del reducido tamaño de poro

suele producirse el taponamiento de los mismos con más facilidad que en las membranas de micro- o ultrafiltración (ósmosis inversa). La aplicación de esta técnica para aguas superficiales requiere de un extenso pretratamiento para la remoción de partículas.

Como ventaja hay que mencionar que la nanofiltración puede ser llevada a cabo a presiones menores que la ósmosis inversa, lo que se traduce a menores costos de mantenimiento y operación.

Por medio de la nanofiltración se han logrado reducciones del nivel de arsénico del orden del 65%, trabajando con una recuperación de agua del 65%. Un estudio reciente demostró que la eficiencia caía drásticamente en las pruebas de planta piloto al intentar aumentar los volúmenes de recuperación. Por lo tanto hay que considerar al tema de recuperación de agua como un gran problema si se implementa su uso en regiones con escasez de agua.

j. Unidades de punto de uso (POU), para pequeños consumos.

Una unidad POU es una unidad de tratamiento que se aplica al agua de red cuando esta ingresa a una casa o edificación con el propósito de eliminar o reducir contaminantes del agua potable que se distribuye en la casa u edificio. Una unidad de tratamiento POU es una unidad de tratamiento que se aplica al lugar de uso del agua en el edificio o casa, como lo es una canilla.

Esta tecnología también tiene como fin reducir el nivel de contaminantes del agua en ese punto, en esa canilla. Las unidades POU son típicamente instaladas en la canilla de la cocina.

Los métodos POU pueden probar ser muy útiles, efectivos y baratos en lo que concierne al tratamiento de aguas con arsénico. Pocos estudios han sido efectuados, pero se ha llevado a cabo un estudio en el pueblo de San Isidro, Nuevo Méjico, EE. UU. El estudio se llevó a cabo para determinar si un tratamiento POU de ósmosis inversa era viable y funcionaba satisfactoriamente en vez de una central de tratamiento para remover arsénico y flúor del agua

para consumo en esta pequeña comunidad rural de unas 200 personas. Una unidad RO, un tipo común de aparato POU, es un sistema de membranas que rechaza compuestos basándose en sus propiedades moleculares y las características de la membrana de ósmosis inversa. Esta tecnología es capaz de eliminar el 86% del arsénico total. En general, pueden usarse para el tratamiento de contaminantes inorgánicos, compuestos orgánicos sintéticos y radionúclidos, pero no para compuestos orgánicos volátiles, ya que no cubren todas las formas de exposición a los mismos.

Estas tecnologías aun son consideradas emergentes, debido al problema de la disposición de los residuos que generan, y los costos involucrados. Las unidades POU de ósmosis inversa (POU-RO) y/o intercambio iónico (POU-IX) han probado tener costos accesibles para el tratamiento de arsénico (como así para otros metales como el plomo, antimonio, bario, berilio, cadmio, cromo, cobre, flúor, selenio y talio). Los conceptos de construcción de estas unidades están basados en los modelos de depuración centralizada que también hemos descripto, solo que en las unidades POU/POE están reducidos en escala. En general, el tema de los

desechos de unidades POU-RO no es de importancia. Estas unidades necesitan un medio para descargar agua de desecho al colector o drenaje; el agua en general estará suficientemente diluida como para poder realizar esta descarga.

Ventajas del uso de unidades de punto de uso (POU):

- Adoptar un sistema de tratamiento POU/POE en comunidades pequeñas requiere más capacidad de almacenaje de datos para monitorear los aparatos individuales, que un tratamiento centralizado.
- Cuando las unidades POU se entregan en concesión, programas para períodos prolongados de uso, mantenimiento, y monitoreo deben ser efectuados por el proveedor para asegurar el correcto funcionamiento.
- Los sistemas POU/POE requieren regulaciones especiales referentes a las responsabilidades del usuario, responsabilidad en el manejo del agua, y del uso de agua por parte de las instalaciones individuales domésticas de cada casa, conectadas al aparato.

Unidades de alúmina activada (AA).

Las unidades de alúmina activada (AA) se usan en general para la remoción de flúor, pero son aplicables también al arsénico. Como la mayor capacidad de adsorción ocurre entre pH 5.5 y 6.0 para el arsénico, y no se ajusta el pH en unidades POU, la eficiencia no será óptima.

Esto implica que la capacidad de intercambio/adsorción de la alúmina activada se alcanzará en un menor tiempo, y el cartucho usado deberá ser reemplazado más a menudo.

Unidades de intercambio iónico.

En este tipo de unidades, es importante advertir al consumidor sobre los potenciales efectos sobre la salud. Como las unidades POU no tratan todas las canillas de agua de una casa, existe un riesgo potencial para la salud, para aquellos residentes que tomen agua no tratada. Los residentes deben ser informados acerca de la importancia de cumplir con los tiempos de reposición de cartuchos, filtros, y módulos de la unidad. El uso de la publicidad como medio para llegar a la gente, para advertir y enseñar acerca del uso de esta tecnología, podría generar costos que se reflejaran en el precio de las unidades y que hiciera de ésta una tecnología menos atractiva.

Unidades de jabones de hierro.

Aquí se expone un método que carece de esas limitaciones, dada su simplicidad operativa.

Aquí se propone el uso de jabones de hierro (sales grasas), como único reactivo para la remoción del arsénico.

Las sales grasas, jabones metálicos, en particular las correspondientes a los ácidos grasos superiores presentes en los aceites y grasas más comunes, con cationes trivalentes, son altamente insolubles. Es sencillo verificar la capacidad de

desplazamiento de los catiónes alcalinos o alcalinotérreos de sus jabones por los iones Fe (III) o Cr (III).

El procedimiento que pasará a describirse seguidamente obedece al motivo expuesto de ofrecer una técnica absolutamente simple y factible de implementarse en las condiciones de mayor precariedad. Por lo tanto, no debe en absoluto ser considerado como una limitación en las posibilidades de empleo del estearato de hierro como producto de corrección, saneamiento o purificación de aguas.

- En estas experiencias se utilizó el estearato de hierro (III) obtenido a partir de estearato de sodio y FeCl_3 en cantidades estequiométricas.

- En base al comportamiento esperado del reactivo para el secuestro de Arsénico soluble se considera como razonable la proporción desde 333/1 $[\text{Fe}^{3+}/\text{As}]$, hasta diez veces menos; es decir 33/1 de la misma reacción.

Cada muestra de un litro de agua se coloca en un envase plástico con capacidad para 2 litros, se agrega la cantidad establecida de reactivo y cerrado el envase se agita manualmente el contenido del mismo, sacudiéndolo durante un minuto.

En estas circunstancias el reactivo se distribuye homogéneamente en todo el volúmen.

Luego de un reposo de un par de minutos, se filtra a otro envase similar utilizando un embudo con un pequeño trozo de algodón colocado como material filtrante. Se debe utilizar un embudo de vástago adecuado que proporcione una velocidad de filtrado alta.

Terminado el escurrimiento el reactivo se retira del embudo junto con el algodón, cuidadosamente para evitar que queden restos. Este material (que no debe reutilizarse) debe ser almacenado en un recipiente que garantice la evaporación para disminuir peso y volúmen (por ejemplo, tapado con tela). El reprocesamiento de este residuo (peligroso por su contenido en arsénico) pertenece al ámbito de la industria química especializada.

Cantidades de arsénico de hasta 0,377 mg/L tratadas con relaciones de hierro, entre 300 y 100, que no constituyen una masa ni volumen exagerado, partiendo de un producto de hidratación adecuada, reducen el contenido de As en agua a niveles de alrededor de 0,010 mg/L. mediante una única operación.

Niveles de arsénico superiores a 0,775 mg/L se tratan más cómodamente con dos operaciones: una primera donde la relación no supere la de 50 a 1, garantiza la remoción de un 70% mínimo del As presente, y en una segunda operación nos hallamos en el caso anterior. Esto evita tener que utilizar grandes cantidades de reactivos.

El producto propuesto reúne condiciones muy especiales que se agregan a su efectividad. Es inocuo y atóxico, de sencillo manipuleo, no se generan lodos por su empleo, su confinamiento una vez utilizado no reporta cuidados especiales, no permite el reingreso del contaminante por regeneración en el lugar, el residuo es incinerable, y es factible la recuperación del As del mismo. El proceso tiene la ventaja de no aportar carga salina a las aguas tratadas; al contrario, la naturaleza del reactivo/filtro hace que los sólidos y sales totales del sistema acuoso en tratamiento puedan reducirse en condiciones adecuadas de uso. El proceso se adapta perfectamente al uso combinado con otros tratamientos y/o reactivos o en su reemplazo.

Si bien algunos sistemas acuosos naturales pueden presentar un grado de complejidad elevado, es dudoso el surgimiento de incompatibilidades serias.

9- Desventajas de los métodos de tratamiento.

A continuación presentamos un resumen de los problemas principales presentados por las diferentes tecnologías aplicables a la eliminación o reducción del arsénico en las aguas de consumo.

Coagulación, filtración y ablandamiento con cal

- . No es apropiado para la mayoría de los sistemas a pequeña escala. Altos costos, necesidad de operarios bien entrenados, y variabilidad en la eficiencia del proceso.
- . Los químicos requeridos para la regeneración y ajustes de pH pueden ser difíciles de manejar para sistemas pequeños.
- . La coagulación/filtración y ablandamiento por cal, por sí solos, pueden llegar a no alcanzar los niveles establecidos, por lo que el intercambio iónico puede llegar a ser una buena opción para pulir los resultados.
- . La disposición de los lodos de tratamiento puede generar problemas. Puede crear flujos de descarga/desecho excesivamente concentrados.
- . La química de ablandamiento puede ser muy compleja para pequeños equipos
- . La operación y mantenimiento de alimentadores de cal y líneas transportadoras de barros de cal puede ser muy compleja para sistemas pequeños.
- . En el ablandamiento con cal, hay un potencial para la precipitación de cal en exceso en colchones de filtración y formación de carbonatos de calcio dentro de los filtros

Alúmina activada.

- . Escasez de alúmina F-1. Los ensayos con sustitutos no han rendido iguales resultados que los obtenidos con alúmina F-1.
- . Los requerimientos de manipulación y uso de químicos de este proceso pueden convertirlo en muy complejo y peligroso para pequeños sistemas.
- . Este método puede llegar a no ser eficiente a largo plazo, ya que parece perder capacidad de adsorción significativamente con cada regeneración.
- . La disposición final de los subproductos, principalmente los efluentes de salmuera, pueden generar problemas.

Intercambio Iónico.

- . El agua rechazada presenta una concentración de contaminantes muy alta. Su disposición puede presentar problemas. El reciclaje de este subproducto puede reducir el impacto.
- . Los niveles de sulfatos afectan la eficiencia del proceso.
- . Útil para pequeños sistemas de agua subsuperficial con pocos sulfatos y TDS, y como un tratamiento secundario para la filtración y otros métodos más efectivos.

Osmosis inversa y nanofiltración.

- . Los costos de instalación son elevados.
- . El rechazo de agua (15-20% del caudal afluente) puede generar problemas en zonas de escasez de agua, y hasta obligar al reciclaje, incrementando costos.
- . El agua rechazada presenta una concentración de contaminantes muy alta. Los mismos pueden ser de 10 a 50 veces más concentrados que el agua cruda.
- . Las membranas retienen también carbonatos de calcio y magnesio y sulfatos que producen mal olor.
- . Las concentraciones en agua cruda de sulfato mayores a 25 mg/l inhiben el funcionamiento de las membranas.
- . La clorinación deteriora las membranas.

Electrodialisis.

- . El rechazo de agua (15-20% del caudal afluente) puede generar problemas en zonas de escasez de agua, y hasta obligar al reciclaje, incrementando costos.
- . Puede no ser competitivo respecto de los costos y eficiencia, comparado a los sistemas de ósmosis inversa y nanofiltración, si bien es más fácil de operar.

10. Disposición y tratamiento de los lodos residuales.

Los residuos con As son difíciles de manejar, ya que no es posible la “destrucción” del material. La norma nacional argentina para desagües cloacales establece una concentración máxima para el As de 0.5 mg/l.

Los lodos residuales obtenidos en las plantas de tratamiento deben ser deshidratados, or ejemplo en lechos de secado. Luego se realiza el test estándar de lixiviado. Si lo pasan, pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios.

Los lodos con concentraciones de As mayores a 5 mg / l *1 entran en la categoría de residuos peligrosos. Si el residuo tiene concentraciones que se encuentran por encima de este valor, deberá ser llevado a tratamiento, en el que pueda convertirse al arsénico a una forma que pueda ser dispuesta de manera segura. Para ello debe realizarse la estabilización, inmovilización /o encapsulación del mismo. Es un punto clave en esta instancia determinar si los residuos pueden ser tratados directamente para disposición final (estabilización) o si se debe realizar un retratamiento previo (inmovilización, encapsulación). Esto último es necesario cuando la concentración de As en el residuo supera los 50 mg/kg de residuo*2, algo que no suele ocurrir en los residuos obtenidos en las plantas de tratamiento.

*1: Estados Unidos.

* 2: norma de Australia.

Se presenta como una alternativa la recuperación del As del residuo por un proceso de extracción y su reutilización en la preparación de productos con base de As. En la práctica es todavía poco viable.

La disposición de los coagulados contaminados con arsénico de los métodos de

Coagulación / filtración o ablandamiento por cal puede ser causa de disputas. Para grandes plantas de tratamiento, un gran cuerpo de agua probablemente necesitaría descargar los efluentes de salmuera para las tecnologías de ósmosis inversa y nanofiltración. Plantas de tratamiento continentales posiblemente necesitarían algún pretratamiento antes de la descarga al colector cloacal debido al incremento en salinidad. La descarga a cloacales puede requerir un pretratamiento para disminuir los niveles de arsénico. El efluente producido por las tecnologías de intercambio iónico y alúmina activada es una salmuera concentrada con altos niveles de TDS. Estos efluentes pueden también requerir algún pretratamiento antes de su descarga al colector pluvial, cloaca, etc.

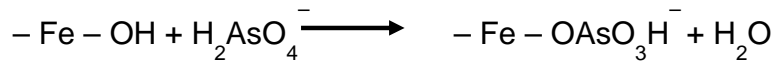
11. Filtro doméstico de arsénico.

Los sistemas de filtración tratan el agua al pasarla a través de materiales porosos como arena, roca y ladrillo para eliminar y retener contaminantes. Para la eliminación del arsénico, estos sistemas involucran múltiples cámaras de filtración que contienen medios especialmente preparados para eliminar el arsénico. Las especies de arsénico son componentes naturales de las rocas y el suelo, pero no contaminan el agua superficial, ya que se unen al hidróxido férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), un componente muy rico en el suelo. Pero debajo de la tierra, diferentes clases de bacterias reducen el ion férrico (Fe^{3+}) –uno de los dos iones que componen el $\text{Fe}(\text{OH})_3$: Fe^{3+} y OH^- — a un ion ferroso (Fe^{2+}), que es más soluble que los iones férricos y se separa del arsénico, volcándolo en el agua sub-superficial. El filtro funciona sin electricidad. Está compuesto de dos recipientes, uno arriba del otro. El cubo superior se llena con arena común de río y una composición matriz de hierro que sirve como activante para eliminar el arsénico. El cubo inferior contiene carbón vegetal para remover las impurezas orgánicas. Ambos cubos contienen arena fina de río y astillas de ladrillo para eliminar partículas finas y estabilizar el flujo del agua. El filtro se fabrica en Bangladesh, donde el arsénico es un problema grave, con materiales básicos locales y cuesta entre 35 y 40 dólares. Exige poco mantenimiento y dura al menos cinco años. Es también “ecológico” en el sentido de que no produce ningún desperdicio peligroso. Fue inventado por Abul Hussam, profesor de química en la Universidad George Mason, en el estado de Virginia, Estados Unidos. Lo probaron con éxito en laboratorios estadounidenses de la Agencia de Estados Unidos para la Protección Ambiental (EPA).

El agua ingresa primero al cubo de arriba, luego pasa por un material especial llamado compuesto de matriz de hierro, una combinación de hierro e hidróxido de hierro.

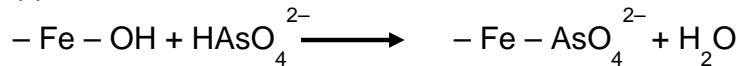
El manganeso en la matriz cataliza la transformación de la arsenita, que es más tóxica y la convierte en iones de arseniato. Estos iones se unen y forman una superficie de partículas de hidróxido de hierro detallada a continuación:

\\



//

\\



En estas reacciones químicas, se observa cómo los iones arseniato se unen a grupos de oxidrilo (-OH) presentes en la superficie de las partículas de hidróxido de hierro, mientras que los átomos de hierro (Fe) se unen a átomos dentro de cada una de las partículas de hidróxido de hierro (por lo tanto, las líneas que se refieren a esas uniones se profundizan en cada partícula).

Cuando el agua corre por el segundo cubo, capas de arena y carbón vegetal eliminan las partículas de hidróxido de hierro sólido con su carga de arsénico adherido, junto con otras sustancias químicas que no fueron "atrapadas" en el filtro superior. El agua pasa por este segundo cubo y se acumula en un recipiente.

Implementación.

El usuario vierte agua en la cubeta superior que se llena con arena de río y una matriz de hierro compuesto. La arena filtra partículas gruesas e imparte estabilidad mecánica, mientras que la matriz de hierro compuesto elimina el arsénico. El agua se mueve entonces hacia una segunda cubeta donde se vuelve a filtrar a través de arena de río gruesa, después carbón de madera para eliminar materiales orgánicos, y finalmente a través de arena de río fina y astillas húmedas de ladrillo para eliminar partículas finas y estabilizar el flujo de agua. El agua limpia fluye después desde la segunda cubeta hacia el recipiente de agua.

Beneficios.

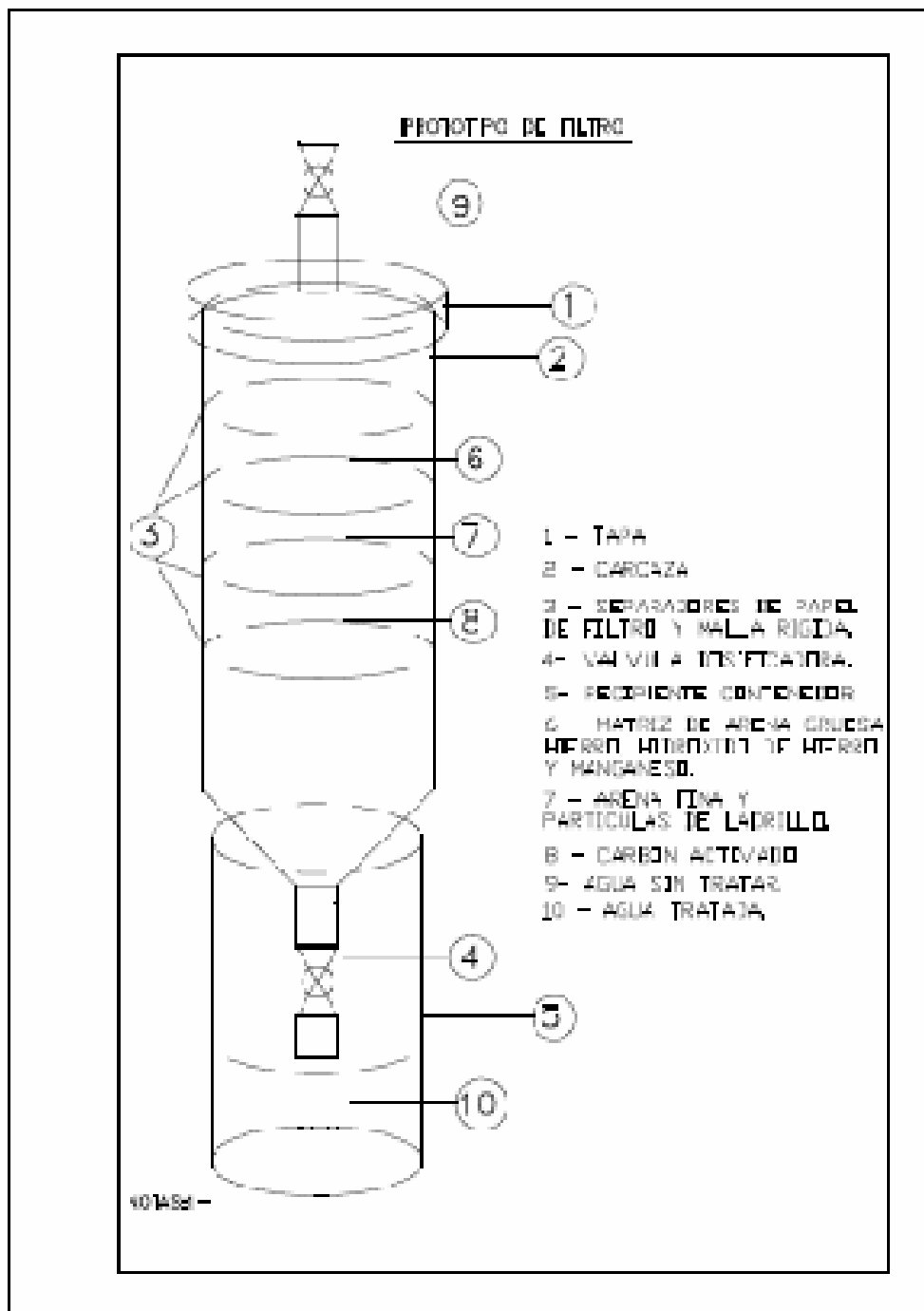
Eliminación eficaz del arsénico
Fabricado con materiales sencillos.

No utiliza productos químicos para la filtración
Produce 50 litros de agua limpia al día para el uso doméstico

Desventajas.

No es de uso fiable para eliminar patógenos
El usuario no puede determinar independientemente si es necesario el reemplazo

A continuación adjuntamos un esquema del prototipo del filtro planteado por este equipo de trabajo:



12.Conclusiones.

Con las técnicas de coagulación/filtración con sales de hierro se alcanzan resultados seguros y que satisfacen los niveles de As exigidos. Es el método

actualmente más utilizado y estudiado. La cantidad necesaria de reactivo (sal de hierro) depende del agua cruda a tratar, como también la filtrabilidad de los flóculos. También con el ablandamiento con cal se obtienen buenos resultados a pH superior a 10,5, alcanzándose los valores de As requeridos. Parecería aconsejable en caso de que se requiera una descarbonatación simultánea.

Para el tratamiento de aguas con As deben ser especialmente consideradas las instalaciones de adsorción/filtración, principalmente las que utilizan hidróxido de hierro como adsorbente. Tienen gran especificidad por el As y sus costos no son muy elevados. Se encuentran en uso comercial recién desde 1996.

Las instalaciones con membranas son apropiadas para la remoción de As. Debido a su bajísima especificidad producen la remoción de otras muchas sustancias presentes en el agua cruda, cambiando considerablemente sus propiedades químicas. Las salmueras residuales tienen una alta carga de As y deben ser sometidas a postratamientos. Como una solución a estos problemas se plantea un establecimiento combinado, en el que se extraiga el As de la salmuera mediante una adsorción optimizada con hidróxidos metálicos, y agregando la salmuera tratada al permeado inicial.

En la zona rural y en la periferia de Bahía Blanca y su influencia, debido al altísimo desarrollo urbanístico, donde no existe red de agua potable, mucha gente que posee perforaciones no puede utilizar esa agua para consumo humano debido a la presencia de arsénico, entre otros inconvenientes como por ejemplo la existencia de sales, cuyo análisis escapa al alcance del presente trabajo.

El filtro doméstico de arsénico puede llegar a ser una solución al problema planteado.

De más está decir que, del análisis de lo anteriormente expuesto, se desprende que si bien el tratamiento seleccionado parece sencillo, no cabe dudas de que se requiere seguir investigando y experimentando, dado que, de acuerdo a la bibliografía consultada, el método funcionaría satisfactoriamente.

Es de nuestro interés la construcción del prototipo para verificar su efectividad en cuanto a la retención del arsénico, para lo cual se requerirán análisis de laboratorio del agua antes y después del tratamiento, a fin de evaluar el porcentaje de eliminación del contaminante.

13. Bibliografía.

- www.ingenieroambiental.com.ar
 - Arsénico en acuíferos. Influencia en la salud. Autores: Susana Isabel Curto, Nora A. Mendiburo, Romina Plastina y Rolando Bofia.
 - Diagnóstico clínico del HACER por manifestaciones cutáneas en localidad de Graneros. Autor: José María Ildarraz. Septiembre de 2004.
 - Quinto Congreso Iberoamericano de Física y Química Ambiental. Mar del Plata Argentina. Abril de 2008.
 - Artículo Diario la Nueva Provincia de fecha 23 de agosto de 2007.
 - Membranas Cerámicas Para Tratamiento de Aguas con Arsénico. Autora Dra. María Marta Fidalgo de Cortalesi. ITBA.
 - Niveles de Arsénico y Flúor en agua de bebida anormal en establecimientos de producción lechera de Córdoba Argentina. Autor: Perez Carrera y Fernando Cirelli.
 - Un Hidrogel de Hidróxido de Aluminio para eliminar el Arsénico del Agua. Autor: Juan Carlos Luján.
 - Artículo “Un nuevo filtro de agua reduce la contaminación por arsénico en los suministros de Bangladesh” ADN.es/Mundo. 01 de enero de 2008.
-