

REDUCCIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN EL AGUA

Prof. Juan José Dessi⁽¹⁾; Co-autores: Mariela Soledad Ormeño⁽²⁾ y Dante Emanuel Ríos⁽²⁾. 2012.
⁽¹⁾biblioagro@yahoo.com.ar

⁽¹⁾⁽²⁾Escuela Agropecuaria Provincial N° 1, Gobernador Gregores, Santa Cruz, Argentina.
www.produccion-animal.com.ar

Volver a: [Agua de bebida](#)

RESUMEN

La porción de recursos hídricos que puede ser usada para satisfacer el consumo humano, es cada vez más escasa, que la convierte en un recurso vital. El arsénico es un elemento químico que se encuentra usualmente en el ambiente (agua, suelo) combinado con otros. Resulta ser un elemento de alta toxicidad, y los seres humanos pueden sufrir serias consecuencias debido a su contacto por medio de la comida, el aire y el agua, así como también, a través de la piel. El objetivo de este trabajo es lograr reducir las cantidades de arsénico en el agua para consumo humano mediante el proceso de fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio.

Las muestras de agua a tratar fueron obtenidas en un establecimiento a 200 km de la localidad de Gob. Gregores, latitud sur 48°44'46,3" longitud w 70° 18' 57,6". Las muestras procesadas fueron enviadas al laboratorio central de Servicios Públicos Sociedad del Estado en la ciudad de Rio Gallegos- Santa Cruz que utilizó el Método de Análisis "SM3500 C".

Según el Código Alimentario Argentino, se establece como límite: Arsénico (As) máx. en el agua: 0,0100 mg/l. En los ensayos realizados de este trabajo de investigación se establecieron los siguientes datos: Agua cruda valor de muestra: 0,1041 mg/l, Agua tratada con TiO₂, valor de muestra: 0,0298 mg/l. Se puede apreciar de esta manera que en el presente ensayo se logró reducir en un 70% aproximadamente el tenor de arsénico presente en la muestra de agua (de 0,1041 mg/l a 0,0298 mg/l).

INTRODUCCIÓN

La porción de recursos hídricos que puede ser usada para satisfacer el consumo humano, es cada vez más escasa, cuantitativamente y cualitativamente, la que la convierte en un recurso vital. Con lo cual surge la necesidad de ser reutilizada tanto en procesos industriales como en la agricultura.

Es así como en términos tanto de gestión de los recursos de agua disponibles como provisión del acceso de agua potable y saneamiento para la población mundial, el agua constituye un desafío mundial para el presente.

El agua es un bien social, un bien ambiental y un bien económico. El agua usada en procesos industriales, por ejemplo en la minería, puede ser reutilizada crecientemente por la sociedad, debido a la aparición de nuevos procesos que permiten eliminar los contaminantes que estas aguas han incorporado durante los procesos industriales.

Uno de los problemas más graves que enfrenta la utilización de agua subterránea y superficial es el contenido de elementos perjudiciales para la salud de quienes la consumen, como es el caso del arsénico.

Conociendo todos estos datos e información de trabajos realizados por especialistas en ingeniería ambiental, se busca en este trabajo, demostrar que es posible por medio de una metodología, como la Fotocatalisis heterogénea con TiO₂ (FH), buscar la manera de reducir el arsénico en agua. Realizándolo de una manera que no genera una inversión cuantiosa en cuanto a tecnología e infra estructura.

En diversas zonas de nuestro país los niveles de arsénico en el agua de consumo son altos, lo que ocasiona serios problemas de salud. La presencia de este elemento se debe principalmente a factores naturales de origen geológico.

MARCO TEÓRICO

En diversas regiones del país, la provisión de agua para consumo se ve seriamente dificultada por la existencia de agua con elevados contenido de arsénico, con lo que la hace tóxica para el consumo, pues este elemento químico se acumula en el organismo produciendo patologías hasta llegar al hidroarsenicismo crónico.

Según el ¹Código Alimentario Argentino, se establece como límite: Arsénico (As) máximo: 0,0100 mg/l.

¹ C.A.A. Capítulo XII Bebidas Hídricas, Agua, Agua Gasificada, Agua Potable. Art: 982

El agua se contamina cuando su composición o estado están alterado del tal modo que ya no reúne las condiciones adecuadas al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural (organización mundial de la salud O.M.S). La contaminación se puede dar de dos maneras:

- 1° habrá cambios nocivos resultantes de un acto humano que afecten la composición el contenido o la calidad natural del recurso (asociación de derecho internacional)
- 2° puede ser por efecto natural por medio de agua, viento etc.

El arsénico puede introducirse en el agua de dos maneras anteriormente mencionada. Se debe decir que este se encuentra naturalmente en el suelo, puede ser transportada por el agua y por sedimentación atmosférica, pero así también por uso excesivo de agua para procesos de industria (efluentes industriales), minería, fundición de metales, o así también en la agricultura (plaguicidas).

ARSÉNICO

El arsénico es un elemento químico presente en la naturaleza. Se encuentra usualmente en el ambiente (agua, suelo) combinado con otros elementos tales como el oxígeno, cloruros, sulfuros, se lo denomina arsénico inorgánico, en cambio cuando se los combina con carbono e hidrogeno se lo denomina arsénico orgánico.²

Este elemento es considerado como uno de los más tóxicos que existen. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) lo ha colocado en el “grupo 1” de los elementos productores de cáncer y la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. lo sitúa como el “Cuarto de los primeros 54 elementos con mayor potencia para producir cáncer (Grupo A).³

El As es un elemento químico minoritario en nuestro planeta, que se presenta bajo la forma química de As³⁺; As⁵⁺ fundamentalmente.

Todos los compuestos As tienen un cierto efecto toxico, pudiendo además experimentar fenómenos de bioacumulación que potencian su efecto negativo, se lo incluye como carcinógeno para el ser humano.

El arsénico resulta ser un elemento de alta toxicidad, y los seres humanos pueden sufrir serias consecuencias debido a su contacto por medio de la comida, el aire y el agua, así como también, a través de la piel.

Dentro de las comidas que lo contienen se encuentran los pescados y mariscos, sin embargo, se trata de un arsénico poco peligroso para la salud. El contacto con arsénico tóxico puede provocar la irritación del estómago y los intestinos, así como también una baja en la producción de glóbulos rojos y blancos. A medida que el contacto con el arsénico se eleva, aumentan las probabilidades de contraer cáncer a la piel, al hígado, al pulmón, y también a la linfa. Entre otras consecuencias, puede producir infertilidad y abortos espontáneos, problemas cardíacos, etc.

Esta naturalmente en el suelo de forma inorgánica. Es transportado por el agua. Entrara en contacto con el agua por medio de disolución natural de minerales la descarga de efluentes industriales y por sedimentación atmosférica.

Puede sufrir una variedad de reacciones en el ambiente influidas por las altas temperaturas y salinidad .en sistemas acuáticos existen apariciones de arsénico orgánico relacionadas con presencia de algas.

PROBLEMÁTICA A NIVEL ARGENTINA

En la Argentina, este problema involucra el 10% de la población, en dieciséis provincias; las más afectadas son Salta, La Pampa, Córdoba, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Santiago del Estero, Chaco y Tucumán.

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”.

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.

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.

² Lerda Daniel .Un Problema de Salud Pública “El Arsénico”. Municipalidad de Marcos Juárez y COYSPU Pág. 4.

³ Tischler Stephen. Agua Latinoamericana Volumen 7, N°2 .EPA Arsenic in Drinking Water

HIDROARSENISISMO CRÓNICO REGIONAL ENDÉMICO O H.A.C.R.E

Se define como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) a la enfermedad provocada por la ingestión continua de agua con contenidos de arsénico en valores superiores a los fijados por la Organización Mundial de la Salud⁴.

El HACRE, que afecta a las personas que viven en áreas donde la contaminación es alta y beben el agua en forma prolongada, se caracteriza por provocar alteraciones cardíacas y vasculares, alteraciones neurológicas, lesiones hepáticas y renales, repercusiones en el aparato respiratorio y lesiones cutáneas. Los trastornos característicos son el engrosamiento de palmas y plantas (queratodermia), la pigmentación aumentada del tronco y la aparición de cáncer cutáneo. También es frecuente el cáncer de pulmón y de laringe.

Nuestro país es uno de los más afectados por esta enfermedad, ya que las napas de los suelos de las provincias centrales están contaminadas por arsénico. Las causas son en su mayoría naturales y están relacionadas con el vulcanismo (durante la génesis de la cordillera de los Andes las cenizas volcánicas, ricas en arsénico, se esparcieron a lo largo del territorio contaminando el agua) y con la actividad hidrotermal asociada de la cordillera de los Andes. Sin embargo, aunque en menor escala, también existen aguas infectadas por actividades realizadas por el hombre: minería, fundiciones y el uso de herbicidas y plaguicidas que contienen arsénico.

DIÓXIDO DE TITANIO

El titanio es el noveno elemento más abundante de la corteza terrestre, en su forma de óxido puede encontrarse en tres formas cristalinas diferentes que son brookita (estructura ortorrómbica), rutilo (tetragonal) y anatasa (tetragonal).

La anatasa también conocida como octaedrita, el término anatasa significa extensión en griego, en alusión a la longitud de las caras piramidales, más las largas en relación a sus bases que las de otros minerales tetragonales tiene una dureza de 5,5 a 6, densidad de 3,9 g/cm³ y su exfoliación perfecta.

Por lo general es un mineral secundario (titanio). Se lo encuentra en las rocas ígneas y metamórficas.

Rutilo: es un mineral del grupo IV (óxidos), Es un óxido de titanio, que cristaliza de forma tetragonal distorsionada. Su densidad es de 4,25, dureza de 6-6,5. es transparente. su punto de fusión es de 2378,2 K.

La brookita: es un mineral con fórmula química TiO₂. Cristaliza en sistema rómbico, tiene dureza 5,5-6 en la escala de Mohs, exfoliación débil, brillo de adamantino, transparencia opaca

El dióxido de titanio es un óxido metálico semiconductor con propiedades fotocatalíticas cuando se presenta en presencia de luz ultravioleta. El dióxido de titanio es anfotérico, muy estable químicamente y no es atacado por la mayoría de los agentes orgánicos e inorgánicos

El dióxido de titanio se obtiene cuando se combina dos moléculas de oxígeno con el titanio. Reduce el vapor de agua para formar el dióxido e hidrógeno y reacciona de manera parecida con ácidos concentrados, aunque forma el tricloruro con ácido clorhídrico.

EFFECTOS DEL TITANIO SOBRE LA SALUD

Tiene un nivel bajo de toxicidad, se han experimentado con ratas expuestas al dióxido de titanio, por inhalación han desarrollado pequeñas áreas localizadas de polvo oscuro depositado en los pulmones.

Efectos de la sobre-exposición al polvo de TiO₂: la inhalación del polvo puede causar tirantez y dolor de pecho, tos y dificultad para respirar. El contacto con piel y los ojos puede provocar irritación.

CONCEPTOS QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA PARA LA FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

Banda de conducción: es el nivel de energía donde la atracción del núcleo del átomo sobre los electrones es más débil. ese nivel corresponde a la última orbita del átomo, la que puede compartir así sus electrones entre el resto de los átomos de un cuerpo. permitiendo que se desplacen por el mismo en forma de nube electrónica.

Cuando un átomo es excitado empleando luz, calor etcétera, alguno de sus electrones pueden absorber energía, saltar a la banda de conducción y desplazarse de una molécula a otra dentro de un cuerpo.

La conductividad: es la propiedad de los átomos de los metales que permite a los electrones que giran en su última orbita o banda de conducción desplazarse por su estructura molecular conduciendo calor o electricidad.

Semiconductor: a los materiales que tienen estas características, al excitar sus electrones pueden pasar a la banda de conducción y facilitar el flujo eléctrico, aunque siempre en un solo sentido.

Catálisis: es la alteración de la velocidad de una reacción química. producida por la presencia de una sustancia adicional, llamada catalizador, que no resulta químicamente alterada en el transcurso de la reacción. El

⁴ (Fuente: ver informe de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable: "Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE) en la Rep. Argentina").

proceso de fotocatalisis heterogénea se fundamenta en la transferencia de carga a través de la interfaz generada entre un catalizador (semiconductor) iluminando y una solución acuosa, es en esta interfaz donde se presenta una densidad de carga diferente a la del seno de ambas fases, originándose un campo eléctrico que actúa como fuerza impulsora el potencial de reducción de los huecos formado en la banda de la valencia del catalizador es termodinámicamente apropiado para oxidar cualquier tipo de molécula orgánicas.

Fotocatálisis heterogénea: permite la degradación, e incluso mineralización, de contaminantes orgánicos presentes en el agua o en el aire, básicamente mediante el uso de un semiconductor, una fuente de irradiación y la presencia de oxígeno en el medio de reacción.

Cuando se habla de fotocatalisis se hace referencia a una reacción catalítica que involucra la absorción de la luz por parte de un catalizador. se lo aplica en la resolución de los problemas de interés ambiental, como puede ser la depuración de agua, utilizando un semiconductor sensible a la luz como catalizador se habla de fotocatalisis heterogénea porque las fotorreacciones transcurren en la superficie del catalizador (en la interface liquido-solido).

Reacción global de fotocatalisis heterogénea:

Semiconductor



Este proceso se basa en la excitación de un solido fotocatalizador, sumergido en una solución, mediante la absorción de energía radiante (visible o UV), lo que ocasiona una oxidación y reducción en diferentes zonas de la región interfacial existente entre las dos fases.

El proceso consiste en generar pares de electrones – hueco en las partículas de semiconductor. cuando un fotón con una energía ($h\nu$) que iguala o supera la energía del salto de banda del semiconductor, (E_g) incide sobre este, se promueve un electrón e^- , de la banda de valencia (**B.V.**) hacia la banda de conducción (**B.C.**) generando un hueco h^+ , en esta ultima banda:

$h\nu$



Esta última es la ecuación de generación del par electrón hueco.

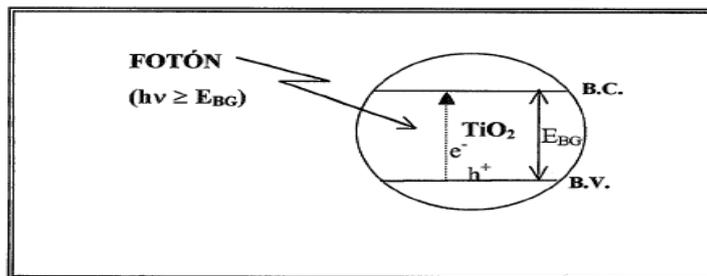
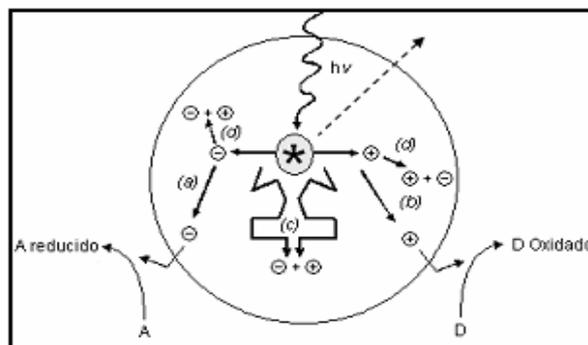


Figura 2.1. Irradiación del TiO₂ con luz UV

Al absorberse un haz de luz suficientemente energético, se crean pares hueco-electrón (h^+ , e^-).ellos deben migrar hacia la superficie y reaccionar con las especies absorbidas allí, siguiendo diferentes caminos. Es importante señalar que la recombinación es perjudicial para la eficiencia del proceso de fotocatalisis, dado que reduce el número de electrones y huecos que pueden ser transferidos a las especies absorbidas en la superficie del semiconductor.



Proceso que ocurren en la interfaz del semiconductor

REACCIÓN DEL CATALIZADOR CON EL AGENTE OXIDANTE

Si las aguas contienen iones, tales como metales nobles o pesados, los electrones pueden reducirlos a un estado de oxidación más bajo, e incluso precipitarlos como metales sobre el semiconductor.

Dado que el proceso completo implica por lo menos una reacción de oxidación y de reducción es necesario la presencia de ambos tipos de especies: oxidante y reductora.

PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE FOTOCATÁLISIS HETEROGÉNEA

PH: el pH es un factor que puede afectar tanto las propiedades superficiales del catalizador como la forma química del compuesto a degradar, lo cual se manifiesta en alteraciones de la velocidad de degradación y en la tendencia a desactivar el catalizador. El proceso de degradación es más eficiente en un medio ácido (3 a 5 de pH). Al aumentar el pH en la fase acuosa el poder oxidante disminuye y el poder reductor aumenta debido a la dependencia de los potenciales con la acidez del medio, esto puede afectar el proceso inhibiendo reacciones químicas determinadas.

Agente Oxidante: los agentes oxidantes generalmente son imprescindibles para la degradación del contaminante, ya que participan en la reacción de oxidación; estos son los responsables de una de las semirreacciones que se dan (captura de huecos) y cuanto más efectivo sea el agente oxidante para capturar huecos mayor será la velocidad del proceso.

Temperatura: cuando se aumenta la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto puede disminuir, por lo cual su disponibilidad en la reacción también lo hace. Se puede suponer que al existir un aumento en la temperatura los choques moleculares entre el contaminante y el semiconductor aumentan mejorando de esta manera la cinética de la reacción.

Separación del semiconductor: al final del proceso el semiconductor se encuentra en la disolución acuosa en forma coloidal, lo cual implica que se debe realizar una separación adicional, como es la filtración.

ENSAYO

MATERIALES:

- ◆ Botellas plásticas de PET⁵, corresponden a bebidas no alcohólicas (agua mineral, jugo y gaseosas) envasadas en la Argentina. Para los experimentos FH, se usó la botella de mejor transmitancia y más conveniente para el método.
- ◆ Dióxido de titanio comercial obtenido en negocios de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- ◆ Agua destilada para la preparación de todas las soluciones y lavados finales.
- ◆ Ácido Cítrico.: Timper industria Argentina.
- ◆ Peachímetro Hanna Instruments.
- ◆ Estufa de cultivo.
- ◆ Filtros: perfecto 2 superfiltro Milano, espesor 0,125 milímetros y diámetro de poro 20 a 25 micras
- ◆ Embudos y matraces.
- ◆ Agua a tratar.
- ◆ Frascos de 250 ml color caramelo.

MÉTODOS:

Pegado de TiO₂ al plástico de las botellas.

Se tomaron 6 botellas PET de 1500 ml, se las limpió con agua destilada y se las dejó secar a temperatura ambiente. Se enjuagó la mitad de cada una con una suspensión 10% m/V de TiO₂ a pH 2,7 (llevada a pH con ácido cítrico) reutilizándose el sobrante.

Luego se la dejó secar durante 10 a 15 minutos en estufa de cultivo a 55 °C. Finalmente, se lavó con agua destilada con fuerte agitación para eliminar el resto de TiO₂ que no se había fijado.

Las muestras de agua a tratar fueron obtenidas en un establecimiento a 200 km de la localidad, latitud 48° longitud 70°

Se colocó la muestra de agua problema en estas botellas así preparadas y se dejó al sol por 6 horas. La radiación en junio y en horas del medio día y primeras horas de la tarde ronda los 200 W/m².

El agua que se dejó al sol se la filtra varias veces, se usa papel filtrante, matraz y embudo.

El agua ya filtrada se lo introduce en un frasco.

Se rotula y se envía a laboratorio para su determinación.

⁵ PET: Polietileno Tereftalato. Material fuerte de peso ligero de Poliéster claro. Se usa para hacer recipientes para bebidas suaves, jugos y agua.

En otro frasco se deja una muestra de agua que no fue tratada como testigo del valor inicial del nivel de arsénico. Las muestras fueron enviadas al laboratorio central de Servicios Públicos Sociedad del Estado en la ciudad de Río Gallegos- Santa Cruz.

RESULTADOS

La empresa de Servicios Público Sociedad del Estado –Gerencia General-Laboratorio Central, fue la responsable de realizar los análisis necesarios para este trabajo de investigación. Utilizando el ⁶Método de Análisis “SM3500 C.

Agua Cruda	Agua tratada con TiO ₂
valor de muestra: 0,1041 mg/l	Valor de muestra : 0,0298 mg/l

Se puede observar que el valor de Arsénico en el agua tratada es un 70% menor al del agua cruda, dicha reducción es un valor interesante para poder seguir con las técnicas de remoción del arsénico en agua.

CONCLUSIÓN

Sobre la efectividad del TiO₂ para reducir Arsénico en agua, se pudo observar que logro una reducción de dicho metaloide ya que en agua cruda era de 0.1041 mg/l y dando con posterioridad en el agua tratada un valor 0,0298 mg/l, es decir que este método puede tener una aplicación satisfactoria.

BIBLIOGRAFÍA

- Angelini, M., Baumgartner, E., Benítez, C. y otros. Temas de química general. Segunda Edición, Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires,1998.-
- Brailovsky A. y Foguelman Dina. Memoria Verde. Buenos Aires,Sudamericana,1990.
- Cicerone, Daniel S., Sánchez-Proañó, Reich, Silvia. Contaminación y Medio ambiente. Primera Edición, Buenos Aires, Eudeba, 2005.
- Cuniglio Francisco, Barderi,María Gabriela, Bilenca, David N. Biología y Ciencias de la Tierra. Primera Edición,Buenos Aires, Editorial Santillana S.A.2005.
- Foguelman, Dina, Urda Gonzales, Elizabeth. El agua en Argentina. Buenos Aires, Programa Prociencia. CONICET, 1994., Kechichian, Graciela. AULA XXI Educación Ambiental: una propuesta para la acción en la escuela. Para saber hacer y saber por qué. Primera Edición, Buenos Aires, Ediciones Santillana, abril de 1997.
- Lerda, Daniel.Estudios ambientales en Marcos Juárez. Primera Edición, Córdoba, Editorial de la Universidad Católica de Córdoba,2005.
- Trigo, Liliana, Bachman, Lía. La problemática ambiental desde la Geografía. Aportes para una propuesta didáctica.Primer edición, Buenos Aires, Universidad de Buenos Aires, Extensión Universitaria, 1994.-
- PAGINAS de INTERNET
- Boletín informativo 30/01/2006.QuimiNet.com.Información y Negocios.
- www.monografias.com.Estudio sobre las posibilidades de aplicación de la fotocatalisis heterogénea a los procesos de remoción de fenoles en medio acuoso.
- UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA .PROGRAMA Y ESPECIALIDAD Y MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL.INFORME APLICACIÓN DEL DIOXIDO DE TITANIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL MÉTODO SODIS.
- El ANALISIS DEL ARSENICO. Autor: STEPHEN R. TISCHLER
- Pilar Fernández Ibáñez. TESIS DOCTORAL. Universidad de Almería. (Dpto. Física Aplicada). Plataforma Solar de Almería –CIEMAT.5 Diciembre del 2003.
http://www.cnea.gov.ar/pdfs/actividades_ambientales/Actas1%C2%BAREuni%C3%B3ncoordinacion100706.pdf
- Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos International Congress México City, 20-24 June 2006 Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America .M.L. Castro de Esparza .Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS) Urbanización Camacho, La Molina, Lima, Perú (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/remocion-agua.pdf>)
- INFORME APLICACIÓN DEL DIÓXIDO DE TITANIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL MÉTODO SODIS UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMON FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA PROGRAMA ESPECIALIDAD Y MAESTRIA EN INGENIERIA AMBIENTAL DOCENTE: MSc. OMAR ARCE. 2006(www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/documentos/aplicacionTiO2EnSodis.pdf)
- Reducción de Arsénico en agua Uso de un método doméstico Seminario . Docentes: Prof. Roberto Rodríguez Prof. Milena Echeverría . www.edutecne.utn.edu.ar/agua/Agua-Eliminacion_domestica_arsenico.pdf 2008.
- El Análisis del Arsénico . Stephen R. Tischler. www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/V7N2Tischlerpdf 2001.

Volver a: [Agua de bebida](#)

⁶.Los métodos son normalizados; extraídos del “Standard Methods,for the examination of wáter & Wastewater,21 St Edition.