

Arsénico total no deseado ante valores referenciales de ph en agua superficial, cuenca hidrográfica sama, región tacna-perú

Arsenic total not desired to referential values of ph in surface water, sama hydrographic basin, Tacna-Peru region

Dante U. Morales Cabrera^{*}; Edgardo Avendaño Cáceres; Daniel Zevallos Ramos; Julio Fernández Prado; Zoila L. Mendoza Rodas; Amparo Torres Ventura

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna - Perú. Correspondencia email: moralesdante@hotmail.com

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido 24-06-2017
Artículo aceptado 19-09-2017
On line: 27-09-2017

PALABRAS CLAVES:

arsénico total, pH,
agua superficial,
cuenca hidrográfica,
Tacna-Perú

ARTICLE INFO

Article received 24-06-2017
Article accepted 19-09-2017
Online: 27-09-2017

KEY WORDS:

total arsenic, pH,
surface water,
hydrographic basin,
Tacna-Peru

RESUMEN

El arsénico representa un peligro para los ecosistemas y la salud humana donde su biodisponibilidad inmediata en las aguas superficiales puede estar condicionado por parámetros físico-químicos como el pH. El propósito del estudio fue determinar las concentraciones de arsénico total ante valores de pH en el agua superficial de la cuenca hidrográfica-Sama, Región Tacna-Perú. Durante agosto y noviembre del 2016 como abril y junio del 2017 se realizó un muestreo probabilístico en cuatro puntos referenciales correspondientes a la estación de muestreo Sama Bocatoma-Tranca. Existieron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre las concentraciones promedio de arsénico total en cada mes (0.0731; 0,29835; 0,287 y 0.711 mg.L⁻¹) donde se superó el valor permisible por la norma ambiental de regulación utilizada (0,01 mg.L⁻¹). En el caso del pH, los valores se encontraron en el rango establecido y aunque fueron aceptados, debe limitarse el valor de uso sobre las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica, ya que presentaron concentraciones de arsénico total no deseadas, lo cual podría ser perjudicial, si fueron destinadas al consumo sin tratamiento eficiente para el ser humano y/o riego de cultivo en el desarrollo agrícola.

ABSTRACT

Arsenic represents a danger to ecosystems and human health where its immediate bioavailability in surface waters may be conditioned by physico-chemical parameters such as pH. The purpose of the study was to determine the concentrations of total arsenic at pH values in the surface water of the Sama basin, Tacna-Peru Region. During august and november of 2016 as april and june of 2017 a probabilistic sampling was carried out in four reference points corresponding to the sampling station Sama Bocatoma-Tranca. There were statistically significant differences ($p \leq 0.05$) between the mean concentrations of total arsenic in each month (0.0731; 0.299835; 0.287 and 0.711 mg.L⁻¹) where the allowable value was exceeded by the environmental regulation standard used, 0.01 mg.L⁻¹). In the case of pH, the values were found in the established range and although they were accepted, the use value should be limited to the surface water of the watershed, since they had undesired concentrations of total arsenic, which could be harmful, if they were destined to the consumption without efficient treatment for the human being and/or irrigation of culture in the agricultural development.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de las aguas en cuencas hidrográficas por metales, representan una gran preocupación ambiental (Dixit et al., 2015) donde la comunidad científica dedica diversos esfuerzos e interés, ya que no son biodegradables (Calderón et al., 2003; Qadir & Malik, 2011), pueden bioacumularse en organismos inferiores (Awrahman et al., 2015); y luego, biomagnificarse (Molina, Ibañez & Gibon, 2012), pudiendo ocasionar no solo efectos irreparables en la salud humana (Wang et al., 2015; Londoño, Londoño & Muñoz, 2016) sino además, influyen sobre la variabilidad físico-químicas con elevados costos ambientales sostenibles para su tratamiento (Argota & Iannacone, 2016), cuya predicción cuantitativa con relación a los daños ecotoxicológicos parece ser finalmente evaluado, a través de biomarcadores de uso permanente (Argota & Iannacone, 2017).

En el caso del arsénico (As), es un metaloide que está ampliamente distribuido en el ambiente natural y donde puede llegar a los cuerpos de aguas desde las rocas por meteorización (Alonso, Latorre, Castillo & Brandão, 2014), además, puede estar asociado a la reacción de oxidación con minerales sulfurosos en rocas meta-sedimentarias, cuya variabilidad de las concentraciones de As, puede superar las halladas en rocas de tipo ígneas y metamórficas. Esta condición hace que probablemente, los niveles de As ocupen grandes extensiones de áreas.

Existen dos formas de contaminación por arsénico, 1ro) la liberación natural de arsénico, a partir de aguas subterráneas de alto contenido de arsénico (Smedley, Zhang, Zhang & Luo, 2003); y 2do) por las emisiones humanas (Zhang, Yang, Tang, Qin & Yu, 2014), incluyendo zonas de actividad minero-metalúrgicas (Hepp, Pratas & Graça, 2017; González, Rodríguez, Boente & Menéndez, 2018). Los fungicidas, herbicidas, insecticidas y abonos fosfatados son también fuentes potenciales de contaminación por arsénico (Ghaeni, Pour & Hosseini, 2015).

En el ambiente terrestre, las formas inorgánicas de As como arsenito trivalente (As+III) y arseniato pentavalente (As+V) son más frecuentes y tóxicas que las formas orgánicas en general, pudiendo ejercer efectos perjudiciales sobre el metabolismo proteico por reacción con grupos sulfhidrilo existentes en residuos de cisteína (Rai et al., 2011). La toxicidad del arsénico, es reconocida como carcinogénica donde puede causar deformaciones referidas a mutaciones (Norra, Chandrasekharam & Stu, 2005), incluso a bajas concentraciones (Gall, Boyd & Rajakaruna, 2015). En los seres humanos y otros mamíferos, ha causado trastornos neurológicos, enfermedades hepáticas y renales, cáncer, complicaciones gastrointestinales, así como otros problemas de salud (Subhani et al., 2015).

La exposición al As en los ecosistemas acuáticos potencialmente perjudican su funcionalidad, por cuanto, es necesario comprender sus contenidos totales, movilidad y persistencia ambiental en la columna de agua clasificada como de primer orden donde Hepp et al., (2017), indican que es ineludible para cualquier gestión ambiental y restauración ecosistémica, ya que el uso de aguas contaminadas para fines de riego, podría causar problemas en la producción de cultivos y en consecuencia, a la cadena alimentaria (Salgado et al., 2010).

Si bien es cierto que puede existir arsénico en los cuerpos de aguas superficiales de forma natural pero las mayores concentraciones obedecen a cargas antropogénicas y donde algunos parámetros físico-químicos como el pH, pueden condicionar la disponibilidad toxicológica inmediata, si estuviera en un rango o escala de acidez.

El propósito del estudio fue determinar las concentraciones de arsénico total ante valores de pH en el agua superficial de la cuenca hidrográfica-Sama, Región Tacna-Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante agosto y noviembre del 2016 como abril y junio del 2017 se realizó un muestreo probabilístico en cuatro puntos referenciales correspondientes a la estación de muestreo Sama Bocatoma-Tranca (tabla 1).

Tabla 1. Coordenadas georreferenciales de los puntos de muestreo

estación de monitoreo	Norte	Este	Altitud
punto - I	8036481	343562	590
punto - II	8036483	343554	581
punto - III	8033077	340986	584
punto - IV	8033018	340770	578

El muestreo de las aguas correspondió a la capa superficial de la columna (ISO: 1980, 1991, 1994). donde se realizó por duplicado y luego se mezcló para su análisis como una muestra compuesta. El volumen de selección para la cuantificación de arsénico total fue de 1.0 litro.

Determinación de arsénico total

El arsénico total, fue determinado por Environmental Testing Laboratory S.A.C., el cual es un Laboratorio de Tipo Ambiental, siendo Acreditado ante la Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL-DA), así como el International Accreditation Service (IAS) bajo la Norma NTP ISO/IEC 17025.

Para el control de calidad de los resultados, Environmental Testing Laboratory S.A.C., refirió que, existió una muestra control (Material de Referencia Certificada para nuestra Muestra Control, permitiendo la trazabilidad de los resultados donde se calculó la exactitud o sesgo con lo cual se estableció, los rangos de aceptación para cada método de análisis). Asimismo, existió una muestra fortificada (a una muestra de lote de proceso se le fortifica con un Material de Referencia, a la que se calculó el porcentaje de recuperación con lo cual se estableció,

los rangos de aceptación para muestras de distintas matrices). De igual modo, refirió el uso sobre una muestra duplicado (por cada lote de análisis se evaluó la precisión de los resultados de una muestra determinando el rango o %RPD con lo cual se estableció, el rango de aceptación por matriz). Se usó blancos (en cada lote de análisis que se desarrolló incluyó, un blanco de método donde los resultados se graficaron en las cartas de control donde se establecieron los rangos de aceptación). Fue indicado la aplicación de re-ensayos (se realiza los re-ensayos de acuerdo al resultado de la evaluación de cada uno de los controles).

Finalmente, la determinación del arsénico fue referido, a través de la técnica Espectrometría de Emisión Atómica por Plasma Inductivamente Acoplado - (ICP-AES), siguiendo el método reportado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos: EPA, 200.7; Rev. 4.4., (1994).

Determinación del pH

El pH se midió in-situ, mediante el analizador multiparamétrico HANNA HI 9828. Para la comparación sobre el cumplimiento de los resultados se utilizó el Decreto Supremo No. 015-2015-MINAM (Categoría 1: Población y Recreacional; Subcategoría A: aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable; A2: aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional).

Análisis estadístico de los datos

Para el tratamiento de los resultados se aplicó como método estadístico, el análisis de la varianza con réplicas para definir las fuentes de variación significativas y la prueba de rangos múltiples para determinar las magnitudes individuales de las diferencias que resulten significativas según lo expresado por Montgomery (1991). Todos los cálculos se realizaron utilizando el software profesional Statgraphics (STATPOINT TECHNOLOGIES, 1994-2001) donde los resultados se consideraron significativos, a un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS

En la tabla 2 se muestra los resultados de arsénico total y el pH en las aguas, correspondientes a cada mes.

Tabla 2. Valores de concentraciones de As y pH / meses

	agosto		noviembre		abril		junio	
	As	pH	As	pH	As	pH	As	pH
		0.0731	8.46	0.29835	8.55	0.287	8.59	0.711
referencia	0.01 mg.L ⁻¹	5.5 - 9.0 -log ₁₀ [a _{H⁺]}						

Según los valores de la tabla, las concentraciones promedio de arsénico total en cada mes, superaron el valor de referencia el establece como permisible a 0.01 mg.L-1. En el caso del pH, todos los valores promedio se encontraron en el rango permisible como lo establece la propia referencia.

En la tabla 3 se muestra el resultado del análisis de la varianza para el arsénico total donde el valor-P de la prueba-F fue menor que 0.05 por lo cual, existió una diferencia estadísticamente significativa entre los valores promedios con un nivel de confianza al 95.0%.

Tabla 3. Análisis de la varianza para As

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.28039	3	0.426796	1061628.81	0.0000
Intra grupos	0.0000080404	20	4.0202E-7		
Total (Corr.)	1.2804	23			

Para determinar cuáles valores promedios fueron significativamente diferentes de otros se empleó, el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. En la tabla 4 se muestra, la prueba de contraste múltiple de rangos.

Tabla 4. Prueba de contraste múltiple de rangos para elAs

mes	casos	media	grupos homogéneos	contraste	significación
agosto	6	0.0731	X	agosto - noviembre	*
abril		0.287	X	agosto - abril	*
noviembre		0.29835	X	agosto - junio	*
junio		0.711	X	noviembre - abril	*
				noviembre - junio	*
				abril - junio	*

* indica una diferencia significativa

DISCUSIÓN

La presencia de arsénico en aguas naturales debido a las actividades humanas, constituye un problema mundial (Wang & Mulligan, 2006). La Organización Mundial de la Salud (2004), ha reducido el valor de referencia para el arsénico en el agua potable de 50 a 10 µg.L-1 para reducir los problemas asociados a la salud problemas con el arsénico en agua natural.

En este estudio, las concentraciones determinadas en cada mes sobre el arsénico total en las aguas superficiales fueron de: 0.0731; 0,29835; 0,287 y 0.711 mg.L-1, superándose el valor el valor de 0,01 mg.L-1 que establece como límite permisible por la norma de regulación utilizada.

Cuando las concentraciones de arsénico son expuestas sobre las aguas superficiales, uno de los primeros efectos no deseados se produce en las poblaciones menos desarrolladas como son las comunidades de macroinvertebrados y ello comienza por ende; afectar el equilibrio de toda la cadena trófica. Chi, Hu, Zheng & Dong (2017), en su estudio sobre los efectos de la contaminación por arsénico en comunidades de macroinvertebrados realizado en el río Xieshui encontraron que, el arsénico trivalente, arsénico pentavalente y arsénico inorgánico total influyeron considerablemente no solo en la densidad población, sino además, en la apariencia de las especies expresada sobre su relación trófica y reproductiva. Se determinó concentraciones 28,29 ± 17,66 mg.L-1, siendo más alto que concentraciones semi-letales y donde se señaló que pocas especies sobrevivieron en la estación de muestreo

seleccionada, siendo menor el número de especies, densidad, biomasa y la propia biodiversidad en esta estación, comparativamente con otras estaciones. Algunas especies incluyendo a los macroinvertebrados que fisiológicamente eran más sensibles, fue descrito que murieron ante las concentraciones halladas de arsénico.

Las concentraciones de arsénico disponibles en los cuerpos de aguas, pueden ser proporcionales de acuerdo al tamaño de los individuos. Farag (2006), encontró que el contenido de arsénico en los cuerpos macroinvertebrados, fue directamente proporcional a las concentraciones de arsénico en el agua y sustrato, por lo que en organismos superior como los peces, es probable que las concentraciones de arsénico a determinar, sean mayores pudiendo ocasionar un riesgo inmediato a la población humana producto a su consumo o dieta. Aunque si bien es cierto que el As puede ser transferido, a través de toda la cadena trófica se ha observado, en algunos estudios, no existir procesos de biomagnificación (Culioli, Fouquiere, Calendini, Mori & Orsini, 2009; Telford et al., 2009).

En cualquier estudio sobre determinación de As en ambientes acuáticos que evidencien actividad de pesca, es necesario realizar evaluaciones en todas aquellas especies que son consumidas como dieta animal, ya que existen peces herbívoros que concentran más As que las especies carnívoras, pudiendo ser más nocivas; y así lo indica Alamdar et al., (2016) en su estudio sobre exposición humana a metales traza y arsénico, a través del consumo de peces del río Chenab, Pakistán y riesgos asociados a la salud donde los niveles de oligoelementos en diferentes especies de peces encontrados en este estudio fueron compararon con datos similares en todo el mundo y con los estándares internacionales de consumo, observándose que el arsénico, superó lo recomendado. Asimismo, Wang et al., (2016) señalan que, contenidos de arsénico en ambientes acuáticos superiores a los criterios de concentración continua, tienen toxicidad aguda sobre los organismos

acuáticos, mientras que, los contenidos superiores a los criterios de concentración máxima causan toxicidad crónica. En este estudio puede considerarse que las concentraciones halladas, no solo son persistentes o continuas, sino que alcanzaron valores superiores a lo permisible, pudiendo ocasionar efectos a corto y largo plazo.

Bang & Lee (2009); Yamani, Miller, Spaulding & Zimmerman (2012), refieren que la toxicidad de las especies de As en ambientes acuáticos está determinada por diferentes parámetros como el potencial redox y pH, aunque en este estudio solo el pH fue medido y encontrándose en los valores de rango referenciales establecidos.

CONCLUSIONES

Aunque los valores de pH fueron aceptados, debe limitarse el valor de uso sobre las aguas superficiales de la cuenca hidrográfica Sama, Región Tacna-Perú, ya que presentan valores de arsénico total en concentraciones no deseadas, lo cual podría ser perjudicial, si fueran destinadas al consumo sin tratamiento eficiente potable para el ser humano y/o riego de cultivos.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (UNJBG), Región de Tacna-Perú por el financiamiento con recursos del canon minero a la investigación sobre el proyecto: Análisis y modulación de tecnologías de aguas modernas para la remoción de arsénico y boro en las cuencas de la región de Tacna; así como, al Dr. George Argota Pérez, Director General del Centro de Investigaciones Avanzadas y Formación Superior en Educación, Salud y Medio Ambiente "AMTAWI", por su asesoramiento metodológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alamdar, A., Ali, S., Akber, M., Eqani, S., Hanif, N., Maria, S. & et al. (2016). Chemosphere Human exposure to trace metals and arsenic via consumption of fish from river Chenab, Pakistan and associated health risks. *Chemosphere*; 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.110>
- Alonso, D.L., Latorre, S., Castillo, E. & Brandão, P.F.B. (2014). Environmental occurrence of arsenic in Colombia : A review. *Environmental Pollution*; 186, 272-281. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.009>
- Argota, P.G. & Iannacone, O.J. (2016). Costo ambiental sostenible relativo dado la variabilidad físicoquímica de las aguas sobre la disponibilidad de metals en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba-Cuba. *The Biologist (Lima)*; 14(2), 219-232. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v14_n2/pdf/a05v14n2.pdf
- Argota, P.G. & Iannacone, O.J. (2017). Predicción cuantitativa mediante biomarcadores de uso permanente como nuevo criterio para biomonitores en ecotoxicología acuática. *The Biologist (Lima)*; 17(1), 141-153. <http://revistas.unfv.edu.pe/index.php/rtb/article/download/150/142>
- Awraham, Z.A., Rainbow, P.S., Smith, B.D., Khan, F.R., Bury, N.R. & Fialkowski, W. (2015). Bioaccumulation of arsenic and silver by the caddisfly larvae *Hydropsyche siltalai* and *H. pellucidula* : A biodynamic modeling approach. *Aquatic Toxicology*; 161, 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.01.004>
- Bang, S. & Lee, S. (2009). Arsenic Removal from Vietnamese Groundwater Using the Arsenic-Binding DNA Aptamer. *Environ Sci Technol*; 43(24), 9335-93440. <https://doi.org/10.1021/es902407g>
- Calderón, J., Ortiz, P.D., Yáñez, L. & Díaz, B.F. (2003). Human exposure to metals. Pathways of exposure, biomarkers of effect, and host factors. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 56(1), 93-103. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(03\)00053-8](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(03)00053-8)
- Chi, S., Hu, J., Zheng, J. & Dong, F. (2017). Acta Ecologica Sinica Study on the effects of arsenic pollution on the communities of macro-invertebrate in Xieshui River. *CHNAES*, 37(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.09.003>
- Culioli, J., Fouquoire, A., Calendini, S., Mori, C. & Orsini, A. (2009). Trophic transfer of arsenic and antimony in a freshwater ecosystem : A field study. *Aquatic Toxicology*; 94, 286-293. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2009.07.016>
- Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U.B., Sahu, A. & et al. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), 2189-2212. <https://doi.org/10.3390/su7022189>
- Gall, J. E., Boyd, R. S. & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environ Monit Assess*; 187(4):201. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4436-3>
- Ghaeni, M., Pour, N. A. & Hosseini, M. (2015). Bioaccumulation of polychlorinated biphenyl (PCB), polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), mercury, methyl mercury and arsenic in blue crab *Portunus segnis* from Persian Gulf. *Environ Monit Assess*; 187(5):253 <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4459-9>
- González, F.B., Rodríguez, V.E., Boente, C. & Menéndez, C.E. (2018). Science of the Total Environment Long-term ongoing impact of arsenic contamination on the environmental compartments of a former mining-metallurgy area. *Science of the Total Environment*, 610-611, 820-830. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.135>

- Hepp, L.U., Pratas, J.A.M.S. & Graça, M.A.S. (2017). Through food webs nor biodispersed to land. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 139, 132-138. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.035>
- Londoño, F.L.F., Londoño, M.P.T. & Muñoz, G.F.G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el sector agropecuario y agroindustrial*; 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Molina, C.I., Ibañez, C. & Gibon, F.M. (2012). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): Posible riesgo en la salud de consumidores. *Ecología en Bolivia*; 47(2), 99-118.
- Montgomery C. (1991). Diseño y Análisis de Experimentos. Grupo Ed. Iberoamérica S.A de C.V. México DF.
- Normalization Standart International: ISO 5667-1. 1980. Water quality. Sampling. Part 1: Guidance on the design of sampling programmes.
- Normalization Standart International: ISO 5667-2. 1991. Water quality. Sampling. Part 2: Guidance on sampling techniques.
- Normalization Standart International: ISO 5667-3. 1994. Water quality. Sampling. Part 3: Guidance on the preservation and handling of samples.
- Norra, S., Chandrasekharam, D. & Stu, D. (2005). Impact of irrigation with As rich groundwater on soil and crops : A geochemical case study in West Bengal Delta Plain , India. *Applied Geochemistry*; 20, 1890-1906. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.04.019>
- Organization Word Health. (2004). Guidelines for drinking-water quality: recommendations. volume 1. WHO. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf
- Qadir, A. & Malik, R.N. (2011). Heavy metals in eight edible fish species from two polluted tributaries (Aik and Palkhu) of the river Chenab, Pakistan. *Biological Trace Element Research*; 143(3), 1524-1540. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9011-3>
- Rai, A., Tripathi, P., Dwivedi, S., Dubey, S., Shri, M., Kumar, S. et al. (2011). Chemosphere Arsenic tolerances in rice (*Oryza sativa*) have a predominant role in transcriptional regulation of a set of genes including sulphur assimilation pathway and antioxidant system. *Chemosphere*; 82(7), 986-995. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.10.070>
- Rhea, D.T., Harper, D.D., Farag, M.A., & Brubaugh, B.W. (2006). Biomonitoring in the Boulder river watershed, Montana, USA: Metal concentrations in biofilm and macroinvertebrates and relations with macroinvertebrates assemblage. *Environmental Monitoring and Assessment*; 115: 381-393. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-7086-7>
- Saldaña, R.A., Saldaña, R.N., Saldaña, R.A.L., Damian, A.C, Rangel, H.V.H. & Guerra, S.R (2017). Arsenic removal from aqueous solutions and the impact of humic and fulvic acids. *Journal of Cleaner Production*; 1 - 25 . <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.074>
- Salgado, B.M., Ortiz, P.M.D., Calderón, A.E., Estrada, C.L., Niño, M.P., González, A.R. & Portales, P.D. (2010). Science of the Total Environment Pattern of expression of apoptosis and in fl ammatory genes in humans exposed to arsenic and / or fl uoride. *Science of the Total Environment*; 408 (4), 760 -767 . <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.11.016>
- Smedley, P.L., Zhang, M., Zhang, G. & Luo, Z. (2003). Mobilisation of arsenic and other trace elements in fluviolacustrine aquifers of the Huhhot Basin. *Inner Mongolia*; 18, 1453-1477. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(03\)00062-3](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00062-3)
- Statgraphics Plus for Windows: SGPW. (2001). Version 5.1. Copyright 1994-2001 for Statistical Graphics Corporation
- Subhani, M., Mustafa, I., Alamdar, A., Katsoyiannis, I.A., Ali, N., Huang, Q. & et al. (2015). Ecotoxicology and Environmental Safety Arsenic levels from different land-use settings in Pakistan: Bio-accu- mulation and estimation of

- potential human health risk via dust exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*; 115, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.02.019>
- Telford, K., Maher, A.W., Krikowa, A.F., Foster, A.S., Ellwood, M.J., Ashley, B.P.M. & et al. (2009). Bioaccumulation of antimony and arsenic in a highly contaminated stream adjacent to the Hillgrove Mine, NSW, Australia. *Environ. Chem*; 133-143. <https://doi.org/10.1071/EN08097>
- Wang, C., Hu, X., Gao, Y. & Ji, Y. (2015). ZnO Nanoparticles Treatment Induces Apoptosis by Increasing Intracellular ROS Levels in LTP-a-2 Cells. *BioMed Research International*; 1-9. <https://doi.org/10.1155/2015/423287>
- Wang, S. & Mulligan, C.N. (2006). Occurrence of arsenic contamination in Canada: sources, behavior and distribution. *Science of the Total Environment*; 366, 701-721. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.005>
- Wang, T., Lu, Y., He, G., Wang, T., Zhou, Y., Bi, C. & et al. (2016). Determination of water environment standards based on water quality criteria in China : Limitations and feasibilities ScienceDirect Determination of water environment standards based on water quality criteria in China : Limitations and feasibilities. *Journal of Environmental Sciences*; (December). <https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.11.010>
- Yamani, J.S., Miller, S.M., Spaulding, M.L. & Zimmerman, J.B. (2012). Enhanced arsenic removal using mixed metal oxide impregnated chitosan beads. *Water Research*; 46(14), 4427-4434. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.06.004>
- Zhang, L., Yang, H., Tang, J., Qin, X. & Yu, A. Y. (2014). Attenuation of arsenic in a karst subterranean stream and correlation with geochemical factors: A case study at Lihu, South China. *Journal of Environmental Sciences*; 26(11), 2222-2230. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.005>
- Zhang, L., Yang, H., Tang, J., Qin, X. & Yu, A. Y. (2014). ScienceDirect Attenuation of arsenic in a karst subterranean stream and correlation with geochemical factors: A case study at Lihu, South China. *Journal of Environmental Sciences*; 26(11), 2222-2230. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.09.005>