

# “DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS SUBTERRÁNEAS SUB CUENCA TITICACA (época seca)” (parte I)

AUTORES Espinoza G.<sup>36</sup>  
Carvajal G.<sup>37</sup>

## SUMMARY

In several Latin American countries (Argentina, Chile, Mexico, El Salvador, Nicaragua, Peru and Bolivia), at least four million people drink water permanently with arsenic levels that endanger their health to such an extent that some countries have become a public health problem. This presence to natural geological factors (Mexico, Argentina, Chile, Peru, Nicaragua), anthropogenic activities, including mining and refining of metals smelting (Chile, Bolivia and Peru), is in electrolytic metal production processes high quality cadmium and zinc (Brazil) and to a lesser extent in agriculture in the use of organic arsenical pesticides (Mexico). The presence of arsenic in surface and groundwater in Latin America is natural and is associated with Tertiary and Quaternary volcanism in the Andes. It comes from the dissolution of minerals, erosion and disintegration of rocks and atmospheric deposition (aerosols). In water can be found in its trivalent and pentavalent forms. In drinking water, arsenic is usually found in the arsenate form and can be easily absorbed in the gastrointestinal tract at a rate between 40 and 100%. Ingested inorganic arsenic is absorbed by the tissue and then gradually eliminated in the urine by methylation through the kidneys. When the intake is greater than excretion tends to accumulate on the hair and nails. From the results obtained in this study evidenced that none of the 27 tested sources exceeds the maximum value allowed by regulation of arsenic 50 µg / L; however the presence of Total Arsenic in water samples from 9 populations of this region whether they are in the order of 45 µg / L which draws attention and may be cumulative if consumption as drinking water is continuous because it would involve health problems and requires a control.<sup>3637</sup>

## RESUMEN

En varios países de América Latina (Argentina, Chile, México, El Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia), por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico, que ponen en riesgo su salud en tal magnitud que en algunos países se ha convertido en un problema de salud pública. Esta presencia se debe a factores naturales de origen geológico (México, Argentina, Chile, Perú, Nicaragua), actividades antropogénicas que involucran la explotación minera y refinación de metales por fundición (Chile, Bolivia y Perú), en procesos electrolíticos de producción de metales de alta calidad como cadmio y zinc (Brasil) y en menor proporción en la agricultura en el empleo de plaguicidas arsenicales orgánicos (México). La presencia de arsénico en aguas superficiales y subterráneas de América Latina es natural y está asociada al vulcanismo terciario y cuaternario desarrollado en la Cordillera de Los Andes. Proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas y por deposición atmosférica (aerosoles). En el agua puede encontrarse en su forma trivalente y pentavalente. En el agua de bebida, por lo general el arsénico se encuentra en la forma de arseniato y puede ser absorbido con facilidad en el tracto gastrointestinal en una proporción entre 40 y 100 %. El arsénico inorgánico ingerido es absorbido por los tejidos y luego eliminado en la orina progresivamente por metilación a través de los riñones. Cuando la ingestión es mayor que la excreción, tiende a acumularse en el cabello y en las uñas. De los resultados obtenidos en este estudio se evidencia que ninguna de las 27 fuentes analizadas supera el valor máximo permitido por norma del arsénico 50 µg/L; sin embargo la presencia de Arsénico total en muestras de agua de 9 poblaciones de esta región, si se encuentran por el orden de 45 µg/L lo cual llama la atención y puede resultar acumulativo si el consumo como agua de bebida es continuo ya que ocasionaría problemas a la salud y requiere un determinado control.

**Palabras Clave:** Concentración de Arsénico, Hiperpigmentación, límites permisibles.

36 Docente Investigadora del IIS

37 Docente Investigador IIS

## 1. Introducción

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

La idea básica es la de hacer conocer lo que sucede en América Latina el problema ambiental y de salud pública, el cual se necesita atender para minimizar sus efectos y disminuir el arsenicismo en las zonas afectadas. Constituye una recopilación bibliográfica de la presencia de arsénico en el agua de bebida y sus efectos en la salud de las personas expuestas.

Debido al aumento progresivo del consumo de agua potable por las poblaciones rurales en Bolivia, se han propuesto planes y programas que están progresando lentamente en los municipios y no ha llegado a dar resultados en el tiempo previsto, debido a la falta de apoyo técnico y financiero para la construcción de infraestructura básica y gestión sostenible de las mismas en las comunidades rurales. Los estudios realizados en el Norte del Altiplano son considerados de primera aproximación y con el propósito de un aprovechamiento sostenible, sería necesario realizar estudios complementarios de perforaciones de pozos, con pruebas hidráulicas para una evaluación del potencial hídrico subterráneo, con toma de muestras para determinar la calidad química y bacteriológica de las aguas.

## 2. Objetivos

### Objetivo general

Realizar el análisis de Arsénico en muestras de aguas subterráneas provenientes de la subcuenca Titicaca.

### Objetivos específicos

- Conocer áreas donde existe la presencia de arsénico.
- Dar a conocer los efectos que ocasiona a la salud.
- Realizar el estudio de la presencia de Arsénico en aguas subterráneas en la subcuenca Titicaca (época seca).

## 3. Marco teórico

La presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas proviene de la disolución de minerales, la erosión y desintegración de rocas y por deposición atmosférica. Con mayor frecuencia en el agua superficial predominan las formas oxidadas y en el agua subterránea sobre todo, en la más profunda, las formas reducidas. En América Latina la presencia de arsénico está asociada al volcanismo terciario y cuaternario desarrollado en la Cordillera de Los Andes, proceso que aún continúa y que se muestra en flujos de lava, géiseres, fumarolas, aguas termales y fenómenos geotérmicos relacionados con el volcanismo circumpacífico. Este volcanismo también ejerce influencia en algunas características de estas aguas como son pH alto, alcalinidad variable, baja dureza, moderada salinidad y presencia de boro flúor, sílice y vanadio.

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. Este elemento es acumulable en el organismo por exposición crónica y a ciertas concentraciones ocasiona afecciones como alteraciones de la piel con efectos secundarios en el sistema nervioso, irritación de los órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel. La evidencia epidemiológica de personas con ingestión prolongada de arsénico inorgánico, vía agua de bebida, es la hiperqueratosis palmo-plantar, cuya manifestación principal es la pigmentación de la piel y callosidades localizadas en las palmas de las manos y pies.

Resultados con animales de laboratorio indican que el arsénico inorgánico trivalente es más tóxico que el pentavalente debido a que los compuestos pentavalentes tienen menor efecto en actividades enzimáticas, pero "in vivo" estos pueden reducirse a compuestos trivalentes. La toxicidad del arsénico depende del estado de oxidación, estructura química y solubilidad en

el medio biológico. La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina >  $As^{+3}$  inorgánico >  $As^{+3}$  orgánico >  $As^{+5}$  inorgánico >  $As^{+5}$  orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del  $As^{+3}$  es 10 veces mayor que la del  $As^{+5}$  y la dosis letal para adultos es de 1 -4 mg As/Kg.

Figura 1: Ubicación del área de estudio



Fuente: Google earth.

## 4. Marco práctico

Se analizaron un total de 27 muestras de agua de pozo (por los meses junio-julio 2014) las cuales corresponden a tres zonas de las regiones de Laja, Pucarani, Batallas y Huarina denominadas zona Norte (5 muestras), zona Central (13 muestras) y zona sur (9 muestras).

Para la determinación de Arsénico en aguas subterráneas, emplea el método instrumental (espectrofotómetro de Absorción Atómica horno de grafito).

Se siguió el siguiente procedimiento:

- Una vez definido el universo de estudio se conocerá el número de muestras a tomar
- El muestreo debe efectuarse en dos épocas del año, (seca y de lluvias)
- Toma de muestras de agua superficial, las muestras de agua deben ser filtradas y pre-

servadas en medio de ácido nítrico con un alto porcentaje de pureza (99 %).

- Todo el material de vidrio deberá estar enjuagado con agua ultra pura.
- Se deberá contar con soluciones patrón o patrones adecuados para el análisis de Arsénico.
- Luego se efectuarán las lecturas empleando el equipo de Absorción Atómica (Horno de grafito).

## 5. Resultados

Los resultados obtenidos por la presencia de Arsénico total en muestras de agua subterránea fue la siguiente:

Zona Norte, que comprende las poblaciones de Villa Vilaque, Santa Ana, Patamanta I, Patamanta II y Chuñavi, todas las muestras analizadas presentan concentraciones por debajo de la Norma Boliviana NB512 (< a 50 µg/L). (Ver Tabla 1)

Tabla 1: Resultados de Arsénico en muestras de agua subterránea (Zona Norte)

		Zona norte							Valores Límite Norma Boliviana NB-512
		Nombre de la comunidad	Villa Vilaque	Santa Ana	Patamanta	Patamanta	Chuñavi		
		Código punto de muestreo	VV-OT	SA-OT	PAT-OT1	PAT-OT2	CHU-OT		
		Código de la muestra Lab. IIS	N° 412	N° 413	N° 414	N° 415	N° 416		
N°	Parámetro analizado	Método	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	
Análisis físico									
1	Arsénico total	Horno de Grafito	µg As(t)/l	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50

Fuente: Elaboración propia.

**Zona Central**, que comprende las poblaciones de Chipamaya, Pampacallo, Chaucha, Pucarani, Antapata Alta, Cota, Ancocagua, Chacalleta, Mucuña, Cachuma, Querarani, Liquiñoso, Coani de un total de trece muestras analizadas, dos son las que presentan presencia de Arsénico representativo (Chacalleta y Mucuña), acercándose al valor de la NB512 de 50 µg/L. Estos resultados llaman la atención ya que un consumo continuo de estas aguas ocasionaría problemas a la salud. (Ver tablas 2 y 3).

**Tabla 2: Resultados de Arsénico en muestras de agua subterránea (Zona Central)**

		Zona centro							Valores Límite Norma Boliviana NB-512	
		Chipamaya	Pampacallo	Chaucha	Pucarani	Antapata Alta	Cota Cota	Ancocagua		
		CHIP-OT	PC-OT	CHAU-OT	PUCA-OT	AA-OT	CC-OT	ANCO-OT		
		N° 417	N° 422	N° 423	N° 424	N° 425	N° 426	N° 427		
N°	Parámetro analizado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado		
Análisis físico										
1	Arsénico total	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	50

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3: Resultados de Arsénico en muestras de agua subterránea (Zona Central)**

		Zona centro							Valores Límite Norma Boliviana NB-512	
		Nombre de la comunidad		Chacalleta	Mucuña	Cachuma	Querarani	Liquiñoso		Coani
		Código punto de muestreo		CHAC-OT	MUC-OT	CACH-OT	QUE-OT	LIQ-OT		COA-OT
		Código de la muestra Lab. IIS		N° 431	N° 432	N° 433	N° 434	N° 435		N° 436
N°	Parámetro analizado	Método	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	
Análisis físico										
1	Arsénico total	Horno de Grafito	µg As(t)/l	47,48	48,53	< 10	27,24	< 10	< 10	50

Fuente: Elaboración propia.

Zona Sur, que comprende nueve poblaciones de: Caleria, Quiripujo, Asunción, Catavi, Lacaya Pueblo, Achachicala, Lucurmata, Lillimani, Chojasivi y Chiluyo. Existen cinco muestras de las poblaciones de Quiripujo, Lacaya Pueblo, Achachicala, Lucurmata y Lillimani que presentan

concentraciones de Arsénico cercanas al valor de la NB512 lo cual llama la atención ya que este elemento es acumulativo cuando se bebe continuamente y puede ocasionar problemas a la salud. (Ver tablas 4 y 5)

Tabla 4: Resultados de Arsénico en muestras de agua subterránea (Zona Sur)

		Zona sur							Valores Límite Norma Boliviana NB-512
		Nombre de la comunidad	Caleria	Quiripujo	Asunción Catavi	Lacaya Pueblo	Achachicala		
		Código punto de muestreo	CAL-OT	QUI-OT	AC-OT	LACA-OT	ACHA-OT		
		Código de la muestra Lab. IIS	N° 437	N° 438	N° 439	N° 440	N° 449		
N°	Parámetro analizado	Método	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	
Análisis físico									
1	Arsénico total	Horno de Grafito	µg As(t)/l	< 10	45,53	< 10	46,23	45,06	50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Resultados de Arsénico en muestras de agua subterránea (Zona Sur)

		Zona sur						Valores Límite Norma Boliviana NB-512
		Nombre de la comunidad	Lucurmata	Lillimani	Chojasivi	Chiluyo		
		Código punto de muestreo	LUCUR-OT	LILL-OT	CHOJA-OT	CHIL-OT		
		Código de la muestra Lab. IIS	N° 450	N° 451	N° 452	N° 453		
N°	Parámetro analizado	Método	Unidades	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	
Análisis físico								
1	Arsénico total	Horno de Grafito	µg As(t)/l	46,78	45,91	11,01	10,70	50

Fuente: Elaboración propia.

## 6. Conclusiones

- La población más afectada es la que se encuentra dispersa en el área rural, la cual consume agua sin ningún tratamiento y desconoce el riesgo al que está expuesta. Para esta población se requiere que las autoridades de salud, ambiente y de saneamiento planifiquen los servicios de aprovisionamiento de agua y entre otras actividades promuevan e intervengan en la ejecución de programas de prevención y control de riesgos del consumo del agua de bebida con niveles de arsénico superiores a los recomendados.
- La ingestión crónica de arsénico en el agua de bebida genera lesiones en la piel como la hiperpigmentación y la hiperqueratosis palmo plantar; desórdenes del sistema nervioso, diabetes mellitus; anemia; alteraciones del hígado; enfermedades vasculares periféricas consistentes en infartos de miocardio y engrosamiento arterial; cáncer de piel, pulmón y vejiga.
- Los niños más sensibles que los adultos a la toxicidad por el arsénico y son los más afectados por esta enfermedad y víctimas de la pobreza (por problemas de desnutrición y precario saneamiento en las zonas rurales y pobres).
- De los resultados obtenidos en este estudio se evidencia la presencia de Arsénico total en muestras de agua de 9 poblaciones de esta región, si bien no sobrepasan los 50 µg/L pero si se encuentran por el orden de 45 µg/L lo cual llama la atención y puede resultar acumulativo si el consumo como agua de bebida es continuo ya que ocasionaría problemas a la salud.

- Se debe investigar los efectos del arsénico en la salud de las poblaciones expuestas a bajas concentraciones en agua y en otras vías de exposición.
- Se recomienda desarrollar una capacidad analítica confiable y consistente para que se pueda lograr la comparabilidad de los resultados de los estudios desarrollados en el campo y laboratorio, contar con métodos y procedimientos analíticos estándares y validados con muestras de referencia que permitan asegurar la calidad de los resultados obtenidos.

## 7. Bibliografía

- **(1) M.L. Castro de Esparza;** Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. **(2) Valcarcel M.;** Principios de Química Analítica, Barcelona – España, 2005.
- **(3) Científicos sobre el Arsénico;** La toxicidad del arsénico, 2011.