

# Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica

(Arsenic Determination in Water Supplies for Human Consumption of the Province of Cartago, Costa Rica)

Virginia Montero-Campos, Jaime Quesada-Kimsey, Aura Ledezma-Espinoza, José A. Sandoval-Mora

## Resumen

**Objetivos:** Divulgar conocimiento científico sobre el hidroarsenicismo en América Latina, y determinar la presencia de arsénico en agua utilizada para consumo humano en lugares de riesgo en Costa Rica, específicamente en la provincia de Cartago, en los cantones de Oreamuno, Central, Paraíso y Alvarado.

**Métodos:** Cuantificación de arsénico en su forma reducida trivalente, mediante generación de hidruros metálicos volátiles por absorción atómica de llama, metodología 7062 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**Resultados:** Ninguna de las muestras analizadas superó el límite máximo permitido por la legislación actual costarricense, de 10 µg/L.

**Conclusión:** A pesar de que las áreas de investigación correspondieron a zonas de alto riesgo por su naturaleza volcánica, la amplia oferta hídrica de los cantones marco del estudio, con áreas de relativa protección circundando las zonas de recarga de las nacientes, hace que la población consuma agua de origen subterráneo, pero de influjo directo superficial, con menor influencia de rocas volcánicas que se encuentran a mayor profundidad.

**Descriptor:** arsénico, agua potable, hidroarsenicismo crónico

## Abstract

**Aim:** To disclose scientific knowledge about hydroarsenicism in Latin America, as well as to determine the presence of arsenic in water used for human consumption in risk areas of Costa Rica, specifically at the Central, Oreamuno, Paraíso and Alvarado counties of the province of Cartago.

**Methods:** Quantification of inorganic arsenic by hydride generation and flame atomic absorption, according to method 7062 of the US Agency of Environmental Protection.

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos- CEQIATEC.

Escuela de Química. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Abreviaturas:** US EPA, Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**Correspondencia:** Virginia Montero Campos. Instituto Tecnológico de Costa Rica,

Apartado postal: 159-7050.

Correo electrónico: vmontero@itcr.ac.cr.

**Fuentes de Apoyo:** Financiamiento de la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Results:** None of the analyzed samples surpassed the maximum limit of 10 µg/L allowed by the present Costa Rican legislation.

**Conclusion:** Even though sampled areas are of volcanic nature and therefore of arsenic risk, the population consumes water of direct underground origin with a great superficial influence and little or no contact to deeper volcanic rock, thus not contaminated with arsenic.

**Keywords:** arsenic, drinking water, chronic hydroarsenicism.

**Recibido:** 28 de julio de 2009

**Aceptado:** 1 de diciembre de 2009

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben, sobre todo, a que estas pueden afectar negativamente la salud, tras periodos de exposición prolongados.<sup>1</sup>

Son motivo de especial inquietud para la Organización Mundial de la Salud (OMS), los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas, como las sustancias carcinogénicas y los metales pesados como el arsénico.<sup>2</sup>

El arsénico no sufre descomposición en el ambiente, se forma naturalmente y se encuentra en la tierra, en particular en las rocas volcánicas, conformando el 0,00005% de la corteza terrestre.<sup>3</sup>

Por razones geológicas naturales, las aguas de origen volcánico en ciertas zonas del mundo, y que pueden consumir algunas poblaciones, contienen altas concentraciones de arsénico inorgánico, según se ha reportado en: Argentina, Bolivia, Perú, Chile, México, Nicaragua, El Salvador, Cánada<sup>4,5</sup> y Estados Unidos en gran cantidad;<sup>6</sup> lo mismo que en: Pakistán, Taiwán, Bangladesh, China e India, entre otros.<sup>5</sup>

En algunos países de América Latina también se han reportado casos importantes, pero relacionados con actividad minera y contaminaciones accidentales, como en Chile, República Dominicana y Cuba.<sup>7</sup>

La contaminación con metales pesados utilizados en técnicas de tratamiento de materiales es otro problema usual. Por ejemplo, en el proceso de preservado de madera se aplican disoluciones preservantes comerciales, como la mezcla CCA-C, con altas concentraciones de sales de cobre, cromo y arsénico,<sup>8</sup> elementos altamente tóxicos para todas las cadenas tróficas. Además del efecto directo sobre el suelo, la contaminación puede extenderse hacia mantos de aguas superficiales, subterráneas, o reservorios de agua para consumo humano por lixiviación, si no es contenida adecuadamente.

El arsénico es uno de los elementos químicos presentes en el agua de consumo humano que menos se ha estudiado en el país<sup>9</sup> y que tiene importancia en el largo plazo para la salud de la población. La provincia de Cartago es considerada zona de alto riesgo por la considerable influencia volcánica.

La presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas en América Latina se asocia con vulcanismo terciario y cuaternario, aguas termales y fenómenos geotérmicos vinculados con el vulcanismo circumpacífico del llamado “Círculo de fuego del Pacífico”, tal y como se observa en la Figura 1. Este vulcanismo también ejerce influencia en algunas características de estas aguas: pH alto, alcalinidad variable, baja dureza, moderada salinidad y presencia de boro, flúor, sílice y vanadio.<sup>7</sup>

A pesar de que es un problema muy difundido en América Latina, con gran cantidad de casos en Nicaragua, en la zona de Matagalpa,<sup>10,11</sup> que tiene características geológicas similares a las de Costa Rica, el país no ha reportado casos de patologías correlacionadas directamente con arsenicismo (enfermedad por arsénico); no se sabe si es porque no se reconocen las lesiones (pues se pueden confundir con otras patologías), o porque del todo no hay acuíferos o pozos contaminados con arsénico asociados a consumo masivo de agua.



Figura 1. Cinturón de Fuego del Pacífico. Áreas de actividad volcánica importante en América Latina.

La presencia de agua contaminada por arsénico adquiere mayor trascendencia en regiones con importante actividad agrícola y ganadera, ya que el agua no solo se utiliza para el abastecimiento de núcleos de población, sino también como agua de riego y para bebida del ganado. Toma especial trascendencia el hecho que se han descrito pozos específicos contaminados con arsénico, sin que se encuentren contaminados pozos adyacentes.<sup>7</sup>

En América Latina se ha podido apreciarse que con niveles similares de arsénico, pero en diferentes condiciones (climatológicas, de nutrición y otros), el nivel de afectación en las personas es diferente, y en general se considera “una patología de la pobreza”.<sup>7</sup>

El Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer (IARC) lo ha clasificado en el grupo I, pues se cuenta con pruebas suficientes de la carcinogenicidad en seres humanos.<sup>12</sup>

De acuerdo con estudios toxicológicos y epidemiológicos, los niños son más afectados que los adultos ante la misma ingesta de arsénico, siendo las principales rutas de exposición la ingesta e inhalación, principalmente mediante el agua de bebida, lo que provoca el hidroarsenicismo.<sup>13,14</sup>

El arsénico en el agua se encuentra en la forma de arsenato y puede ser absorbido con facilidad en el tracto gastrointestinal, en una proporción entre el 40% y el 100%.<sup>13</sup> El arsénico inorgánico ingerido pasa al torrente sanguíneo, donde se enlaza a la hemoglobina y en 24 horas puede encontrarse en el hígado, riñones, vejiga, pulmones, bazo y piel.<sup>15,16</sup> Los órganos de mayor almacenamiento son la piel, el hueso y el músculo. Su acumulación en la piel se relaciona con su reacción sobre las proteínas que poseen grupos sulfhidrilo.<sup>12</sup>

El desarrollo del arsenicismo de acuerdo con el tiempo de ingesta, según la OMS, es el siguiente:

- **Estado preclínico:** el paciente no muestra síntomas, pero el arsénico puede ser detectado en muestras de tejido y orina.
- **Clínico:** se observa oscurecimiento de la piel (melanosis), comúnmente en la palma de la mano, manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos en las plantas de los pies y manos (Figura 2).
- **Complicaciones:** síntomas clínicos más pronunciados, afectación de órganos internos; se ha reportado inflamación de hígado, riñones y bazo; también se le vincula en esta etapa con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.
- **Malignidad:** desarrollo de tumores, pulmón o vejiga, hígado y riñones.

En las dos primeras etapas, si el paciente reemplaza la fuente de agua de bebida por una libre de arsénico, su recuperación es casi completa. En la tercera etapa el daño puede ser reversible, pero en la cuarta ya no lo es.<sup>2</sup>

## Materiales y métodos

El desarrollo del proyecto involucró cuatro etapas:

1. Delimitación geográfica del área de estudio: se trabajó por cantones para la adecuada determinación y muestreo de las fuentes de agua utilizadas por las municipalidades en el abastecimiento de sus comunidades.

El proyecto comprendió los cantones de Alvarado, Central, Oreamuno y Paraíso, de la provincia de Cartago, como se muestra en el mapa de la Figura 3.



Figura 2. Pacientes de la Dra Alina Gómez Cuevas de El Zapote en el Valle de Sébaco, Departamento de Matagalpa, Nicaragua. Estos pacientes ingirieron 1320 µg/L de arsénico en el agua de consumo de un pozo artesanal, durante dos años. a- hiperqueratosis punctata a nivel palmar en un joven de 14 años. b- hipermelanosis en gota de lluvia en un niño de año y medio. c- pápulas verrucosas en el dorso de las manos de una paciente femenina de aproximadamente 25 años.

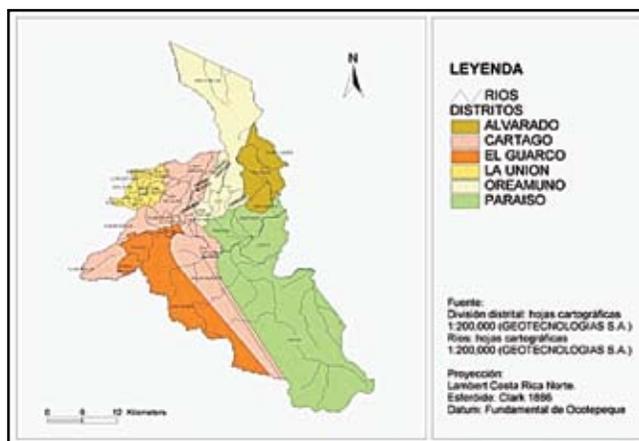


Figura 3.- Localización geográfica de las áreas de estudio.

2. Programación de giras: se coordinó con los encargados de los acueductos municipales para la recolección de las muestras, correspondiendo a épocas de invierno y verano, para determinar las posibles diferencias en niveles de arsénico.
3. Determinación de la metodología adecuada para la cuantificación del metal en el agua, en las concentraciones requeridas en el nivel de trazas ( $\mu\text{g/L}$ ): se utilizó una metodología confiable y reconocida, reproducible y de alta sensibilidad, como lo es la determinación de arsénico en su estado trivalente, mediante generación de hidruros metálicos volátiles por absorción atómica de llama, equipo Perkin Elmer modelo 3300 AA de doble haz, con detector fotomultiplicador y un sistema analítico generador de hidruros con inyección de flujo continuo (FIAS) de cuatro pasos y longitud de onda de 193,7 nm. Se empleó la metodología 7062 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA).

En la validación del método se obtuvo un límite de cuantificación de  $5 \mu\text{g/L}$  y un límite de detección experimental de  $1,4 \mu\text{g/L}$ , según la metodología establecida en Miller y Miller.<sup>17</sup>

4. Medición del analito: las muestras fueron recolectadas en los sitios de las nacientes, preservadas con ácido nítrico y luego cuantificadas.

## Resultados

Los nombres que parecen en el Cuadro 1 son los de las nacientes utilizadas oficialmente para el consumo de las poblaciones de los cantones marco del estudio. Los muestreos corresponden a época seca y lluviosa (marcados como invierno y verano), para determinar posibles diferencias en los niveles de cuantificación del arsénico en estudio.

Tras procesar y analizar las 118 muestras de agua de las nacientes indicadas en el Cuadro 1, se determinó que ninguna contenía cantidades cuantificables de arsénico (III), al no superar el límite de cuantificación de  $5 \mu\text{g/L}$  del método utilizado, pero sí se encontraron muestras que superan el límite de detección.

## Discusión

Los resultados presentados refuerzan lo supuesto con anterioridad y concuerdan con lo expresado en la bibliografía; las poblaciones que consumen agua contaminada con arsénico en América Latina, lo hacen de pozos, lo que contrasta con lo encontrado en la provincia de Cartago, donde las municipalidades -en su gran mayoría- utilizan agua de nacientes.

Los efectos sobre la salud causados por exposición repetida y en el largo plazo de contaminantes de origen natural, relacionados con condiciones hidrogeológicas específicas, son poco conocidos y estudiados en este medio; en el caso específico del arsénico, en Costa Rica no hay estudios de poblaciones en riesgo, hasta el presente trabajo, el cual determinó que en las áreas marco de la investigación no se encontraron nacientes de agua con cantidades de arsénico III superiores a los  $5 \mu\text{g/L}$ , siendo la norma nacional, o el máximo permitido para arsénico total, de  $10 \mu\text{g/L}$ .

Pese a que las áreas de estudio corresponden a zonas de origen volcánico, donde la probabilidad de encontrar arsénico de origen natural podría ser alta, como ocurre en muchos países de América Latina, la amplia oferta hídrica de los cantones marco del estudio y la existencia de áreas con relativa protección circundando las zonas de recarga de las nacientes, hacen que el agua consumida por estas poblaciones se encuentre libre de este metal pesado.

El estudio no incluyó pozos profundos que, si bien se sabe que existen en estos cantones, no son empleados directamente por las municipalidades para consumo de sus pobladores.

Sería conveniente determinar la situación de las otras zonas de Costa Rica con influencia volcánica importante, como la que circunda la Cordillera Volcánica de Guanacaste, con menos oferta hídrica comparativamente que la provincia de Cartago, y en donde se encuentran áreas con gran cantidad de pozos profundos que abastecen a la población.

El aporte de estudios como este es que al cuantificar una sustancia tóxica poco conocida, se puede tener la oportunidad de adelantarse a patologías con cuadros clínicos ya declarados, y a su malignidad. Así, y para este caso en particular, se podría detectar hidroarsenicismo en la población, en forma temprana.

**Cuadro I. Nacientes muestreadas en el estudio, utilizadas por las municipalidades de Oreamuno, Cantón Central de Cartago, Paraíso y Alvarado, para consumo de la población; se muestran nombre y localización.**

Muestra	Naciente	Lugar	Cantón	Muestra	Naciente	Lugar	Cantón
1	Paso Ancho	Paso Ancho	Central	31	Boquerón	Finca Milton Garro	Paraíso
2	Lankaster	Paso Ancho	Central	32	Albertano	Peñas Blancas	Paraíso
3	San Blas	San Blas	Central	33	Volio	Volio	Paraíso
4	La Misión	Tierra Blanca	Central	34	Chilamate	Cachí	Paraíso
5	Rafael Calvo	Banderillas	Central	35	Peñas Blancas	Peñas Blancas	Paraíso
6	Banderillas	Banderillas	Central	36	Jorge Obando	Peñas Blancas	Paraíso
7	Río Loro	Ochomogo	Central	37	Urazca	Rancho Urazca	Paraíso
9	La Ortiga	Corralillo	Central	39	Guzmán	El Calvario	Paraíso
10	Padre Méndez	San Rafael	Central	40	José Castro	Barrio Los Ángeles	Alvarado
11	Ladrillera	Lourdes	Central	41	Julio Gámez	Barrio Los Ángeles	Alvarado
12	Río Claro	Río Claro	Central	42	Marcos Pele	Barrio Los Ángeles	Alvarado
13	Toño Meneses	Mata e Mora	Oreamuno	43	Aníbal Barquero	Llano Grande Pt Alta	Alvarado
14	Mario Ivancovich	Mata e Mora	Oreamuno	44	Coto	Llano Grande Pt baja	Alvarado
15	Villalta (Aguacate)	Mata e Mora	Oreamuno	45	Minor	San Martín	Alvarado
16	Mario Ivancovich (Aguacate)	Mata e Mora	Oreamuno	46	More	San Martín	Alvarado
17	Mario Ivancovich (Poza)	Mata e Mora	Oreamuno	47	Martín Montero	Buenos Aires	Alvarado
18	La Regina	Chinchilla	Oreamuno	48	Pinita Montero (Lalo Leandro)	Barrio Lourdes	Alvarado
19	Carlos Gómez #1	Chinchilla	Oreamuno	49	La Tica	Barrio Lourdes	Alvarado
20	Carlos Gómez #2	Chinchilla	Oreamuno	50	Encierrillos (Rubén Montero)	Encierrillos	Alvarado
21	Carlos Gómez #3	Chinchilla	Oreamuno	51	Vicente Serrano	Las Parcelas	Alvarado
22	Carlos Gómez #4	Chinchilla	Oreamuno	52	Coliblanco	Coliblanco	Alvarado
23	Franco Fernández	Chinchilla	Oreamuno	53	Bajo Rojas	Santa Teresa	Alvarado
24	INA	Chinchilla	Oreamuno	54	Palmital	Santa Teresa	Alvarado
26	Capira	Cipreses	Paraíso	55	Vaca Negra	Santa Teresa	Alvarado
27	Parruas	San Francisco	Paraíso	56	Callejón	Bajos de Abarca	Alvarado
28	Guayabal	Calle Mero	Paraíso	57	Buena Vista # 1	Buena Vista	Alvarado
29	Mero	Calle Mero	Paraíso	58	Buena Vista # 2	Buena Vista	Alvarado
30	Bosque	Calle Mero	Paraíso	59	María Cristina	Barrio Lourdes	Alvarado

**Agradecimientos y colaboradores**

Un agradecimiento especial a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica, por el financiamiento del proyecto.

A la Dra Alina Gómez Cuevas, dermatóloga de Nicaragua, por facilitar las fotografías de sus pacientes con manifestaciones dérmicas de arsenicismo.

A las municipalidades de los cantones Central, Oreamuno, Alvarado y Paraíso, de la provincia de Cartago, por su permiso y cooperación en los muestreos de sus nacientes.

Al señor José Isaías Arias Picado, por su labor asistencial. Al B.Q. Ricardo Coy Herrera, por la revisión de los valores en los límites de detección y cuantificación de la determinación.

## Referencias

1. Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) División de Toxicología y Medicina Ambiental. Resumen de Salud Pública Arsénico CAS#: 7440-38-2. Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) División de Toxicología y Medicina Ambiental. 2007 Agosto.
2. World Health Organization. Arsenic. GUIDELINES FOR DRINKING-WATER QUALITY. 2003.
3. Bulletin Colorado Department of Public Health and Environment, Arsénico en agua de pozos domésticos. 19. 2003.
4. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality Supporting 2007. Arsenic in Groundwater. [update 2009 Jul 20; cited 2008 Oct 20]. En: [http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/doc\\_sup-appui/index\\_e.html](http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/doc_sup-appui/index_e.html).
5. Castro M. Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS). Congreso Internacional Ciudad de México, 20-24 June 2006.
6. Ryker S. Mapping Arsenic in Groundwater in United States. Geotimes. 2001. [update 2009 Nov 19; cited 2009 Jul 20]. En: [http://www.agiweb.org/geotimes/nov01/feature\\_Asmap.html](http://www.agiweb.org/geotimes/nov01/feature_Asmap.html)
7. Jornadas Iberoamericanas del impacto del arsénico sobre la salud de poblaciones iberoamericanas: Herramientas para la evaluación y manejo de riesgos, 2006. Curso Agencia Española de Cooperación Internacional Bolivia, AECI, Santa Cruz de la Sierra.
8. Moya R, Leandro L, Monge F. Preservación de postes de melina mediante el método vacío-presión con sales de CCA-C. Kurú: Revista Forestal. 2004; 1: 25-29.
9. Campos J, León J C, Bravo S. Contenido de arsénico III en agua de la comunidad de Santa Bárbara de Heredia. Memoria Jornadas de Investigación, Universidad de Costa Rica. 1999.
10. Gómez A. Monitoreo y atención de intoxicados con arsénico en el Zapote, Municipio de San Isidro, Departamento de Matagalpa, Nicaragua 1994-2002. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua. UNICEF 2003.
11. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua. Puntos de abastecimiento de agua contaminada por arsénico y plomo identificados en Nicaragua en julio de 2002. [CD-ROM]. PIDMA/UNICEF. Nicaragua.
12. Environmental Health Directorate of Health Canada. Arsenic Guidelines for Canadian Drinking Quality. Ottawa, 1992: 1-9.
13. Frederick P, Kenneth B, Chien-Jen C. Health Implications of Arsenic in Drinking Water. Journal AWWA. 1994; 86: 52-63.
14. Cantor K. Arsenic in Drinking Water: How Much Is Too Much? Epidemiology 1996; 7: 113-115.
15. Cebrián M, Albores A, García G, Del Razo L. Chronic Arsenic Poisoning In Humans: The Case of Mexico. Arsenic in the Environment. Part II: Human Health and Ecosystem Effects. 1994: 94-100.
16. Bates M, Rey O, Biggs M, Hopenhayn C, Moore L, Kalman D, et al. Case-Control Study of Bladder Cancer and Exposure to Arsenic in Argentina. Am J Epidemiol 2004; 159:381-389.
17. Miller J, Miller J. Estadística y quimiometría para química analítica. Errores en análisis instrumental: Regresión y correlación Madrid, España: Prentice Hall, 2002 p. 100-103.