



Informe final de Proyecto

Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de Cartago.

**Centro de Investigación y de Servicios Químicos y
Microbiológicos- CEQIATEC
Escuela de Química**

Coordinadora del proyecto
Virginia Montero Campos
Participantes:
Jaime Quesada Kimsey
José Alberto Sandoval Mora
José Isaías Arias Picado.
Colaboradores
Aura Ledezma
Ricardo Coy

Diciembre 2006

ÍNDICE

Contenidos	página
Resumen	3
Introducción	7
Antecedentes	7
Definición del problema	7
Objetivos alcanzados	8
Revisión de literatura	10
Origen del arsénico en agua de bebida	11
Efectos a la salud, arsenicismo	12
Materiales y Métodos	15
Resultados y Discusión	19
Comparación con otros proyectos similares desarrollados en el país	22
Conclusiones y recomendaciones	23
Aportes y alcances	24
Bibliografía	25
Anexos	27
Documento II	42

RESUMEN

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que éstas pueden afectar negativamente a la salud tras períodos de exposición e ingesta prolongados. Son motivos de especial inquietud para la OPS (Organización Panamericana de la Salud), los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinogénicas.

Uno de los elementos químicos del agua de consumo humano menos estudiado de nuestro país y de importancia de largo plazo para la salud de la población, es el arsénico, ya que este no puede ser destruido en el medio ambiente, se forma naturalmente y se encuentra en la tierra, principalmente las rocas volcánicas (forma el 0,00005% de la corteza terrestre).

Cartago una zona de considerable influencia volcánica, aunado a su amplia oferta hídrica, la cual no solo se utiliza para el consumo de la población, sino para riego de alimentos que son consumidos por la comunidad y enviados a gran cantidad de otras zonas del país.

Es por las razones antes expuestas que se considero importante la búsqueda de acuíferos contaminados con arsénico, como acción preventiva en bien de la salud pública de la población, pues los efectos a la salud causados por exposición repetida y a largo plazo con arsénico pueden ir desde lesiones dérmicas hasta varias formas de cáncer, esto es importante ya que en la mayoría de los países de América Latina ya se han reportado pozos contaminados con arsénico, con niveles superiores a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 10 µg/L, considerándose esto un verdadero problema de salud pública latinoamericano; en Costa Rica a la fecha no se han realizado estudios grandes al respecto.

La investigación tuvo como marco muestral la provincia de Cartago, incluyó todas las nacientes oficiales de abastecimiento municipal, 59 en total de los cantones de Oreamuno, Central, Paraíso y Alvarado muestreados en época de invierno y de verano, entre 2005 y 2006.

La técnica empleada en la investigación correspondió a la establecida en la metodología 7062 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), de Generación de Hidruros Metálicos Volátiles por Absorción Atómica de llama, con un sistema analítico generador de hidruros con inyección de flujo continuo (FIAS) Pekín Elmer 3300 de 4 pasos, con un límite de detección de 1,4µg/L y un límite de cuantificación de 5µg/.

Como resultado se obtuvo que ninguna de las muestras analizadas, superó el límite máximo permitido por la legislación costarricense actual de 10 µg/L.

A pesar que las áreas de estudio corresponden a zonas de origen volcánico, tal y como se observa en otros países de América Latina, la amplia oferta hídrica de los cantones

marco del estudio, con áreas de relativa protección circundando las zonas de recarga de las nacientes, hacen que la población consuma agua de origen subterráneo pero de influjo directo superficial, teniendo con esto menor influencia de rocas volcánicas que se encuentran a mayor profundidad; pues en el caso de las nacientes el agua brota en forma espontánea.

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

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Nombre	página
1	Listado de nacientes del proyecto según lugar y cantón	16
2	Resultados de los análisis de arsénico por código de muestra.	19
Anexo 3	Cronología de los lugares muestreados	35

LISTA DE FIGURAS

Figura	Nombre	página
No. 1	Cinturón de Fuego del Pacífico. Áreas de actividad volcánica importante en América Latina.	11
No. 2	Distribución del arsénico en el cuerpo humano	12
No. 3	Desarrollo del arsenicismo como enfermedad de acuerdo al tiempo de ingesta, según OPS.	14
No.4	Hiperqueratosis palmoplantar típica de los pacientes con arsenicismo.	14
No. 5	Localización geográfica de las áreas de estudio.	15

INTRODUCCION

Antecedentes:

Los problemas relacionados con las sustancias químicas presentes en el agua de bebida se deben sobre todo a que éstas pueden afectar negativamente a la salud tras períodos de exposición prolongados.

Son motivo de especial inquietud para la Organización Panamericana de la Salud (OPS), los contaminantes con propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados y las sustancias carcinogénicas. (Guías OPS, 1995)

Uno de los elementos químicos del agua de consumo humano menos estudiado de nuestro país y de importancia de largo plazo para la salud de la población, bajo consideraciones geológicas condicionantes, es el arsénico (Bravo, 1997, Campos, 1999).

Por ser Costa Rica un país de considerable influencia volcánica y por haberse utilizado por muchos años compuestos de arsénico como fungicidas, se ha considerado posible, que exista contaminación de los acuíferos con este peligroso elemento (Bravo, 1997).

En el país se ha investigado muy poco al respecto, solo aparece una publicación de Campos, León y Maroto de 1999 de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica sobre el contenido de Arsénico (III) en agua de la comunidad de Santa Bárbara de Heredia, encontrándose en esta ocasión que el agua no presenta cantidades superiores a lo permitido por la legislación vigente.

Definición del problema:

Por razones geológicas naturales, (aguas de origen volcánico), en ciertas zonas del mundo el agua que beben algunas poblaciones puede contener altas concentraciones de arsénico inorgánico, según se ha reportado. Así ocurre en Argentina, Bolivia, Perú, Chile, México, Nicaragua, India, China, Bangladesh, Taiwán, El Salvador, Pakistán y Estados Unidos, entre otros (Castro, 2006)

Al incrementar la concentración de arsénico en el agua para beber, también incrementa la exposición total y los correspondientes riesgos para la salud (Colorado Department of Public Health and Environment, 2003).

La presencia de agua contaminada por arsénico adquiere mayor trascendencia en regiones con una importante actividad agrícola y ganadera, ya que el agua no sólo es utilizada para el abastecimiento de núcleos de población, sino también como agua de riego y para bebida del ganado.

La ingesta repetida de agua para beber con niveles de arsénico por encima de 10 µg/L (ppb, partes por billón) de acuerdo a la normativa actual costarricense, puede causar problemas de salud en el futuro; los niños tienen consecuencias más graves por su exposición, que los adultos (Jornadas, 2006).

En América Latina ha podido apreciarse que con niveles similares de arsénico pero en diferentes condiciones (climatológicas, de nutrición y otros), el nivel de afectación es diferente (Jornadas, 2006).

Costa Rica a la fecha no ha reportado casos de patologías que se hayan correlacionado directamente con arsenicismo (enfermedad por arsénico), no se sabe si es porque no se reconoce directamente las lesiones, pues se pueden confundir con otras patologías, o porque del todo no hay acuíferos contaminados con arsénico (Jornadas, 2006).

Lo que se sabe es que a pesar que es un problema altamente difundido en América Latina; con gran cantidad de casos en Nicaragua, especialmente en la zona de Matagalpa, la cual tiene características geológicas similares a las de Costa Rica, el problema en nuestro país se desconoce (Gómez, 2003).

Por estas razones es que se consideró de vital importancia hacer la investigación de las aguas que son consumidas por poblaciones de riesgo, iniciando en la provincia de Cartago por su localización, y relación con la Cordillera Volcánica Central en el país, principalmente para que el estudio encuentre fuentes de abastecimiento que puedan ser tratadas, antes de que la población dé la alerta presentando síntomas de la enfermedad, de los cuales son los niños los más afectados.

Objetivos:

Objetivos iniciales planteados:

Objetivo General Determinar el nivel de arsénico en aguas de nacientes y superficiales utilizadas para consumo de las poblaciones en los cantones de: Central, Paraíso, Oreamuno y Alvarado, de la provincia de Cartago, por medio de Espectrometría de Absorción Atómica con sistema de inyección de flujos FIAS con lámpara de arsénico.

Objetivos específicos:

- 1- Determinar si el contenido de arsénico en las muestras marco de la investigación, supera el límite máximo permitido que establece nuestra legislación nacional de 10 µg/L (ppb partes por billón).*
- 2- Determinar la forma química del arsénico que se encuentre superando la norma nacional, por espectrometría de masas (orgánico e inorgánico), para correlacionarlo con su grado de toxicidad para la población.*
- 3- Elaborar un mapa de las zonas analizadas con los niveles encontrados de alto, medio y bajo, para establecer acciones de prioridad para un eventual tratamiento o eliminación del contaminante en el agua.*

Con respecto a los objetivos específicos 2 y 3 estaban supeditados a la determinación de niveles mayores de 10 µg/L en alguna de las fuentes de agua marco del estudio, al no encontrar fuentes que superen estos niveles, dichos objetivos no son ejecutados.

Por lo tanto se considera que los objetivos iniciales propuestos fueron alcanzados y cumplidos.

REVISION DE LITERATURA

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.

De acuerdo con la información obtenida, en India existen alrededor de 6 millones de personas expuestas, de las cuales más de 2 millones son niños. En Estados Unidos más de 350.000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con valores de arsénico mayores a 0,025 mg/L (ATSDR, 2003).

Se describe la presencia del arsénico en el ambiente y en las fuentes de agua para consumo humano debido 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), procesos electrolíticos de producción de metales de alta calidad como cadmio y cinc (Brasil), y en menor proporción en la agricultura en el empleo de plaguicidas arsenicales orgánicos (México) (ECO/OPS, 1997).

El arsénico se forma naturalmente y se encuentra en la tierra, las rocas sedimentarias y rocas volcánicas (forma el 0,00005% de la corteza terrestre), se encuentra combinado con oxígeno, cloro y azufre formando compuestos inorgánicos de arsénico. El arsénico en animales y en plantas se combina con carbono e hidrógeno formando compuestos orgánicos de arsénico (ATSDR, 2003).

Se encuentra en muchas formas alotrópicas y tiene propiedades a la vez metálicas y no metálicas, se presenta comúnmente en sus estados de oxidación trivalente y pentavalente.

La presencia natural de arsénico en aguas superficiales y subterráneas de América Latina está asociada al volcanismo terciario y cuaternario, aguas termales y fenómenos geotérmicos relacionados con el volcanismo circumpacífico del llamado "Círculo de fuego del Pacífico". 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 (Jornadas, 2006).



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

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. Es acumulable en el organismo por exposición crónica cuando han sido superados ciertos niveles de concentración.

De acuerdo con estudios toxicológicos y epidemiológicos se confirma que a ciertas concentraciones ocasiona alteraciones de la piel (hiperpigmentación e hiperqueratosis palmoplantar) con efectos secundarios en los sistemas nervioso, respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético, así como acumulación en los huesos, músculos y en menor grado en hígado y riñones, se le relaciona con diabetes mellitus, anemia; alteraciones del hígado y enfermedades vasculares (Frederick, 1994), (Jornadas, 2006)

Se ha demostrado que los niños son más sensibles que los adultos a la toxicidad por el arsénico y son los más afectados por el arsenicismo, según lo observado en los países afectados de América Latina, esto por problemas de desnutrición y precario saneamiento en las zonas rurales dispersas (pobres).

ORIGEN Y DISTRIBUCION DEL ARSÉNICO.

En la mayoría de los casos el arsénico llega al cuerpo humano por ingesta directa, principalmente mediante el agua de bebida, por lo general aquí se encuentra en la forma de arsenato y puede ser absorbido con facilidad en el tracto gastrointestinal en una proporción entre 40% y 100% (Frederick; Kenneth; Chien-Jen,1994). El arsénico inorgánico ingerido pasa al torrente sanguíneo, donde se enlaza a la hemoglobina y en 24 horas puede encontrarse en el hígado, riñones, pulmones, bazo y piel. Los órganos de mayor almacenamiento son la piel, el hueso y el músculo. Su acumulación en la piel tiene relación con su fácil reacción con las proteínas (con grupos tioles) (Health Canada, Ottawa, 1992).

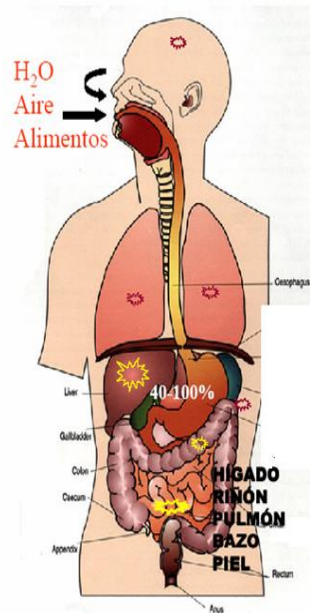


Figura 2. Distribución del arsénico en el cuerpo humano

El consumo de agua con arsénico no conlleva a casos con efectos agudos, sino más bien crónicos, porque se ingieren pequeñas cantidades a largo plazo.

HIDROARSENICISMO.

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, sirviendo estos como biomarcadores de exposición.

Su toxicidad 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.

Los factores que influyen el grado de efectos dañinos en las personas son:

- ◆ La concentración de arsénico en el agua
- ◆ La cantidad de arsénico ingerida por la persona
- ◆ El tiempo que la persona ha estado expuesta
- ◆ La manera como el cuerpo responde al arsénico, lo cual está relacionado con la edad, dieta, salud de la persona en general y otras características (Jornadas, 2006).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de Norteamérica, USEPA, clasifica al arsénico como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. La exposición a 0,05 mg/L puede causar 31,33 casos de cáncer de piel por cada 1.000 habitantes, por esta razón consideró bajar el límite máximo de aceptación de 0,050 mg/L, al de 0,010 mg/L. El Centro Internacional de Investigaciones sobre Cáncer (IARC) lo ha clasificado en el grupo I porque tienen pruebas suficientes de la carcinogenicidad para seres humanos (Castro, 2006).

Arsenicismo

- **Preclínico:** el paciente no muestra síntomas, pero el As puede ser detectado en muestras de tejido y orina.
- **Clinico:** 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 sobre las palmas y las plantas de las manos y los pies. La OMS estima que esta etapa requiere una exposición al arsénico de 5 a 10 años.
- **Complicaciones:** síntomas clínicos más pronunciados y afectación de los órganos internos. Estudios han reportado dilatación del hígado, los riñones y el bazo. También hay información de vinculación en esta etapa con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.
- **Malignidad:** desarrollo de tumores o cánceres que afectan la piel u otros órganos. En esta etapa, la persona afectada puede desarrollar gangrena o cáncer de piel, pulmón o vejiga.

Figura 3. Desarrollo del arsenicismo como enfermedad de acuerdo al tiempo de ingesta, según OPS.

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 puede ser reversible, pero en la cuarta ya no lo es.



Figura 4. Hiperqueratosis palmoplantar típica de los pacientes con arsenicismo

MATERIALES Y METODOS

El desarrollo del proyecto involucro los siguientes pasos:

1- Delimitación geográfica del área de estudio:, se trabajo 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 las zonas de los cantones de Alvarado, Central, Oreamuno y Paraíso de la provincia de Cartago, como se muestra en el mapa de la figura 5.

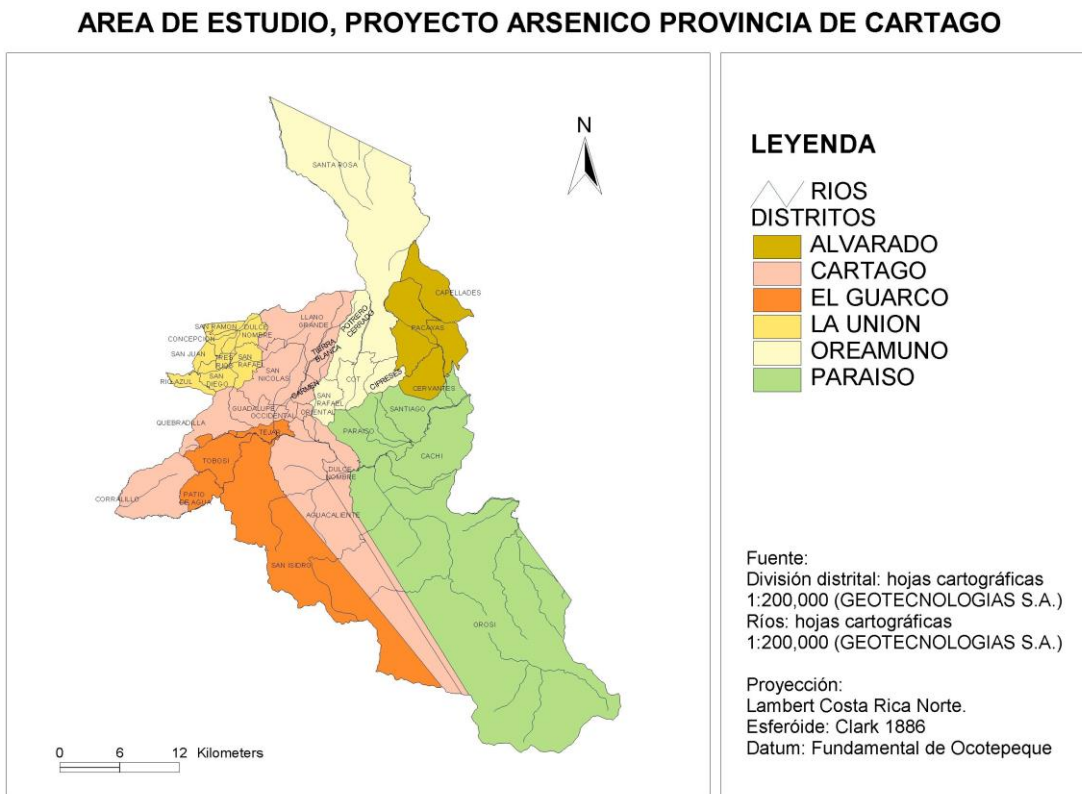


Figura 5.- Localización geográfica de las áreas de estudio.

2- Determinación de la metodología adecuada para la cuantificación del metal en el agua, en las concentraciones de trazas ($\mu\text{g/L}$) requeridas: Se utilizó una metodología confiable y reconocida, reproducible, y de alta sensibilidad como lo es la correspondiente a la EPA.

3- Programación de giras : Se coordinó con los encargados de los acueductos municipalidades para la recolección de las muestras, correspondiendo a épocas de invierno y verano para determinar las posibles diferencias en niveles de arsénico.

4- Medición del analito: Una vez que las muestras fueron recolectadas en los sitios de las nacientes y las muestras preservadas con ácido nítrico, fueron congeladas y almacenadas en el laboratorio hasta su cuantificación.

Desarrollo de la investigación

El procedimiento utilizado para la determinación de arsénico inorgánico de las muestras de agua de consumo humano tomadas en las nacientes que administran las municipalidades, aparece en el anexo 1, en el mismo se describen sus interferencias, materiales y reactivos, cuidados con la cristalería, muestreo y preservación.

Se tomaron muestras en los sitios que aparecen en el cuadro 1, que son utilizados oficialmente para consumo humano de los cantones marco del estudio, en dos ocasiones, correspondiendo a época seca y lluviosa (marcados como invierno y verano) para determinar posibles diferencias en los niveles de cuantificación del arsénico en estudio.

Cuadro 1. Listado de nacientes del proyecto según lugar y cantón.

Lista de Nacientes			
Muestra	Naciente	Lugar	Cantón
1	Paso Ancho	Paso Ancho	Central
2	Lankaster	Paso Ancho	Central
3	San Blas	San Blas	Central
4	La Misión	Tierra Blanca	Central
5	Rafael Calvo	Banderillas	Central
6	Banderillas	Banderillas	Central
7	Riό Loro	Ochomogo	Central
9	La Ortiga	Corralillo	Central
10	Padre Méndez	San Rafael	Central
11	Ladrillera	Lourdes	Central
12	Riό Claro	Riό Claro	Central
13	Toño Meneses	Mata e Mora	Oreamuno
14	Mario Ivancovich	Mata e Mora	Oreamuno
15	Villalta (Aguacate)	Mata e Mora	Oreamuno
16	Mario Ivancovich (Aguacate)	Mata e Mora	Oreamuno
17	Mario Ivancovich (Poza)	Mata e Mora	Oreamuno
18	La Regina	Chinchilla	Oreamuno
19	Carlos Gomes #1	Chinchilla	Oreamuno
20	Carlos Gomes #2	Chinchilla	Oreamuno
21	Carlos Gomes #3	Chinchilla	Oreamuno
22	Carlos Gomes #4	Chinchilla	Oreamuno
23	Franco Fernández	Chinchilla	Oreamuno
24	INA	Chinchilla	Oreamuno
26	Capira	Cipreses	Paraíso
27	Parruas	San Francisco	Paraíso
28	Guayabal	Calle Mero	Paraíso
29	Mero	Calle Mero	Paraíso
30	Bosque	Calle Mero	Paraíso
31	Boqueron	Finca Milton Garro	Paraíso
32	Albertano	Peñas Blancas	Paraíso
33	Volio	Volio	Paraíso
34	Chilamate	Cachí	Paraíso
35	Peñas Blancas	Peñas Blancas	Paraíso
36	Jorge Obando	Peñas Blancas	Paraíso
37	Urazca	Rancho Urazca	Paraíso
39	Guzmán	El Calvario	Paraíso

40	José Castro	Barrio Los Ángeles	Alvarado
41	Julio Games	Barrio Los Ángeles	Alvarado
42	Marcos Pele	Barrio Los Ángeles	Alvarado
43	Aníbal Barquero	Llano Grande Pt Alta	Alvarado
44	Coto	Llano Grande Pt baja	Alvarado
45	Minor	San Martín	Alvarado
46	More	San Martín	Alvarado
47	Martín Montero	Buenos Aires	Alvarado
48	Pinita Montero (Lalo Leandro)	Barrio Lourdes	Alvarado
49	La Tica	Barrio Lourdes	Alvarado
50	Encierrillos (Ruben Montero)	Encierrillos	Alvarado
51	Vicente Serrano	Las Parcelas	Alvarado
52	Culiblanco	Culiblanco	Alvarado
53	Bajo Rojas	Santa Teresa	Alvarado
54	Palmital	Santa Teresa	Alvarado
55	Vaca Negra	Santa Teresa	Alvarado
56	Callejón	Bajos de Abarca	Alvarado
57	Buena Vista # 1	Buena Vista	Alvarado
58	Buena Vista # 2	Buena Vista	Alvarado
59	Maria Cristina	Barrio Lourdes	Alvarado

Una vez que las muestras fueron tomadas del campo preservadas e ingresadas al Laboratorio fueron congeladas hasta su procesamiento, el cual inicialmente tuvo un tiempo de atraso por ajustes en la comunicación del equipo existente y el adaptador para la generación de hidruros.

RESULTADOS Y DISCUSION

Inicialmente no se pudo cubrir la totalidad de las nacientes en los dos tiempos de muestreo de invierno y verano, por razones de accesibilidad a los lugares principalmente en época de invierno, pero sí se cubrió la gran mayoría de los lugares, estos se muestran en específico en el cuadro del anexo 3.

En cuanto a los límites de detección y cuantificación del análisis, estos cálculos aparecen en el anexo 2.

De los mismos se puede deducir y expresar un valor promedio límite de cuantificación de $4,8 \mu\text{g/L} \cong 5 \mu\text{g/L}$ o ppb.

Tomando en cuenta que el límite de cuantificación es $LC = 10 S$

Valor de S : $0,48\text{ppb}$

Valor límite de detección: $LD = 3 S = 3 * 0,48 = 1,43 \cong 1,4 \mu\text{g/L}$ o ppb

En concordancia con los valores antes expresados se muestran los resultados por código de muestra:

Cuadro 2. Resultados de los análisis de arsénico por código de muestra.

Código de muestra	Resultado contenido As inorgánico ($\mu\text{g/L}$)
As 1	< LD
As 2	< LC (sobre el límite de detección)
As 3	< LD
As 4	< LD
As 5	< LD
As 6	< LD
As 7	< LD
As 8 Control positivo	> ámbito de medición ($29 \mu\text{g/L}$)
As 9	< LD
As 10	< LD
As 11	< LD
As 12	< LD
As 13	< LD
As 14	< LD
As 15	< LD
As 16	< LD

As	17	< LD
As	18	< LD
As	19	< LD
As	20	< LD
As	21	< LD
As	22	< LD
As	23	< LD
As	24	< LD
As	25	< LD
As	26	< LD
As	27	< LD
As	30	< LD
As	33	< LD
As	34	< LD
As	35	< LD
As	36	< LD
As	37	< LD
As	38	< LD
As	39	< LD
As	40	< LD
As	41	< LD
As	46	< LD
As	47	< LD
As	49	< LD
As	50	< LD
As	51	< LD
As	52	< LD
As	53	< LD
As	54	< LD
As	55	< LD
As	56	< LD
As	57	< LD
As	58	< LD
As	60	< LD
As	61	< LD
As	62	< LD
As	63	< LD
As	64	< LD
As	65	< LD
As	66	< LD
As	67	< LD
As	68	< LD
As	69	< LD
As	70	< LD
As	72	< LD
As	74	< LD
As	75	< LD
As	76	< LD
As	78	< LD

As	79	< LD
As	80	< LD
As	82	< LD
As	83	< LD
As	84	< LD
As	85	< LD
As	86	< LD
As	87	< LD
As	88	< LD
As	89	< LD
As	90	< LD
As	91	< LD
As	92	< LD
As	93	< LD
As	94	< LD
As	95	< LD
As	96	< LD
As	97	< LD
As	98	< LD
As	99	< LD
As	100	< LD
As	101	< LD
As	102	< LD
As	103	< LD

Según se desprende del cuadro anterior no se encontró sitios con arsénico que superen el límite de cuantificación del método en los lugares marco de las muestras en estudio.

Estos resultados vienen a reforzar lo presumido con anterioridad y de acuerdo a lo expresado en la literatura; que las poblaciones que consumen en América Latina agua contaminada con arsénico lo hacen de fuentes provenientes de aguas de profundidad como las de pozos profundos.

Al tener la provincia de Cartago una buena oferta hídrica por condiciones climático-hidrológicas favorables, hace que las fuentes donde se abastecen las Municipalidades para ofertar el agua a sus comunidades, provengan de fuentes si bien subterráneas sean de poca profundidad por encontrarse en zonas de alta recarga hídrica.

Comparación con otros proyectos similares desarrollados en el país

En el país muy poco se sabe de la contaminación con arsénico de las aguas de consumo humano, de origen natural. A lo sumo se encontró un solo estudio efectuado por la Universidad de Costa Rica del año 1999 cuya cita se enuncia a continuación:

Campos, J., León, C., de Maroto, S. "Determinación del contenido de arsénico (III) en agua potable por voltamperometría de despojo catódico con pulso diferencial (DPCSV), estudio realizado en agua de la comunidad de Santa Bárbara de Heredia. Memoria Jornadas de Investigación, Universidad de Costa Rica, 1999.

Este estudio no encontró aguas contaminadas con arsénico, no obstante se trabajó en un área muy pequeña y con muy poca cantidad de muestras, siendo lo importante también que la zona de Santa Bárbara de Heredia es de considerable influencia volcánica.

Además se encontró un estudio de Sadie Bravo S, de especiación de arsénico en agua potable de 1997, sin poblaciones de referencia, este trabajo se refiere a lo presentado en una memoria de Congreso y específicamente de validación de metodología polarimétrica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los efectos a la salud causados por exposición repetida y a largo plazo de contaminantes de origen natural, relacionados a condiciones hidrogeológicas específicas, son en nuestro medio poco conocidos y estudiados; en el caso específico del arsénico en Costa Rica no hay estudios que hayan cuantificado el riesgo en las poblaciones expuestas hasta el presente trabajo, el cual por lo menos en las áreas marco de la presente investigación no se encontraron fuentes que superen los 5 $\mu\text{g/L}$, siendo la norma nacional o el máximo permitido de 10 $\mu\text{g/L}$.
- A pesar que las áreas de estudio corresponden a zonas de origen volcánico, donde la probabilidad de encontrar arsénico de origen natural es alta; 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 que consume la población se encuentre libre del mismo.
- El presente estudio no incluyó pozos profundos que si bien se sabe que existen en estos cantones, no son utilizados directamente por las Municipalidades para consumo de sus pobladores.
- Como recomendación a este tipo de análisis, se tiene que en términos generales es una determinación cuidadosa, que requiere de equipo especializado, en el presente estudio se debió adquirir accesorios especiales e incorporarlos al equipo de Absorción Atómica que ya tenía el Laboratorio, esto constituyó una gran cantidad de trabajo y pruebas extra para corroborar el adecuado desempeño de ambos equipos acoplados.

APORTES Y ALCANCES

- Es la primera vez que en el país se realiza un estudio de esta magnitud, dejando evidencia y conocimiento que habría que difundir con respecto a la presencia de contaminantes tóxicos de origen natural en el agua de consumo de las poblaciones, específicamente de sustancias que pueden mantenerse en el agua, y cuyas manifestaciones son de alta toxicidad y de largo plazo.
- En las redes de investigación sobre arsénico en América Latina el caso de Costa Rica es un caso especial y único: lugares de alto riesgo (zonas volcánicas asociadas a fuentes de agua de consumo de las poblaciones), que de acuerdo a lo determinado a la fecha, como es el caso de la provincia de Cartago, la cual por su protección al ambiente y a las áreas de recarga de los acuíferos, mantiene una oferta hídrica sostenible, dando como resultado de acuerdo al presente estudio, que el agua de consumo se encuentre dentro de niveles seguros de arsénico. Dichos estudios que deben darse a conocer en estos foros especializados.
- Es importante hacer notar que de haberse encontrado sitios positivos que superen la norma nacional, lo que corresponde en estos casos es dar aviso a las autoridades correspondientes, Ministerio de Salud y MINAE para tomarse las medidas correctivas que el caso amerita, no obstante la mayoría de las veces el tratamiento para la remoción del arsénico supone un alto costo y un mantenimiento y uso generalmente complicado. Entre ellos se puede citar: filtración- coagulación, alúmina activada, osmosis inversa, nanofiltración, intercambio iónico y ablandamiento con cal.
- Es interés especial para la Coordinadora de la investigación, muestrear en una segunda parte del proyecto a presentar a la Vicerrectoría de Investigación, la situación de las otras zonas de Costa Rica con influencia volcánica importante (con menos oferta hídrica), y con gran cantidad de pozos profundos que abastecen a la población, como lo es la zona circundante de la Cordillera Volcánica de Guanacaste, este proyecto se realizaría en conjunto con el Dr Jochen Bundschuh, quien es geólogo y trabaja en el ICE, pues ambos pertenecemos a la Red Iberoamericana de CYTED que estudia arsénico. Lo importante en este tipo de estudios es adelantarse a las patologías que puedan presentar los pobladores y detectar el arsenicismo en forma temprana, o documentar el hecho que puede darse también de: “hay arsénico presente en el agua y la gente no presenta patologías” (Jornadas, 2006).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Arsénico en agua de pozos domésticos, 2003. Boletín del Colorado Department of Public Health and Environment. Junio, No 19.
- Arsénico, hoja informativa de la Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (ATSDR), 2003 del Departamento de Salud y Servicios Humanos de EEUU, división de toxicología. Diciembre, No 2.
- Bravo S, et al. 1997. Especiación de arsénico en agua potable. Memoria Jornadas de Investigación, Universidad de Costa Rica.
- Campos, J et al. 1999. Contenido de Arsénico III en agua de la comunidad de Santa Bárbara de Heredia. Memoria Jornadas de Investigación, Universidad de Costa Rica.
- Castro de Esparza, M.L. 2006. 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). Jornadas Iberoamericanas, Santa Cruz, Bolivia.
- Cebrián M. E.; Albores A.; García-Vargas G.; Del Razo L. M. 1994. Chronic Arsenic Poisoning In Humans: The Case Of Mexico. Arsenic in the Environment. Part II: Human Health and Ecosystem Effects. Pág. 94-100, México.
- ECO/OPS, 1997. Epidemiología Ambiental un Proyecto para América Latina y El Caribe. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud División de Salud y Ambiente, Agencia de Protección Ambiental, Programa Internacional sobre Seguridad Química, Red de Epidemiología Ambiental. Boletín No1
- ECO/OPS, 1997. Evaluación de Riesgos para la Salud en la Población Expuesta a Metales en Bolivia. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, México. Boletín No 2
- Environmental Health Directorate of Health Canada. 1992. Arsenic guidelines for Canadian drinking quality. Ottawa, p. 1-9.
- Finkelman, J.; Corey, G.; Calderon, R. 1993. *Environmental epidemiology: A project for Latin America and the Caribbean*. Metepec, ECO.
- Frederick, P.; Kenneth, B.; Chien-Jen, C. 1994. *Health implications of arsenic in drinking water*. *Journal AWWA*, 86(9):52-63.

- Guías Prácticas para la calidad del agua potable, 1995. Recomendaciones . 2da ed, vol 1.OPS. Ginebra.
- Gómez, Alina. 2003. *Monitoreo y atención de intoxicados con arsénico en el Zapote, Municipio de San Isidro, departamento de Matagalpa, Nicaragua 1994-2002*. En UNICEF. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua. (CD).
- Jornadas Iberoamericanas sobre 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, AECL, Santa Cruz de la Sierra. CD.
- Hopenhayn-Rich, C.; Biggs, M.; Fuchs, A.; Bergoglio, R.; Tello, E.; Nicolli, H.; Smith, H. 1996. *Bladder cancer mortality associated with arsenic in drinking water in Argentina. Epidemiol. 7; 117-124.*
- OMS. 2000. *Towards an assessment of the socioeconomic impact of arsenic poisoning in Bangladesh*. Water Sanitation and Health, Geneve.
- PIDMA/UNICEF. 2002. *Puntos de abastecimiento de agua contaminada por arsénico y plomo identificados en Nicaragua en julio del 2002*. En UNICEF. El arsénico y metales pesados en aguas de Nicaragua. (CD).
- Sancha A. M.; C. de Esparza M.L, 2000. *Arsenic Status and Handling in Latin America*. Universidad de Chile, Grupo As de AIDIS/DIAGUA, CEPIS/OPS – Lima, Perú.
- Tecnologías para la eliminación del arsénico, 2004. Revista Milearium. métodos y tratamientos para reducir el arsénico.htm

ANEXOS

ANEXO 1

Metodología analítica utilizada

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUAS MEDIANTE GENERACIÓN DE HIDRUROS METÁLICOS VOLÁTILES POR LA TÉCNICA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LLAMA.

1. Aplicación:

Esta es una aplicación del método 7062 de la EPA para la determinación de antimonio y arsénico en aguas de desecho, nacientes, suelos, extractos, mediante la generación de hidruros volátiles por Absorción Atómica. Este método tiene como límite de detección típico concentraciones de arsénico cercanas a 1 parte por billón (ppb)

2. Resumen del método:

Mediante este método se reduce todo el arsénico presente a su forma trivalente con yoduro de potasio, luego este es convertido a una forma de hidruro volátil generado por la reacción con hidrógeno, producido a su vez por la reacción entre el borohidruro de sodio (NaBH_4) y ácido (HCl) en un reactor generador de hidruros de flujo continuo.

Los hidruros volátiles son luego conducidos a una celda de cuarzo con paso óptico de 17 cm, son descompuestos en la llama acetileno-aire del espectrofotómetro de absorción atómica. La señal de absorción resultante es proporcional a la concentración de arsénico presente.

3. Interferencias:

Concentraciones tan altas como 4000 mg/L de cobalto, cobre, hierro, mercurio y níquel pueden causar interferencias precipitando en su forma reducida bloqueando las líneas de alimentación del generador.

4. Materiales y equipos:

- 4.1 Sistema analítico generador de hidruros con sistema de inyección de flujo continuo (FIAS) Perkin Elmer de 4 pasos.

- 4.2 Fuente de poder variable (reóstato).
- 4.3 Bomba peristáltica de 2 pasos Cole Parmer Ismatec, modelo CP-78016-10, flujo variable.
- 4.4 Válvula de muestreo.
- 4.5 Conectores y mangueras de trasiego.
- 4.6 Celda de absorción de cuarzo de 17 cm de paso óptico.
- 4.7 Portacelda para celda de cuarzo de 17 cm.
- 4.8 Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 3300, de un paso óptico, operable entre 190 a 800 nm.
- 4.9 Quemador para llama acetileno-aire.
- 4.10 Lámpara de descarga característica para arsénico.
- 4.11 Balones de 100 ml.
- 4.12 Pipetas volumétricas de 0,5; 1; 5; 10 mL
- 4.13 Pipetas graduadas de 1 y 5 mL

5. Reactivos:

- 5.1 Agua destilada.
- 5.2 Acido nítrico concentrado calidad trazas.
- 5.3 Acido clorhídrico concentrado calidad trazas de metales.
- 5.4 Acido clorhídrico 3% v/v, medir 3 mL de ácido clorhídrico concentrado y verter en recipiente con 50 mL de agua, llevar a 100 mL con agua destilada.
- 5.5 Yoduro de potasio al 20%, pesar 20 g de KI calidad reactivo y disolver en agua, llevar a un volumen de 100 mL con agua destilada, esta disolución debe prepararse el día del análisis, no debe almacenarse para su posterior uso.
- 5.6 Borohidruro de sodio al 4%, medir 20 g de borohidruro de sodio calidad reactivo, 2 g de hidróxido de sodio calidad reactivo y disolver en agua destilada, llevar a un volumen de 500 mL, esta disolución debe prepararse el día del análisis, no debe almacenarse para su posterior uso.
- 5.7 Disolución estándar arsénico 1000 mg/L, tiempo de vida media un año.
- 5.8 Disolución estándar arsénico intermedia 1 (10 mg/L), pipetear 1 mL de la disolución estándar de arsénico en un balón aforado de 100 mL que contenía previamente 1,5 mL de ácido nítrico concentrado calidad trazas/L (0,15mL) y aforar con agua destilada, tiempo de vida 1 mes.
- 5.9 Disolución estándar arsénico intermedia 2 (1 mg/L), pipetear 1 mL de la disolución estándar intermedia 1 de arsénico en un balón aforado de 100 mL que contenía previamente 1,5 mL de ácido nítrico concentrado calidad trazas/L (0,15mL) y aforar con agua destilada, tiempo de vida 1 mes.
- 5.10 Patrones para la curva de calibración (5, 10, 15, 20 y 25 $\mu\text{g/L}$), pipetear 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 mL de la disolución estándar intermedia 2 de arsénico en balones aforados de 100 mL que contenían previamente 1,5

mL de ácido nítrico concentrado calidad trazas/L (0,15mL) y aforar con agua destilada, estas disoluciones deben prepararse el día del análisis.

- 5.11 Disolución blanco agua destilada con ácido nítrico calidad trazas al 3% v/v.

6. Lavado de la cristalería:

Se recomienda que el equipo de vidrio empleado en este análisis y para la recolección de muestras sea exclusivo y que lleve el siguiente tratamiento químico:

- 6.1 Lavar con disolución jabonosa de un detergente alcalino como extrán.
- 6.2 Enjuagar con abundante cantidad de agua
- 6.3 Sumergir el equipo en una disolución de ácido nítrico 1+1 durante al menos 24 h.
- 6.4 Enjuagar con agua del tubo y luego con agua destilada.
- 6.5 Secar y guardar para su posterior uso.

7. Muestreo y preservación:

Utilizar envases de plástico y polietileno previamente tratados según el procedimiento anterior, debido a la alta sensibilidad del método estas deben mantenerse bien tapadas y refrigeradas, libres de contacto exterior para evitar su contaminación, deben preservarse agregando ácido nítrico hasta $\text{pH} < 2$.

8. Procedimiento para la generación de hidruros metálicos:

Colocar una alícuota de 25 mL en un erlenmeyer de 125 mL, añadir 20 mL de ácido clorhídrico concentrado calidad trazas.

Preparar el aparato generador de hidruros llenando las botellas con disolución de borohidruro de sodio y ácido clorhídrico.

Para el manejo del equipo de absorción atómica se toma de referencia lo establecido en el manual del fabricante.

Las condiciones de análisis son:

Longitud de onda: 193,7 nm

Slit: 0,7

ANEXO 2

Determinación de los límites de detección y cuantificación

Curva 1

Considerando $y = m \cdot x + b$

Homosced

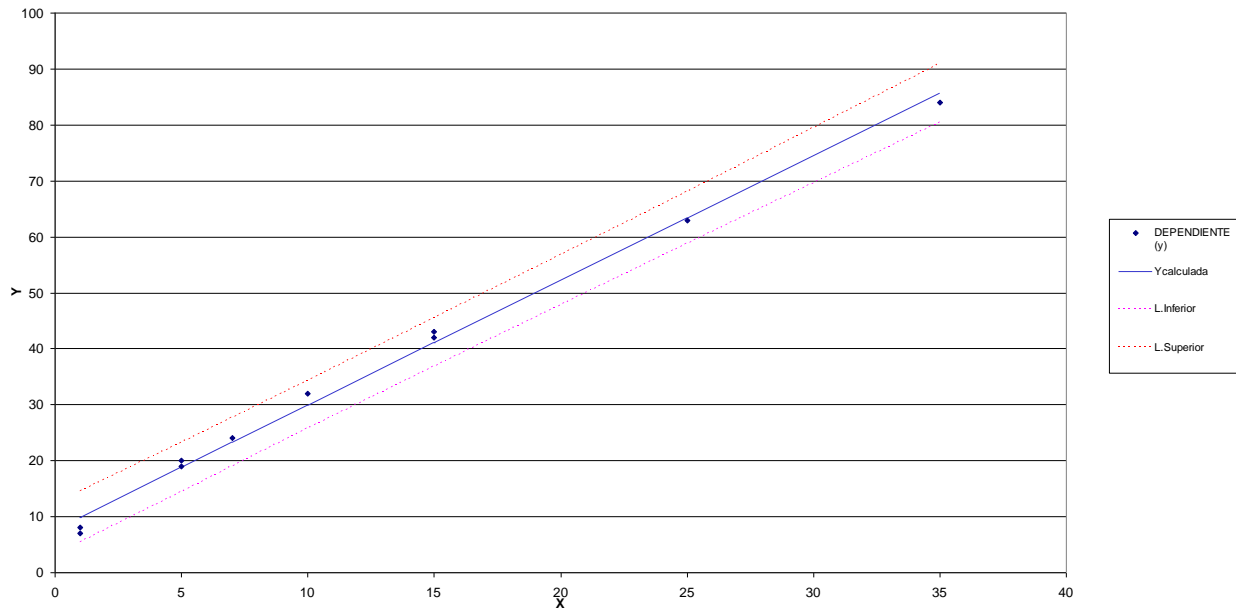
PENDIENTE= m =	2,22896119		
INTERSECCION= b =	7,68E+00		
COEFICIENTE DE CORRELACION r_{xy} =	0,997641	r_{mb} =	-7,52E-01
ECUACION DE LA LINEA RECTA: $Y = 2,23E+00 \cdot X_i + 7,68E+00$			
Suma de residuales al cuadrado=	2,55E+01		
Varianza residual=	3,19075491		
Desvio estandar residual = s_y	1,78626843		
Desvio estandar de la pendiente = s_m	5,42E-02		
Desvio estandar de la intersección = s_b	8,58E-01		

Límites de confianza para la intersección ($\neq 0$) y la pendiente

	Nivel de significancia		
	a 90%	a 95%	a 99%
Intervalo de confianza de la intersección:	1,59E+00	1,98E+00	2,88E+00
Límite de confianza de la intersección (-):	6,08E+00	5,70E+00	4,80E+00
Límite de confianza de la intersección (+):	9,27E+00	9,65E+00	1,06E+01
Intervalo de confianza de la pendiente:	1,01E-01	1,25E-01	1,82E-01
Límite de confianza de la pendiente (-):	2,13E+00	2,10E+00	2,05E+00
Límite de confianza de la pendiente (+):	2,33E+00	2,35E+00	2,41E+00

LC	2,57E+00
LD	8,58E+00
LD interp	-2
LC interp	0,4

Comprobación de ajuste y Límites de confianza a 95%



Curva 2

Considerando $y = m \cdot x + b$

Homoscedástico

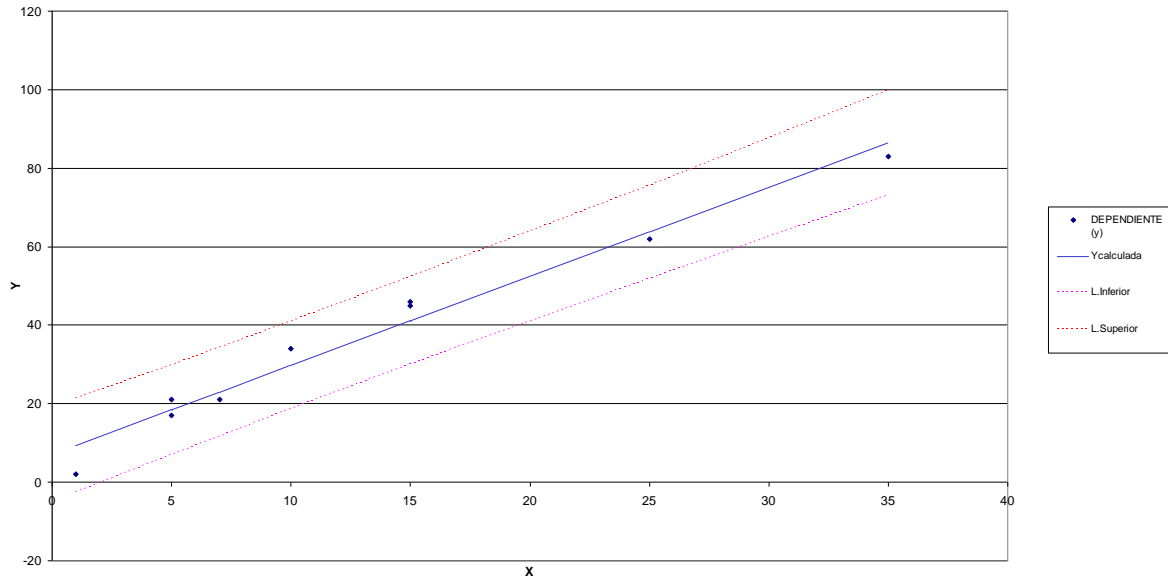
PENDIENTE= m =	2,26597481		
INTERSECCION= b =	7,07E+00		
COEFICIENTE DE CORRELACION r_{xy} =	0,986109	r_{mb} =	-7,87E-01
ECUACION DE LA LINEA RECTA: $Y = 2,27E+00 \cdot Xi + 7,07E+00$			
Suma de residuales al cuadrado=	1,39E+02		
Varianza residual=	19,8303405		
Desvío estandar residual = s_y	4,45312705		
Desvío estandar de la pendiente = s_m	1,44E-01		
Desvío estandar de la intersección = s_b	2,40E+00		

Límites de confianza para la intersección ($\neq 0$) y la pendiente

	Nivel de significancia		
	a 90%	a 95%	a 99%
Intervalo de confianza de la intersección:	4,56E+00	5,69E+00	8,41E+00
Límite de confianza de la intersección (-):	2,51E+00	1,38E+00	-1,35E+00
Límite de confianza de la intersección (+):	1,16E+01	1,28E+01	1,55E+01
Intervalo de confianza de la pendiente:	2,73E-01	3,41E-01	5,05E-01
Límite de confianza de la pendiente (-):	1,99E+00	1,92E+00	1,76E+00
Límite de confianza de la pendiente (+):	2,54E+00	2,61E+00	2,77E+00

LC	7,21E+00
LD	2,40E+01
LD interp	0,1
LC interp	7,5

Comprobación de ajuste y Límites de confianza a 95%



Curva 3

Considerando $y = m \cdot x + b$

Homoscedástico

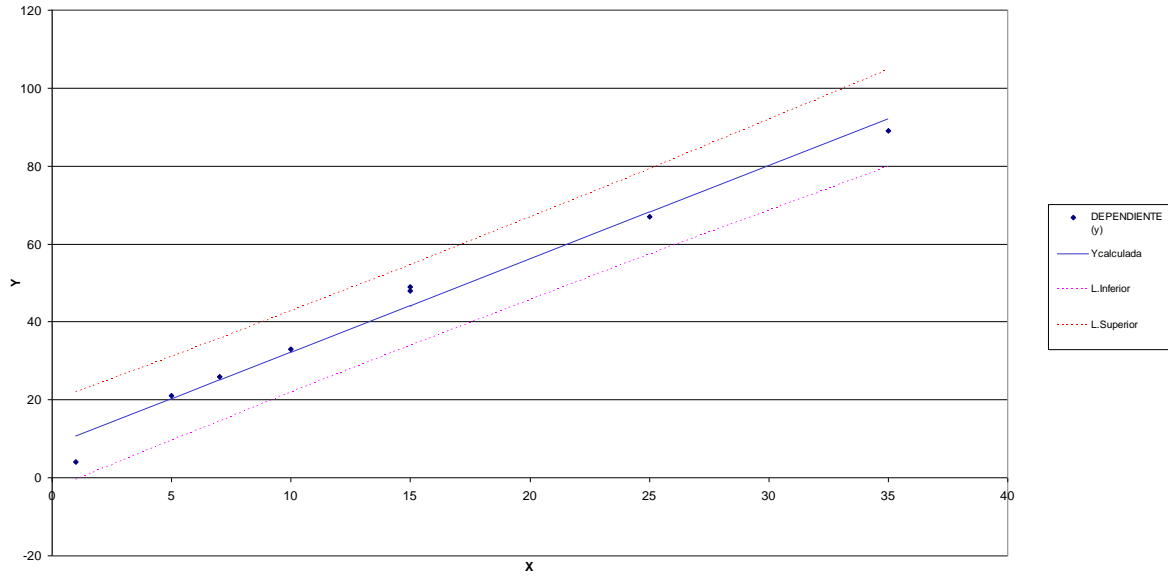
PENDIENTE= m =	2,39610297		
INTERSECCION= b =	8,28E+00		
COEFICIENTE DE CORRELACION r_{xy} =	0,990719	r_{mb} =	-8,03E-01
ECUACION DE LA LINEA RECTA: $Y = 2,40E+00 \cdot X_i + 8,28E+00$			
Suma de residuales al cuadrado=	9,50E+01		
Varianza residual=	15,8302754		
Desvio estandar residual = s_y	3,97872787		
Desvio estandar de la pendiente = s_m	1,34E-01		
Desvio estandar de la intersección = s_b	2,36E+00		

Límites de confianza para la intersección ($\neq 0$) y la pendiente

	Nivel de significancia		
	a 90%	a 95%	a 99%
Intervalo de confianza de la intersección:	4,59E+00	5,78E+00	8,75E+00
Límite de confianza de la intersección (-):	3,69E+00	2,50E+00	-4,72E-01
Límite de confianza de la intersección (+):	1,29E+01	1,41E+01	1,70E+01
Intervalo de confianza de la pendiente:	2,61E-01	3,28E-01	4,98E-01
Límite de confianza de la pendiente (-):	2,14E+00	2,07E+00	1,90E+00
Límite de confianza de la pendiente (+):	2,66E+00	2,72E+00	2,89E+00

LC	7,08E+00
LD	2,36E+01
LD interp	-0,5
LC interp	6,4

Comprobación de ajuste y Límites de confianza a 95%



ANEXO 3

Cronología de los lugares muestreados

CÓDIGO	FECHA	CANTÓN	NOMBRE NACIENTE	Muestreo Invierno (i) Verano (v)
As-01	08/08/2005	Central	N. Paso Ancho	
As-02	08/08/2005	Central	N. Lankaster	
As-03	08/08/2005	Central	N. San Blas	
As-04	17/08/2005	Central	N. La Misión	
As-05	17/08/2005	Central	N. Rafael Calvo	
As-06	17/08/2005	Central	N. Banderillas	
As-07	17/08/2005	Central	N. Río Loro	
As-08	22/08/2005	####	Control positivo	
As-09	29/08/2005	Central	N. La Ortiga	
As-10	30/08/2005	Oreamuno	N. Toño Meneses	
As-11	30/08/2005	Oreamuno	N. Mario Ivancovich	
As-12	30/08/2005	Oreamuno	N. Villalta (Aguacate)	
As-13	30/08/2005	Oreamuno	N. Mario Ivancovich (Aguacate)	
As-14	30/08/2005	Oreamuno	N. Mario Ivancovich (Poza)	
As-15	30/08/2005	Oreamuno	N. La Regina	
As-16	30/08/2005	Oreamuno	N. Carlos Gomes #1	
As-17	30/08/2005	Oreamuno	N. Carlos Gomes #2	
As-18	30/08/2005	Oreamuno	N. Carlos Gomes #3	
As-19	30/08/2005	Oreamuno	N. Carlos Gomes #4	
As-20	30/08/2005	Oreamuno	N. Franco Fernández	
As-21	30/08/2005	Oreamuno	N. INA	
As-22	22/09/2005	Central	Padre Méndez	
As-23	20/09/2005	Alvarado	José Castro	
As-24	21/09/2005	Alvarado	Julio Games	
As-25	22/09/2005	Alvarado	Marcos Pele	
As-26	23/09/2005	Alvarado	Aníbal Barquero	
As-27	24/09/2005	Alvarado	Coto	
As-28	25/09/2005	Alvarado	Minor	
As-29	26/09/2005	Alvarado	More	
As-30	27/09/2005	Alvarado	Martín Montero	
As-31	04/10/2005	Alvarado	Lalo Leandro	
As-32	05/10/2005	Alvarado	Panita Montero	
As-33	06/10/2005	Alvarado	La tica	
As-34	07/10/2005	Alvarado	Encierrillos 2	
As-35	08/10/2005	Alvarado	Encierrillos 1 Rubén Montero	
As-36	09/10/2005	Alvarado	Vicente Serrano	
As-37	10/10/2005	Alvarado	Culiblanco	

As-38	11/10/2005	Alvarado	Bajo Rojas	I
As-39	12/10/2005	Alvarado	Palmital	I
As-40	13/10/2005	Alvarado	Vaca Negra	I
As-41	14/10/2005	Alvarado	Callejón	I
As-42	11/10/2005	Central	Río Claro 1	I
As-43	11/10/2005	Central	Río Claro 2	I
As-44	30/01/06	Central	La Ortiga	I
As-45	24/01/06	Central	Planta de tratamiento	I
As-46	02/03/06	Paraíso	Parruas	V
As-47	02/03/06	Paraíso	El Bosque	V
As-48	02/03/06	Paraíso	Mero	V
As-49	02/03/06	Paraíso	Guayaba	V
As-50	02/03/06	Paraíso	Guzmán	V
As-51	02/03/06	Paraíso	Urazca 2	V
As-52	02/03/06	Paraíso	Urazca 1	V
As-53	20/03/06	Alvarado	Buena Vista 2	V
As-54	20/03/06	Alvarado	Buena Vista 1	V
As-55	20/03/06	Alvarado	Bajo Rojas	V
As-56	20/03/06	Alvarado	Palmital	V
As-57	20/03/06	Alvarado	Coliblanco	V
As-58	20/03/06	Alvarado	Vaca negra	V
As-59	20/03/06	Alvarado	Callejón	V
As-60	23/03/06	Alvarado	José Castro	V
As-61	23/03/06	Alvarado	Julio Gámez	V
As-62	23/03/06	Alvarado	Marcos Pele	V
As-63	23/03/06	Alvarado	Aníbal Barquero	V
As-64	23/03/06	Alvarado	Coto	V
As-65	23/03/06	Alvarado	Minor	V
As-66	23/03/06	Alvarado	More	V
As-67	23/03/06	Alvarado	Martín Montero	V
As-68	23/03/06	Alvarado	Lalo Leandro	V
As-69	23/03/06	Alvarado	La tica	V
As-70	23/03/06	Alvarado	Rubén Montero	V
As-71	23/03/06	Alvarado	Vicente Serrano	V
As-72	23/03/06	Alvarado	María Cristina	V
As-73	03/05/06	Central	Lankaster	V
As-74	03/05/06	Central	Paso Ancho	V
As-75	03/05/06	Oreamuno	Mario Ivancovich	V
As-76	03/05/06	Oreamuno	Mario Ivancovich (poza)	V
As-77	03/05/06	Oreamuno	Aguacate 1	V
As-78	03/05/06	Oreamuno	Aguacate 2	V
As-79	03/05/06	Oreamuno	Toño Meneses	V
As-80	03/05/06	Oreamuno	Chinchilla	V
As-81	15/05/06	Central	San Blas	V
As-82	15/05/06	Central	La Lumbre	V
As-83	05/05/06	Paraíso	Guzmán	V
As-84	05/05/06	Paraíso	Urazca	V
As-85	05/05/06	Paraíso	Jorge Obando	V
As-86	05/05/06	Paraíso	Albertano	V

As-87	05/05/06	Paraíso	Chilamate 1	V
As-88	05/05/06	Paraíso	Chilamate 2	V
As-89	05/05/06	Paraíso	Volio	V
As-90	05/05/06	Paraíso	El Bosque	V
As-91	05/05/06	Paraíso	Parrúas	V
As-92	05/05/06	Paraíso	Capira	V
As-93	05/05/06	Paraíso	Boquerón	V
As-94	08/06/06	Oreamuno	Franco Fernández	V
As-95	08/06/06	Oreamuno	Carlos Gómez 4	V
As-96	08/06/06	Oreamuno	Carlos Gómez 1	V
As-97	08/06/06	Oreamuno	Carlos Gómez 2	V
As-98	08/06/06	Oreamuno	Carlos Gómez	V
As-99	08/06/06	Oreamuno	La Regina	V
As-100	10/06/06	Central	Corralillo	V
As-101	10/06/06	Central	La Misión	V
As-102	10/06/06	Central	Río Loro	V
As-103	10/06/06	Central	Padre Méndez	V

ANEXO 4

Fotografías



Toma de muestras en nacimiento y colocación del preservante



En algunas ocasiones la accesibilidad a los lugares del muestreo fue difícil.



Tumor de piel provocado por arsénico en una paciente de Argentina

DOCUMENTO II

Cumplimiento de Objetivos:

Se cumplieron al 100% los objetivos propuestos.

En el caso de los objetivos específicos 2 y 3 se llevan a cabo de haberse encontrado fuentes positivas con arsénico.

Limitaciones y problemas encontrados

La única limitación importante corresponde al acople de los dos equipos utilizados en la investigación: el Absorción Atómica Perkin Elmer y los implementos comprados para armar el generador de hidruros, donde se presentó problemas y atrasos para acoplar las partes y las señales entre ambos.

Observaciones generales y recomendaciones

Los resultados de la no presencia de contenidos de arsénico en las muestras de la investigación que superen el límite de cuantificación del método, concuerdan con las condiciones hidrogeológicas y climáticas de la zona de Cartago, por lo que se sugiere una segunda parte del proyecto que abarque la zona de influencia hídrica de la Cordillera Volcánica de Guanacaste la cual si correlacionaría con las condiciones ambientales de otros países de América Latina en cuanto a acceso del agua y la utilización de pozos profundos para el abastecimiento de las poblaciones.