



## Determinación de arsénico total en cabello de individuos expuestos al embalse contaminado del Muña (Sibaté, Cundinamarca)

*María Inés Sarmiento MD. Epidemióloga Profesora Asistente, Alvaro Javier Idrovo MD. EHSO Estudiante Maestría en Salud Pública. Mauricio Restrepo Trujillo MD. MSc. Profesor Asistente Departamento de Salud Pública y Tropical Facultad de Medicina Universidad Nacional de Colombia.*

### ABSTRACT

In a previous environmental study in Sibaté (Cundinamarca) was detected arsenic in food and water for human consumption. An exploratory cross-sectional study was performed to explore the association between total arsenic levels in hair and residence near to the dam. Samples of hair from 50 subjects from schools and municipality workers were collected. This sample was classified in two exposure groups according to the place of residence to the dam. The chemical analysis were performed with an spectrophotometer of atomic absorption according to the protocol of the Toxicological Center of Quebec.

The findings showed that individuals from the non-exposed zone have higher arsenic levels than exposed ones ( $p=0.0452$ ). The concentrations ranked between non-detectable to 1611.40 ug/Kg in the exposed group to between non-detectable to 2077.50 ug/Kg in the non-exposed group. none of the individuals had any adverse effect potentially associated with arsenic. Exposure. In conclusion, this study doesn't show an association between to live near to the Muña's dam and high levels of total arsenic in hair.

### RESUMEN

Debido al hallazgo de arsénico en alimentos y agua para consumo y riego en la zona del embalse del Muña (Sibaté, Cundinamarca), se realizó un estudio exploratorio de corte transversal para poner a prueba la asociación

entre vivir cerca de dicho embalse y la absorción de arsénico utilizando como biomarcador el cabello. Para tal fin se recolectaron 50 muestras de cabello entre individuos voluntarios de los colegios de secundaria y la alcaldía municipal, que fueron clasificados en dos grupos de exposición según la cercanía del lugar de residencia al embalse. Los análisis químicos se realizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica según el protocolo del Centro de Toxicología de Quebec.

Los resultados indican que los residentes en la zona expuesta al embalse tienen unos niveles de arsénico en cabello menores que quienes viven lejos ( $p=0.0452$ ). Los valores encontrados oscilan entre no detectable y 1611.40 ug/Kg en el grupo expuesto y entre no detectable y 2077.50 ug/Kg en el grupo no expuesto. En ninguno de los individuos pudo detectarse algún efecto adverso potencialmente asociado con el arsénico. En conclusión, mediante la metodología usada no se encontró una asociación entre el vivir cerca al embalse del Muña y unos niveles aumentados de arsénico en cabello.

### INTRODUCCIÓN

El embalse del Muña se encuentra en el municipio de Sibaté (Cundinamarca) y se construyó hacia 1948 para utilizar sus aguas en la generación de energía

eléctrica en las hidroeléctricas de El Paraíso y La Guaca. Debido a la contaminación del río Bogotá, que es su principal afluente, desde hace aproximadamente 30 años el embalse comenzó a contaminarse con sustancias de toda índole, constituyéndose en la actualidad en uno de los cuerpos de agua más contaminados del país (1). Teniendo en cuenta que en un estudio ambiental previo en la zona (2), el arsénico fue identificado en varios medios y en algunos pocos casos con concentraciones superiores a los límites propuestos por agencias especializadas en el tema (Tablas 1,2), se decidió determinar los niveles de arsénico total en cabello entre 50 individuos residentes en el municipio de Sibaté y explorar la posible asociación con el embalse del Muña. Dicha población puede estar expuesta a este metaloide por el consumo de agua de fuentes cercanas al embalse, a las cuales pudo llegar el arsénico por la movilización subterránea o por el bombeo del agua, y de alimentos contaminados al ser regados con estas aguas.

La medición de arsénico en cabello es una técnica que ha demostrado servir como indicador de exposiciones pasadas. Su fundamento está en que el arsénico se acumula durante la fase de crecimiento del cabello gracias a que forma enlaces con la queratina (3). La concentración depende del tipo de ex

**Tabla 1.** Contenido de arsénico en muestras de leche y agua para consumo humano y riego de los alrededores del embalse del Muña (2).

Muestra	Agua (ug/l)*	Leche (ug/l)
1	40	55
2	40	68
	37	
3	37	70
4	47	66
5	44	66
6	50	76
7	37	69
8	44	53
	43	
9	37	38
	41	
10	32	54
11	38	56
12	52	50
13	45	55
	46	
14	-	43
15	-	46
16	-	69

\* Límite máximo permitido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos: 50 ug/l.

posición y de la velocidad de crecimiento del cabello, siendo constante en cada segmento si la exposición ha sido similar a través del tiempo. El crecimiento del cabello varía entre 0.75 y 1.35 cm por mes, aunque variables como la edad, el género y el embarazo pueden alterar de manera significativa esta velocidad (4-6).

La presencia del arsénico puede tener consecuencias negativas sobre la salud humana. La literatura informa que los efectos asociados con la ingestión crónica de arsénico son muy variados, siendo más grave la ingestión de las formas inorgánicas. Dentro de éstas se encuentran el arsénico trivalente y el arsénico pentavalente, siendo el primero de estos el más tóxico. Las manifestaciones de intoxicación crónica por arsénico se presentan dos a ocho semanas después de la ingestión e incluyen

**Tabla 2.** Contenido de arsénico en alimentos de la región del embalse del Muña (2).

Muestra	Arsénico ug/Kg
Fresa	360.0
Lechuga	5387.8
Lechuga	3998.9
Espinaca	4804.4
Espinaca	3471.0
Cilantro	693.3
Rábano	2360.0
Remolacha	665.6
Coliflor	1221.1
Papa	610.0
Calabacín	971.1
Apio	1304.4
Arveja	415.6
Hígado graso (res)	17.0
Hígado descompuesto (res)	464.0
Hígado total (res)	1832.0
Intestino delgado (res)	110.0
Carne magra (res)	1580.0

Para frutas y vegetales la FDA tiene como límite máximo permisible 1400 ug/Kg

signos y síntomas en la piel, sistema nervioso, hígado, sistema cardiovascular, sistema hematopoyético (disturbios en la eritropoyesis y con la formación megaloblástica) y tracto respiratorio. En la piel se pueden producir dermatitis eczematosas y foliculares, hiperpigmentación, verrugas (queratosis arsenical) e hiperqueratosis en las palmas de las manos y en las plantas de los pies; además el arsénico se asocia con tres tipos de cáncer dérmico: la enfermedad de Bowen, el carcinoma de células basales y el carcinoma de células escamosas. Así mismo, la intoxicación crónica puede ocasionar neuropatías periféricas de carácter reversible que afectan principalmente la función sensorial, hepatomegalia y cirrosis hepática. En el sistema cardiovascular se puede presentar acrocianosis y fenómeno de Raynaud (3,7).

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de corte transversal exploratorio de los niveles de metaloide con personas voluntarias residentes en Sibaté, las cuales se selec-

cionaron de dos lugares que concentraban grupos numerosos: los colegios de secundaria y la alcaldía municipal. Los escolares menores de 18 años tuvieron la autorización escrita de sus padres para participar en el estudio. La selección de los 50 individuos estudiados se efectuó, mediante el uso de la función de números aleatorios de una calculadora, entre 100 personas que participaron en un estudio similar en el que se establecieron los niveles de mercurio en cabello y plomo y cadmio en sangre, cuyos resultados se encuentran en otra publicación (8).

La recolección de las muestras se llevó a cabo durante tres días del mes de julio de 1997 y fue realizada por una enfermera. Cada individuo fue interrogado, por dos médicos, sobre los aspectos relacionados con su lugar de residencia, información demográfica y exposiciones ocupacionales o ambientales. La exposición al embalse del Muña fue estimada según la cercanía del lugar de residencia, de tal manera que los 550 metros inmediatamente aledaños al embalse fueron considerados como la zona expuesta, e incluyó toda la zona urbana con excepción de los barrios La Paz y La Playa; el resto del municipio se consideró como zona no expuesta. En la figura 1 se pueden apreciar las zonas de exposición consideradas en el estudio.

## Recolección, tratamiento y análisis de las muestras

Para recolectar la muestra de cabello de cada individuo, se seleccionó un mechón de la región occipital de aproximadamente, 1 cm de diámetro que fué cortado lo más cerca posible al cuero cabelludo; posteriormente, el mechón fué fijado en una hoja de papel y guardado en un sobre para ser llevado al laboratorio. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron guardadas y posteriormente lavadas con detergente y agua. La digestión fue realizada con permanganato de potasio y

ácido nítrico. El análisis fue realizado mediante espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito (PE HGA400). En todo este procedimiento se siguieron los protocolos del Centro Toxicológico de Quebec (CTQ) (9,10).

### Métodos Estadísticos

En primer lugar, se realizó una descripción de los niveles encontrados de acuerdo a las variables de lugar de residencia y características sociodemográficas. Posteriormente, se realizó un análisis para observar la asociación de cada una de las variables independientes y las covariables con los niveles de arsénico en cabello y, finalmente, un análisis multivariado explorando el efecto de los diferentes factores, simultáneamente. Para la interpretación de los resultados se realizaron pruebas de significancia estadística, y se analizaron las varianzas y las diferencias de promedios mediante la prueba de Scheffé. Todos estos análisis fueron hechos con el software Stata 5 (11).

### RESULTADOS

Las características sociodemográficas de la población que participó en el estudio se observan en la **tabla 3**. De manera individual se encontraron cinco sujetos con niveles superiores a 1.000 ug/Kg, el cual es considerado por el CTQ como el valor máximo admisible entre no expuestos (9). En la **tabla 4**. Se encuentran las concentraciones de arsénico en cabello total según nivel de exposición al embalse, después de retirar del análisis aquellos individuos que tuvieron por resultado valores no detectables. Allí se puede apreciar que los individuos expuestos al embalse presentan niveles significativamente ( $p=0.0452$ ) menores que los no expuestos. Al examinar la edad de los individuos se puede apreciar que entre los no expuestos menores de 20 años tienen valores menores al ser



**Figura 1.** Esquema de la región de estudio mostrando las zonas de exposición al embalse del Muña.

comparados con los mayores de esta edad. Este hecho contrasta con los individuos de la región expuesta donde se evidencia el efecto contrario. Sin embargo, estas diferencias por edad no fueron estadísticamente significativas (tabla 5); tampoco se encontraron diferencias por sexo, consumo de cigarrillo u ocupación.

En el análisis multivariado no se encontró un modelo con suficiente poder y significancia estadística que explicara los niveles de arsénico en el grupo y la zona de estudio de acuerdo a las variables lugar de residencia y edad, interviniendo de manera simultánea. Pese a esto, se observó un peso importante de la variable edad modificando los niveles de arsénico en el grupo de los no expuestos al embalse.

### DISCUSIÓN

La evidencia de encontrar arsénico en el agua y algunos alimentos producidos en la región aledaña al embalse del Muña no es un hallazgo extraordinario.

El arsénico se encuentra ampliamente distribuido por toda la corteza terrestre de manera natural, aunque en algunas zonas se puede encontrar aumentado por la presencia de industrias contaminantes. En el agua se encuentra de forma natural en regiones que presentan actividad térmica; algunos de los lugares donde se han descrito mayores niveles de arsénico en agua son Córdoba (Argentina), Tainan (Taiwan), Oregón (Estados Unidos) y la región lagunera del norte de México. Los niveles de arsénico en el agua reportados en Sibaté son muy bajos si se comparan con los encontrados en regiones con importante exposición, como es el caso de la zona lagunera al norte de México donde las concentraciones oscilan entre cuatro y seis mg/l y se han presentado efectos adversos en la salud claramente asociados al arsénico (3).

La estimación de la exposición utilizada en este trabajo, de acuerdo con el lugar de residencia, (variable ecológica) es una forma gruesa de

aproximarse a la exposición al arsénico presente en el embalse; no se consideraron las posibles vías de exposición como la ingesta de agua o alimentos contaminados. Esta consideración debe tenerse en cuenta en el análisis de los hallazgos presentados. En este estudio se encontró que el promedio de los niveles de arsénico total entre las personas expuestas al embalse del Muña no sobrepasaron los de las personas no expuestas. Por el contrario, se encontró una asociación entre altos niveles de arsénico en cabello y residencia lejana al lugar del embalse. Este hallazgo debe interpretarse con cautela puesto que corresponde a una primera fase exploratoria donde los individuos estudiados no son representativos de la población general de Sibaté; sin embargo, al parecer la selección de estos sujetos no se vio alterada por la forma en que se estimó la exposición, de manera que no existió sesgo de selección. Una hipótesis que surge de los hallazgos de este trabajo es que la mayor concentración de arsénico entre los individuos con residencia lejana al embalse se podría asociar con la presencia de una fuente natural o antropogénica aún no descrita en esta región.

Si se comparan individualmente las concentraciones de arsénico en cabello de los individuos de Sibaté con los reportados en el estudio clásico de Smith (12), donde en más del 80% de 1000 individuos se encontraron niveles menores de 1 mg/kg (1000 ug/kg), se pueden identificar cinco (10%) individuos con niveles superiores, de los cuales solo uno refirió haber tenido exposición ocupacional previa. Por otro lado, entre individuos residentes en la costa suroeste de Taiwan con enfermedad del pie negro ("blackfoot disease"), patología vascular periférica asociada con la exposición al arsénico similar a una tromboangitis obliterante aunque con

**Tabla 3.** Algunas características demográficas de los individuos según lugar de residencia.

Localización	n	Género		Edad (años)		
		Hombres	Mujeres	15-20	21-30	31 o más
Expuestos	42	14	28	19	11	12
No Expuestos	8	4	4	3	1	4
Total	50	18	32	22	12	16

**Tabla 4.** Concentraciones de arsénico en cabello según exposición al embalse del Muña.

Lugar de Residencia	n*	Arsénico en cabello total (ug/Kg)			
		Promedio	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
Expuestos al embalse	33	413.90	380.17	10.50	1611.40
No expuestos al embalse	7	784.14	631.07	176.40	2077.50

\* En 9 individuos expuestos y 1 no expuesto no se pudo detectar arsénico.

**Tabla 5.** Concentraciones de arsénico en cabello según edad y exposición al embalse del Muña.

Lugar de Residencia	n*	Arsénico en cabello total (ug/Kg)			
		Promedio	Desv. estándar	Mínimo	Máximo
Expuestos al embalse					
Hasta 20 años	16	420.43	407.26	10.50	1611.40
Mayores de 20 años	17	407.75	365.35	85.30	1199.70
No expuestos al embalse					
Hasta 20 años	2	559.25	92.98	493.50	625.00
Mayores de 20 años	5	874.10	748.21	176.40	2077.50

\* En 9 individuos expuestos y 1 no expuesto no se pudo detectar arsénico.

síntomas más severos, se encuentran concentraciones de  $410 \pm 240$  ug/kg ( $0.41 \pm 0.24$  ppm) (13); este valor promedio es superado en el 38% de los casos de Sibaté, mientras el valor máximo (650 ug/kg) solo es sobrepasado en el 16% de los individuos. Pese a este hallazgo, en ninguno de los casos anteriores se registró la enfermedad del pie negro u otras manifestaciones de intoxicación crónica por arsénico. Esto puede deberse a que las formas de arsénico presentes en la zona estudiada no son las más tóxicas para los humanos.

Hasta donde conocemos, este trabajo es uno de los pocos realizados en Colombia que ha estudiado la exposición ambiental a arsénico en poblaciones humanas (14), y el primero que lo hace usando como biomarcador el cabello. En conclusión, los resultados encontrados en el presente trabajo no sugie-

ren una asociación entre los niveles de arsénico en cabello y la exposición al embalse del Muña.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de los profesores de la Unidad de Toxicología de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional de Colombia: Jairo Téllez, Myriam Gutiérrez, María Luisa Cárdenas y Nancy Patiño, durante la fase inicial del diseño del estudio, y a Gerardo Nava Tovar del Laboratorio Salud Ambiental del Instituto Nacional de Salud por sus aportes al documento final. El químico Luis Enrique Lesmes de la firma Química - Química y Consultoría Colombiana realizó los análisis de aguas, alimentos y arsénico en cabello.

Este trabajo fue realizado por contrato No. 7221 de 1996 con EMGESA S.A. ESP.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Toro MC.** Diagnóstico fisicoquímico y biológico del embalse del Muña [Informe]. Santafé de Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 1994.
2. **Sarmiento MI, Idrovo AJ, Restrepo M, Díaz MP, González A.** Estudio de morbi-mortalidad en la zona de influencia del embalse del Muña (Informe Final). Santafé de Bogotá - EMGESA S.A. ESP, 1998.
3. **WHO/IPCS.** Environmental health criteria 18: Arsenic. Geneva: WHO, 1981.
4. **Landrigan PJ.** Arsenic. In: Rom WN. Environmental and occupational medicine. Boston, Little Brown and Company, 1983: 473-9.
5. **Giovanoli-Jakubczak T, Berg GG.** Measurement of mercury in human hair. Arch Environ Health 1974; 28: 139-44.
6. **Baloh RW.** Laboratory diagnosis of increased lead absorption. Arch Environ Health 1974; 28: 198-208.
7. **Calabrese EJ, Canada AT, Sacco C.** Trace elements and public health. Annu Rev Public Health 1985; 6: 131-46.
8. **Sarmiento MI, Idrovo AJ, Restrepo M, Díaz MP, González A.** Evaluación del impacto del embalse del Muña sobre la salud humana. Rev Salud Pública 1999; 1(2): 157-171.
9. **Centre de Toxicologie du Quebec (CTQ).** Méthode mormalisé pour le dosage de l'arsenic dans les cheveux par absorption atomique avec four de graphite M-126-A. Quebec: Centre de Toxicologie du Quebec, 1980.
10. **Podlesky EO, Ortíz JE, de García GV.** Determinación de trazas de metales en muestras biológicas y ambientales. Santafé de Bogotá: Instituto Nacional de Salud, 1992.
11. **Hamilton LC.** Statistics with STATA 5. Pacific Grove: Duxbury Press, 1998.
12. **Smith H.** The interpretation of the arsenic content of human hair. Forensic Sci Soc J 1964; 4: 192-9.
13. **Lin TH, Huang YL, Wang MY.** Arsenic species in drinking water, hair, fingernails, and urine of patients with blackfoot disease. J Toxicol Environ Health 1998; 53(2): 85-93.
14. **Interamerican Group for Research in Environmental Epidemiology.** The health of Latin Americans exposed to polluted rivers: a triple-blind observational study. Int J Epidemiol 1990; 19(4): 1091-9.