

ARTÍCULOS ORIGINALES

ESTIMACIÓN DE RIESGO CARCINÓGENO POR EXPOSICIÓN CRÓNICA AL ARSÉNICO A TRAVÉS DEL AGUA DE CONSUMO EN LA PUNA, JUJUY

*Estimation of Carcinogenic Risk due to Chronic Exposure to Arsenic via Water for Human Consumption in Puna, Jujuy*Lorena Cecilia López Steinmetz¹, Silvana Laura Díaz²

RESUMEN. INTRODUCCIÓN: La ingesta crónica de arsénico (As) se asocia con cáncer. Se sabe que las cuencas hídricas de la Puna de Jujuy contienen As y que muchos hogares no tienen agua potable de red, pero aún no se había estimado el riesgo carcinógeno para los pobladores por ingerir el agua local. OBJETIVOS: Estimar el nivel de riesgo carcinógeno para los pobladores locales debido a exposición crónica al As a través del agua de bebida. MÉTODOS: Se determinaron las concentraciones de As en muestras de agua de consumo de poblados de Cochinoca, Susques y Tumbaya con espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente. Se calculó el riesgo carcinógeno con modelos matemáticos de la *United States Environmental Protection Agency*. RESULTADOS: Se halló As en todas las muestras (rango 0,041-0,34 mg/l/As), y el 83% superó el máximo permitido para agua potable (0,05 mg/l/As). Según las concentraciones medias de As por departamento, el riesgo carcinógeno para los pobladores estuvo entre $2,44 \times 10^{-3}$ y $5,89 \times 10^{-3}$. El riesgo carcinógeno para quienes consumen agua potable de red fue de $2,36 \times 10^{-3}$ y para quienes consumen agua de otras procedencias, de $4,76 \times 10^{-3}$. Todos los valores hallados superaron el máximo de aceptabilidad del riesgo asociado a la exposición a un carcinógeno (10^{-5}). CONCLUSIONES: Es necesario implementar programas de comunicación de riesgos y políticas en salud para disminuir riesgos debidos a ingesta de agua con contenidos arsenicales en esta región.

PALABRAS CLAVE: Arsénico; Agua Potable; Riesgo Carcinógeno; Exposición a Riesgos Ambientales; Puna

¹ Instituto de Investigaciones Psicológicas, Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

² Instituto de Biología Celular y Neurociencia Prof. E. de Robertis, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

FUENTE DE FINANCIAMIENTO: Beca "Carrillo-Oñativia" 2015, categoría Perfeccionamiento, otorgada por la Dirección de Investigación para la Salud (ex-Comisión Nacional Salud Investiga), Ministerio de Salud de la Nación, Argentina.

FECHA DE RECEPCIÓN: 3 de septiembre de 2018

FECHA DE ACEPTACIÓN: 1 de noviembre de 2018

CORRESPONDENCIA A: Lorena Cecilia López Steinmetz

Correo electrónico: steinramirez@hotmail.com

Registro RENIS N°: IS000907

ABSTRACT. *INTRODUCTION:* Chronic intake of arsenic (As) is associated with cancer. It is known that water from the Puna region of Jujuy contains As, and that many households do not have access to drinking water from public water supply, but the carcinogenic risk for inhabitants due to drinking local water had not been estimated yet. *OBJECTIVES:* To estimate the carcinogenic risk level for local inhabitants due to chronic exposure to As through drinking water. *METHODS:* As concentrations in drinking water samples from hamlets of Cochinoca, Susques and Tumbaya was determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy. Carcinogenic risk was calculated with mathematical models of the *United States Environmental Protection Agency*. *RESULTS:* As was found in all samples (range 0.041-0.34 mg/l/As), and 83% exceeded the maximum allowed for drinking water (0.05 mg/l/As). According to mean concentrations of As by department, the carcinogenic risk for inhabitants was between 2.44×10^{-3} and 5.89×10^{-3} . Carcinogenic risk for those who consume drinking water from public supply was 2.36×10^{-3} , and for those who consume water from other sources was 4.76×10^{-3} . All values found exceeded the maximum risk acceptability associated to carcinogen exposure (10^{-5}). *CONCLUSIONS:* It is necessary to implement risk communication programs and health policies to reduce risks due to water intake with arsenic content in this region.

KEY WORDS: Arsenic; Drinking Water; Carcinogenic Risk; Environmental Exposure; Puna

INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es el vigésimo elemento natural más abundante en la Tierra. Es movilizado al medio ambiente a través de una combinación de procesos, tanto geológico-naturales como antropogénicos. Los seres humanos están expuestos al As a través del aire, del agua y de la comida. En el agua, el As puede estar presente en aguas subterráneas y superficiales¹. El agua puede contaminarse por medio de productos químicos arsenicales desechados indebidamente, a través de pesticidas arsenicales o por depósitos minerales naturales.

Para el ser humano, el As es un elemento extremadamente tóxico. En Argentina, la concentración máxima permitida en agua potable es de 0,05 mg/l/As², mientras que

la Organización Mundial de la Salud (OMS)³ recomienda 0,01 mg/l/As como valor de referencia máximo. El As está clasificado en el grupo 1 según la evaluación de riesgos carcinógenos para humanos de la *International Agency for Research on Cancer*⁴. Según alertan estudios de revisión, en países con población expuesta a largo plazo al As en napas subterráneas, 1 de cada 10 personas que toman agua con 0,5 mg/l/As pueden morir a causa de diferentes tipos de cáncer —de pulmón, de vejiga, de piel— causados por este metal pesado⁵. Es ampliamente reconocido que la exposición prolongada al As a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas, pero el elemento en cuestión está asociado además a neurotoxicidad, problemas del desarrollo, enfermedades cardiovasculares y diabetes⁶. Debido al poder carcinógeno⁴ y neurotóxico del As, la contaminación del agua provocada por dicho metal es señalada como un serio problema de salud pública a nivel mundial^{1,6}.

El oeste de la provincia de Jujuy (Puna) es señalado como una zona geológicamente contaminada por As⁷, debido a que se reportaron altos contenidos en agua superficial y profunda de algunos departamentos de esa región⁷⁻⁹. Sin embargo, hasta ahora no se habían publicado estudios que determinaran las concentraciones de As en agua de consumo a fin de estimar el nivel de riesgo carcinógeno para sus pobladores. En esta región hay hogares que carecen del suministro de agua potable de red pública. Según datos del último censo (2010), el 23% de los hogares de Cochinoca, el 24% de los de Susques y el 30% de los de Tumbaya no tienen acceso al servicio de red pública, por lo que el agua que consumen proviene de pozo, lluvia, río, canal, arroyo, acequia, transporte por cisterna, perforación con bomba de motor o manual¹⁰. En estos hogares, la potabilización del agua consiste fundamentalmente en su cloración para reducir el contenido bacteriológico, pero en general no se aplican procesos tendientes a controlar la presencia de sustancias inorgánicas con efectos nocivos para la salud, como el As. Así, la falta de suministro de agua potable de red pública en esta región constituye un factor adicional de exposición ambiental al As.

Las cuencas hídricas de la Puna de Jujuy se sitúan a una altura media de 3600 metros sobre el nivel del mar, y sus características responden a la rigurosidad ambiental típica de esta región. El clima presenta extremos de aridez y temperatura. La amplitud térmica diaria puede abarcar 30 °C, con intensa radiación por la escasa nubosidad y menor difusión de oxígeno en el aire debido a la altitud. Las precipitaciones pluviales oscilan entre 50 y 300 mm por año, con un régimen estacional estival. La humedad relativa anual es de 47%, y la presión atmosférica es de 660 hPa¹³.

La Puna jujeña es un área rural de ingresos medios-bajos, que se dedica principalmente a actividades pastoriles, como la cría de especies camélicas, ovejas y cabras. De acuerdo con el último censo, la densidad poblacional de los sitios de estudio es de 0,4 habitantes/km² en Susques, 1,6 habitantes/km² en Cochinoca y 1,4 habitantes/km² en

Tumbaya¹⁴. La distribución poblacional en las regiones de la Puna y la Quebrada está estrechamente relacionada con las rutas y ferrocarriles —trazados en sentido longitudinal siguiendo la dirección de la quebrada principal y complementariamente con algunas quebradas adyacentes—, así como con la cercanía de los ríos. Por lo tanto, la distribución típica de estas regiones exhibe unos pocos y pequeños conglomerados poblacionales, separados unos de otros por vastas extensiones deshabitadas.

Los recursos hídricos son de importancia estratégica y vital para los pobladores puneños. Según datos locales el agua de consumo en la Puna jujeña tiene concentraciones elevadas de As⁷⁻⁹, y los antecedentes internacionales indican que la ingesta crónica de agua con niveles superiores al valor de referencia recomendado por la OMS provoca efectos nocivos para la salud y se asocia especialmente con cáncer^{1,4,6,11}. A partir de tales consideraciones, el objetivo de esta investigación fue estimar el nivel de riesgo carcinógeno para los pobladores locales por exposición crónica al As a través del agua de bebida.

MÉTODOS

ÁMBITO DE ESTUDIO

Se incluyeron muestras de agua de localidades y case-ríos de los departamentos de Cochinoca, Susques (Puna) y Tumbaya (Quebrada). Los departamentos puneños se seleccionaron sobre la base del conocimiento geológico, que indica presencia de As en los sustratos de esta región (principalmente en relación con los salares Caucharí-Olaroz y Salinas Grandes) y determinaría la existencia de este metal en el agua recogida de cuencas hídricas para el consumo humano. También se seleccionó una localidad de Tumbaya debido a su adyacencia al límite geográfico de la Puna y porque su territorio es atravesado por cuencas hídricas provenientes de esta última región, lo que la convierte en parte de la vía de exposición (es decir, del curso que un agente químico o físico toma desde una fuente a un organismo expuesto). Cada vía de exposición comprende una fuente o liberación de una fuente, un punto de exposición y una ruta de exposición. Además, si el punto de exposición difiere de la fuente, incluye también un medio de transporte (por ejemplo, agua)¹².

MUESTRAS DE AGUA Y ANÁLISIS QUÍMICOS

Las muestras de agua se recolectaron durante la estación seca (agosto de 2015). La Figura 1 (ver anexo electrónico: <http://rasp.msal.gov.ar/rasp/articulos/volumen37/AO-LS-Mapa.pdf>) presenta la ubicación geográfica de los sitios de muestreo. Se recogieron muestras de la red pública (grifo) y de procedencias naturales, de donde obtienen el agua los pobladores para su consumo. El total quedó constituido por 7 muestras en Cochinoca, 8 en Susques y 3 en Tumbaya (n = 18), que fueron denominadas con la inicial del departamento de origen (C, S, T) y un número, más una letra cuando provenían de lugares muy próximos entre sí. La cantidad de muestras puede parecer limitada,

pero es apropiada si se consideran ciertas características importantes del área de estudio, tales como su aridez¹³, su baja densidad¹⁴ y su distribución poblacional típica, que determinan que los sitios de muestreo disponibles sean sólo unos pocos.

Las técnicas de recolección de muestras de agua se ajustaron al protocolo del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria¹⁵ para las siguientes procedencias: agua de red, agua de perforaciones o pozos, agua superficial proveniente de un curso de agua en movimiento (río, arroyo, etc.) o tanque de almacenamiento. Las muestras se recogieron en cantidades mayores o iguales a 500 ml cada una, en envases plásticos limpios y rotulados. Fueron almacenadas a resguardo del sol, conservadas en frío (4-8 °C) y enviadas al laboratorio bromatológico IACA, sede Darwin, Bahía Blanca (acreditado por la Fundación Bioquímica Argentina), para realizar los análisis. El método analítico para las determinaciones de As fue espectroscopía de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES, por sus siglas en inglés). Adicionalmente, se incluyeron las siguientes determinaciones de algunos parámetros físico-químicos señalados en normas oficiales nacionales² para la calidad del agua potable y de otros, tales como: pH (potenciométrico), conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, calcio (espectrofotométrico), magnesio (ICP-AES), sodio (ICP-AES), potasio (ICP-AES), cloruros (titrimétrico-Mohr), sulfatos (turbidimétrico) y alcalinidad total (en CaCO₃). Dichos valores se presentan en la Tabla 1.

CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RIESGO

El riesgo se modeló matemáticamente. Los modelos apli-

cados para el análisis de riesgo sanitario fueron los de la *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), que cuentan con reconocimiento internacional. De acuerdo con ellos, la dosis media diaria de por vida (LADD, por sus siglas en inglés) es una estimación de la ingesta diaria de un agente carcinógeno durante toda la vida de un individuo. Por lo tanto, se estimó la dosis media diaria de As que ingieren de por vida los habitantes de los departamentos en estudio. Siguiendo la recomendación de la USEPA¹⁶ para efectos como el cáncer, donde la respuesta biológica se describe generalmente en términos de probabilidades durante toda la vida, aunque la exposición no sea permanente, las dosis se presentan como promedio de por vida. Atento a ello, correspondió aplicar la ecuación de dosis media diaria potencial de por vida (LADD_{pot}, por sus siglas en inglés), cuyo cálculo considera la exposición crónica a una sustancia con efectos cancerígenos —en este caso, al As— por ingesta diaria de agua expresada en mg/kg/día¹⁶:

$$LADD_{pot} = [C \times IR \times ED] / [BW \times LT]$$

Donde C: concentración media de la exposición a la sustancia en el agua; IR: tasa media de ingesta diaria de agua; ED: duración de la exposición; BW: peso corporal; y LT: duración de la vida humana (por sus siglas en inglés en todos los casos).

Dado que C se expresa mejor como una estimación de la media aritmética independientemente de la distribución de los datos¹⁶, se calcularon las LADD_{pot} para las concentraciones medias departamentales de As y para las concentraciones medias de As según procedencia del agua (C expresadas en mg/l en todos los casos). Para IR se utilizó el valor de 2 litros/día (promedio en adultos), que es

TABLA 1. Determinaciones de parámetros físico-químicos en muestras de agua de consumo de localidades y caseríos de los departamentos Cochinoqa, Susques y Tumbaya, y valores máximos permitidos en agua potable para algunas sustancias inorgánicas según el Código Alimentario Argentino (Ley 18284).

Muestra	pH	CE microS/cm	SDT mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	CaCO ₃ mg/l
C1a	8,2	2200	1470	106	11	355	24	525	235	215
C1b	8	2050	1485	103	13	368	22	530	227	220
C2a	8,1	2010	1330	103	10	345	17	530	215	208
C2b	8	2030	1345	110	14	350	20	515	210	213
C3a	8	2320	2228	98	9	360	19	520	220	223
C3b	7,9	2300	2150	102	11	358	23	511	215	210
C4	8,1	2030	1200	103	14	225	15	445	228	263
S1a	8,2	4000	2600	160	7	560	61	1100	250	275
S1b	8	3800	2500	130	8	565	60	1000	200	265
S2a	8,1	2300	1495	116	12	365	18	550	200	225
S2b	8,1	2310	1490	108	14	367	21	545	220	230
S3	8,1	1400	710	97	16	113	16	194	65	175
S4	8,1	2050	1332	104	14	260	18	470	237	287
S5	8	1010	660	82	20	97	15	185	65	167
S6	8	1020	663	84	21	95	14	180	70	162
T1a	8,2	880	572	64	26	74	9	80	137	225
T1b	8,1	880	583	69	25	78	11	85	140	230
T2	8	870	563	70	22	73	10	90	110	222
Código Alimentario Argentino	6,5 - 8,5	-	1500	-	-	-	-	350	400	400

Abreviaturas: C = Cochinoqa; S = Susques; T = Tumbaya.

recomendado por la USEPA¹² y cuenta con antecedentes en Argentina, donde se aplicó al evaluar el riesgo de efectos tóxicos carcinógenos debido al consumo de agua con As^{17,18}. Para BW, dada la ausencia de antecedentes y datos locales publicados al respecto, se calculó el peso corporal promedio sobre la base del único estudio con esos datos disponibles (y no sólo de masa corporal) en una muestra de adultos de Jujuy¹⁹, de lo cual resultó BW = 68,72 kg (promedio en adultos). Para LT (estadística) se utilizó el valor de esperanza de vida al nacer en Jujuy para 2008-2010, que fue de 74,82 años²⁰. Para ED, dado que se evaluó el nivel de riesgo carcinógeno para los pobladores debido a exposición crónica (de por vida) al As a través del agua de bebida, correspondió la equivalencia ED \equiv LT. Dicha equivalencia se asumió sobre la base de datos sobre comportamiento migratorio que caracterizan a la Puna y la Quebrada jujeñas, con las tasas de migración negativas más altas de la provincia²¹.

Para cada una de las LADD_{pot} calculadas se estimaron los niveles de riesgo para efectos tóxicos carcinógenos por ingesta crónica de agua con altos contenidos de As, a los que están expuestos los habitantes de los sitios en estudio. Los modelos de evaluación de riesgo para carcinógenos generalmente se basan en la premisa de que el riesgo es proporcional a la dosis acumulada. Por lo tanto, para los escenarios de exposición humana de por vida, la métrica de exposición utilizada para la evaluación del riesgo carcinógeno son las LADD_{pot}. Esta métrica se usa normalmente junto con el factor de pendiente (SF, por sus siglas en inglés) correspondiente a la sustancia en cuestión para calcular el exceso de riesgo individual de cáncer. El SF es un valor referencial toxicológico según la ruta de exposición, que se utiliza para estimar el límite superior de probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer como resultado de la exposición de por vida a un

nivel particular de un potencial carcinógeno¹². Así, siguiendo los modelos de la USEPA¹², se aplicó la ecuación para el cálculo de riesgo carcinógeno (*Risk*):

$$Risk = LADD_{pot} \times SF$$

Donde SF para As por exposición oral disuelto en agua (oral SF) = 1,5 mg/kg/día²².

Según los modelos de la USEPA^{12,16}, al evaluar riesgo carcinógeno, se considera que una población está en riesgo cuando a bajas dosis de la sustancia la probabilidad de que un individuo desarrolle cáncer sobrepasa 10⁵ (lo que equivale a un nuevo caso asimilable a esa causa por cada 100 000 expuestos), o bien, cuando a altas dosis de la sustancia esa probabilidad sobrepasa 10⁶ (lo que equivale a un nuevo caso asimilable a esa causa por cada 1 000 000 expuestos). En Argentina, la aceptabilidad del riesgo asociado a la exposición a un carcinógeno también es de 10⁵.²³

RESULTADOS

CONCENTRACIONES DE AS EN AGUA DE CONSUMO

Todas las muestras contenían As y sus concentraciones estuvieron en rangos de 0,041-0,082 mg/l en Cochinoa, 0,042-0,34 mg/l en Susques y 0,052-0,058 mg/l en Tumbaya (Tabla 2). La concentración media de As para el total de muestras fue de 0,096 mg/l (\pm 0,087).

En las concentraciones medias de As por departamento, la más elevada correspondió a Susques (0,135 mg/l/As \pm 0,119), aunque no se diferenció significativamente de la media de Cochinoa ($t_{(df\ 13)} = 1,47$, $p > 0,05$) ni de la media de Tumbaya ($t_{(df\ 9)} = 1,76$, $p > 0,05$). La segunda concentración media de As más elevada fue la de Cochinoa (0,069 mg/l/As \pm 0,013), la cual se diferenció significativamente de la media de Tumbaya ($t_{(df\ 8)} = 2,41$, $p < 0,05$), que fue la menor (0,056 mg/l/As \pm 0,003). No obstante, las concentraciones medias de los tres departamentos superaron

TABLA 2. Concentraciones de As en muestras de agua de consumo de localidades y caseríos de los departamentos Cochinoa, Susques y Tumbaya.

Muestra	Departamento	Localidad o caserío de consumo	Procedencia del agua	As (mg/l)
C1a	Cochinoa	Barrancas. Abdón Castro Tolay	Arroyo	0,072
C1b		Barrancas. Abdón Castro Tolay	Arroyo	0,075
C2a		Rinconadillas	Vertiente	0,082
C2b		Rinconadillas	Vertiente	0,080
C3a	Susques	Santuario Tres Pozos	Río	0,068
C3b		Santuario Tres Pozos	Río	0,069
C4		Aguadita del Cerro Negro	Transporte por cisterna	0,041
S1a		Susques (Capital)	Río	0,34
S1b		Susques (Capital)	Río	0,34
S2a		Paraje Angosto El Taire	Arroyo	0,075
S2b	Paraje Angosto El Taire	Arroyo	0,1	
S3	Susques	Olaroz	Perforación con bomba	0,065
S4		Susques (Capital)	Red pública (grifo)	0,075
S5		Susques (Capital)	Red pública (grifo)	0,045
S6		Susques (Capital)	Red pública (grifo)	0,042
T1a	Tumbaya	Purmamarca	Río	0,058
T1b		Purmamarca	Río	0,057
T2		Purmamarca	Red pública (grifo)	0,052

Abreviaturas: As = arsénico; C = Cochinoa; S = Susques; T = Tumbaya.

el valor máximo permitido ($>0,05$ mg/l/As).

En datos categorizados según procedencia del agua, la concentración media de As del grupo de red pública ($0,054$ mg/l/As \pm $0,013$) fue significativamente menor que la media del grupo de otras procedencias ($0,109$ mg/l/As \pm $0,095$), pero ambas superaron el valor máximo permitido en Argentina ($>0,05$ mg/l/As).

ANÁLISIS DE RIESGO CARCINÓGENO POR EXPOSICIÓN CRÓNICA AL AS A TRAVÉS DEL AGUA DE CONSUMO

En la Tabla 3 se presentan las LADD_{pot} y los correspondientes niveles de riesgo por efectos tóxicos carcinógenos debidos a ingesta de agua con diferentes concentraciones medias de As, calculados para los habitantes de localidades y caseríos de los departamentos examinados. Teniendo en cuenta las concentraciones medias de As por departamento, el riesgo carcinógeno (*Risk*) debido a ingesta de por vida de agua arsenical para los pobladores locales se encuentra en el rango de un mínimo de 2,44 a un máximo de 5,89 nuevos casos de cáncer asimilables a esa causa por cada 1000 expuestos en Tumbaya y Susques, respectivamente. Al considerar las medias de As según procedencia del agua, el riesgo carcinógeno debido a ingesta de por vida de agua arsenical es de 2,36 nuevos casos asimilables a esa causa por cada 1000 expuestos entre pobladores que ingieren agua potable de red y de 4,76 nuevos casos por cada 1000 expuestos entre pobladores que ingieren agua de otras procedencias.

DISCUSIÓN

La presencia de altos niveles de As en agua de consumo y su relación con efectos nocivos para la salud⁵, especialmente cáncer^{4,6,11}, está descripta internacionalmente. Hay estudios sobre presencia de As en agua de algunas regiones de Argentina^{1,17,18,24-29}. En Jujuy, esos estudios son escasos⁹ y, hasta la fecha, no se había estimado el nivel de riesgo carcinógeno al que están expuestos los pobladores locales debido a la ingesta crónica de agua con concentraciones de As.

En este estudio, las tres concentraciones medias departamentales de As y la mayoría de muestras individuales —excepto 3 de ellas: C4, S5, S6— superaron el valor máximo permitido de $0,05$ mg/l/As para agua potable vigente en Argentina², y todas sobrepasaron el valor de referencia máximo de $0,01$ mg/l/As recomendado por la

OMS³. Las muestras recogidas de la red pública de agua potable fueron las que más se aproximaron al mencionado valor máximo permitido en Argentina.

Si se las compara con otros estudios, las concentraciones de As más altas en muestras individuales de agua de consumo (S1a, S1b = $0,34$ mg/l/As) halladas aquí superaron, por ejemplo, a las reportadas en localidades de la vecina provincia de Salta, tales como $0,208$ mg/l en San Antonio de los Cobres, $0,072$ mg/l en Salar de Pocitos, $0,012$ mg/l en Olacapató ($n = 2$ en cada localidad), $0,018$ mg/l en Santa Rosa de los Pastos Grandes y $0,003$ mg/l en Tolar Grande ($n = 1$ en cada localidad)^{24,25}.

En este estudio, las concentraciones medias de As por departamento fueron elevadas, pero las de muestras individuales variaron en un amplio rango. Se hipotetizó que ello podría deberse a las diferentes procedencias incluidas en los muestreos ante la falta de acceso a agua potable de red en numerosos hogares¹⁰. El análisis de los datos agrupados según origen del agua respondió a dicha hipótesis. La concentración media de As hallada en el grupo de otras procedencias duplicó a la correspondiente media en el grupo de red pública, y esa diferencia fue estadísticamente significativa. No obstante, ambas medias superaron tanto el valor máximo de As permitido para agua potable en Argentina como el valor recomendado por la OMS. La media de As en el grupo de otras procedencias fue 2,18 veces mayor al valor máximo permitido en Argentina y 10,9 veces mayor al recomendado por la OMS, mientras que en el grupo de red pública la media de As representó 1,08 y 5,4 veces los citados valores de referencia, respectivamente. Según algunos reportes, los niveles de As en napas subterráneas que superan de 10 a 100 veces el valor recomendado por la OMS para agua potable pueden ser una amenaza para la salud humana⁵, por lo que los valores hallados aquí tienen importancia sanitaria.

En términos de análisis sanitarios, los hallazgos indican que los pobladores de todos los sitios examinados están expuestos a riesgo carcinógeno, ya que ingieren agua arsenical que supera el valor de 10^5 , establecido como máximo aceptable por exposición a sustancias carcinógenas en agua de consumo^{12,16,23}. En comparación con otros estudios, los niveles de riesgo carcinógeno encontrados aquí (mínimo de $2,44 \times 10^3$ en Tumbaya, máximo de $5,89 \times 10^3$ en Susques) superaron los valores mínimos y se aproximaron a los máximos consignados en la llanura

TABLA 3. Dosis media diaria potencial de por vida de As y nivel de riesgo por efectos tóxicos carcinógenos debido a ingesta de agua con concentraciones de As.

Departamento	Concentración media* de As (mg/l)	LADD _{pot} (mg/kg/día)	Risk (casos x expuestos)
Cochinoca (n = 7)	0,069 (\pm 0,013)	2,01 E-03	$3,01 \times 10^3$
Susques (n = 8)	0,135 (\pm 0,119)	3,93 E-03	$5,89 \times 10^3$
Tumbaya (n = 3)	0,056 (\pm 0,003)	1,63 E-03	$2,44 \times 10^3$
Procedencia del agua	Concentración media* de As (mg/l)	LADD _{pot} (mg/kg/día)	Risk (casos x expuestos)
Red pública (n = 4)	0,054 (\pm 0,013)	1,57 E-03	$2,36 \times 10^3$
Otras procedencias (n = 14)	0,109 (\pm 0,095)	3,17 E-03	$4,76 \times 10^3$

Abreviaturas: As = arsénico; LADD_{pot} = Dosis media diaria potencial de por vida; Risk = Nivel de riesgo carcinógeno.

* Media (\pm desviación estándar).

Chaco-Pampeana de Argentina (mínimo de $3,5 \times 10^{-4}$ y máximo de $8,5 \times 10^{-3}$ ambos en Bahía Blanca)¹⁸, una de las regiones más amplias del mundo conocida por tener altas concentraciones de As en aguas subterráneas. Por otra parte, los valores hallados también sobrepasaron los niveles de riesgo carcinógeno mínimos, pero no los máximos, registrados en Santiago del Estero y Chaco (mínimo de 5×10^{-5} y máximo de $2,1 \times 10^2$)¹⁷. Esta investigación reveló, además, que tanto los pobladores que consumen agua potable de red como los que beben agua de otras procedencias están expuestos a niveles de riesgo ($2,36 \times 10^{-3}$ y $4,76 \times 10^{-3}$, respectivamente) que superan el valor de aceptabilidad del riesgo asociado a la exposición a un carcinógeno^{12,16,23}.

En los departamentos estudiados, las tasas de mortalidad por tumores (por 100 000 habitantes) en 2011 y 2012 fueron de alrededor de 50 y 100 en Susques, 20 y 75 en Cochinoca, y 105 y 170 en Tumbaya, respectivamente³⁰. Sin embargo, la mortalidad es apenas un indicador parcial de la existencia del problema analizado, ya que las estimaciones de riesgo carcinógeno basadas en modelos matemáticos, como las efectuadas en este estudio, se refieren a nuevos casos de cáncer y no necesaria ni exclusivamente a muertes por esa causa. Lamentablemente, Jujuy sólo cuenta con registros epidemiológicos de mortalidad por cáncer, pero no de incidencia ni de prevalencia.

Existe abundante y contundente evidencia internacional que indica que la ingesta crónica de agua con concentraciones de As similares a las obtenidas aquí tiene efectos nocivos para la salud y se asocia especialmente con cáncer^{1,4-6,11}. Con base en todo lo anterior, este estudio permite afirmar que la ingesta crónica de agua con altas concentraciones de As, como las halladas, puede provocar efectos nocivos para los pobladores locales y, por lo tanto, representa un problema de salud en la zona estudiada.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES: No los hubo durante la realización del estudio.

Cómo citar este artículo: López Steinmetz LC, Díaz SL. Estimación de riesgo carcinógeno por exposición crónica al arsénico a través del agua de consumo en la Puna, Jujuy, Argentina. Rev Argent Salud Pública, 2018; 9(37):15-21.

RELEVANCIA PARA POLÍTICAS E INTERVENCIONES SANITARIAS

La exposición a elevados niveles de riesgo carcinógeno por ingesta de agua arsenical en los sitios estudiados no se circunscribe al segmento de la población cuyos hogares carecen de suministro de agua potable de red; ese alto riesgo puede atribuirse en parte, pero no íntegramente, al hecho de que en esos hogares se consume agua de variadas procedencias (ríos, arroyos, vertientes, transporte por cisterna y perforación con bomba). No obstante, el riesgo carcinógeno al que están expuestos los pobladores que consumen agua de otras procedencias duplica al de quienes acceden al agua potable de red. Es por ello que los resultados presentados sugieren la necesidad de diseñar e implementar programas de comunicación de riesgos y políticas concretas en salud, destinadas tanto a ampliar el acceso a la red pública de agua potable como a mejorar la infraestructura hídrica y de potabilización en esta zona, para así disminuir los riesgos para la salud por ingesta de agua con contenidos arsenicales.

RELEVANCIA PARA LA INVESTIGACIÓN EN SALUD

Los niveles de riesgo carcinógeno estimados en el presente estudio consideraron sólo la ingesta diaria de agua de bebida. Sin embargo, dado que esa misma agua se utiliza para riego de cultivos y para bebida de animales, es dable que sea aún mayor la ingesta diaria de As y, con ello, el nivel de riesgo. Por lo tanto, es necesario realizar nuevos estudios que incluyan estas otras posibles fuentes de ingesta de As para estimar con mayor precisión el nivel de riesgo carcinógeno al que están expuestos los pobladores. Asimismo, se requieren nuevas investigaciones que amplíen el área estudiada a fin de identificar otras zonas con potenciales peligros para la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¹ Ministerio de Salud de la Nación. *Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico en la República Argentina. Estudio colaborativo multicéntrico*. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación; 2006. [Disponible en: http://www.msal.gov.ar/politicassocioambientales/images/stories/descargas/recursos/2006_epidemiologia_del_hacre_en_argentina.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ² Ley N° 18284. Cap. XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Art. 982, Modificación. *Código Alimentario Argentino*. Buenos Aires: Congreso de la Nación; 2012. [Disponible en: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/capitulo_xii.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ³ Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable*. Vol 1. Recomendaciones. Ginebra: OMS; 2006. [Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwa/gdwq3_es_full_lowres.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ⁴ International Agency for Research on Cancer. Arsenic and Inorganic Arsenic Compounds. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. 2012;23(supl.7):100C.
- ⁵ Smith AH, Lingas EO, Rahman M. Contamination of Drinking-Water by Arsenic in Bangladesh: A Public Health Emergency. *Bull World Health Organ*. 2000;78(9):1093-1103. [Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2560840/>] [Último acceso: 02/12/2018]
- ⁶ Organización Mundial de la Salud. Arsénico. *Nota descriptiva N° 372*. OMS, Centro de prensa. 2012. [Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>] [Último acceso: 22/11/2018]
- ⁷ Ruggeri MA, Zubia GF, Romero AE, Avila Carrera NME, Tschambler JA, Bovi Mitre MG. Georreferenciación: una herramienta utilizada para analizar y diagnosticar sitios contaminados en la provincia de Jujuy-Argentina. *Rev Toxicol*. 2009;26:131-136.
- ⁸ Choque D, Quiquinto A, Bovi Mitre G, Navoni JA, Villamil Lepori EC. Intake Estimated of Inorganic Arsenic and Bioaccessible Fraction in the Diet from Pastos Chicos, Susques, Argentina - Preliminary Study. En: Litter MI, Nicolli HB, Meichtry JM, Quici N, Bundschuh J, Bhattacharya P, et al. (ed.). *One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin America (1914-2014)*. Boca Raton: CRC Press; 2014. p. 419-420.
- ⁹ Farias SS, Bianco de Salas G, Servant RE, Bovi Mitre G, Escalante J, Ponce RI, et al. Survey of Arsenic in Drinking Water and Assessment of the Intake of Arsenic from Water in Argentine Puna. En: Bundschuh J, Armienta MA, Birkle P, Bhattacharya P, Matschullat J, Mukherjee AB (ed.). *Natural Arsenic in Groundwaters of Latin America*. Londres: CRC Press; 2008. p. 397-408.
- ¹⁰ Instituto Nacional de Estadística y Censos. *Cuadro H2-D. Provincia de Jujuy, departamentos Cochinioca, Susques y Tumbaya. Hogares por tipo de desagüe del inodoro, según provisión y procedencia del agua. Año 2010*. Buenos Aires: INDEC; 2010. [Disponible en: <http://www.indec.gov.ar/ftp/censos/2010/Cuadros-Definitivos/>] [Último acceso: 09/07/2018]
- ¹¹ Ferreccio C, González C, Milosavljevic V, Marshall G, Sancha AM, Smith AH. Lung Cancer and Arsenic Concentrations in Drinking Water in Chile. *Epidemiology*. 2000;11(6):673-679. [Disponible en: https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2000/11000/Lung_Cancer_and_Arsenic_Concentrations_in_Drinking.10.aspx] [Último acceso: 02/12/2018]
- ¹² United States Environmental Protection Agency. EPA/540/1-89/002. *Risk Assessment. Guidance for Superfund*. Vol 1. Human Health Evaluation Manual (Part A). Washington DC: USEPA; 1989. [Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/rags_a.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ¹³ Pelicano G, Combetto A, Benedetti A, De la Cuetara O. Energías renovables, una opción para el abastecimiento de un recurso escaso: el agua en la Puna jujeña. *Actas. VIII Encuentro de Geógrafos de América Latina*. Santiago de Chile. 2001.
- ¹⁴ Dirección Provincial de Estadística y Censos de Jujuy. Cuadro 2.2.5., Superficie y densidad poblacional, según departamento. Provincia de Jujuy. Censos 1991-2010. En: *Anuario Estadístico Provincia de Jujuy Año 2012*. Jujuy. 2012. p. 39. [Disponible en: http://www.dipec.jujuy.gov.ar/idx_anuario/anuario2012.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ¹⁵ Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. *Protocolo de muestreo, transporte y conservación de muestras de agua con fines múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego)*. Buenos Aires: INTA; 2011. [Disponible en: https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf] [Último acceso: 22/11/2018]
- ¹⁶ United States Environmental Protection Agency. EPA/600/Z-92/001. *Guidelines for Exposure Assessment*. Washington DC: USEPA; 1992. [Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/guidelines_exp_assessment.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ¹⁷ Navoni JA, De Pietri D, Olmos V, Gimenez C, Bovi Mitre G, De Titto E, et al. Human health risk assessment with spatial analysis: Study of a population chronically exposed to arsenic through drinking water from Argentina. *Sci Total Environ*. 2014;499:166-174.
- ¹⁸ Puntoriero ML, Volpedo AV, Fernández Cirelli A. Riesgo para la población rural en zonas con alto contenido de arsénico en agua. *Acta Toxicol Argent*. 2014;22(1):15-22. [Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-37432014000100002] [Último acceso: 02/12/2018]
- ¹⁹ Bejarano IF, Alfaro EL, Torrejón I, Pacheco JL, Mesa MS, López Parra AM, et al. Composición corporal y adiposidad en adultos jujeños de distintos niveles altitudinales. *Rev Arg Antrop Biol*. 2013;15(1):29-36. [Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/raab/article/view/638/663>] [Último acceso: 02/12/2018]
- ²⁰ Ministerio de Salud de la Nación, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. *Indicadores básicos. Argentina 2014*. Buenos Aires: Ministerio de Salud de la Nación; 2014. [Disponible en: http://www.paho.org/arg/images/gallery/indicadores/indicadores_2014_opsarg.pdf] [Último acceso: 22/11/2018]
- ²¹ Instituto Nacional de Estadística y Censos. Migraciones. En: INDEC. *Censo nacional de población, hogares y viviendas 2010: censo del Bicentenario: resultados definitivos, serie B n° 2*. Buenos Aires: INDEC; 2012. p. 87-108. [Disponible en: https://www.indec.gov.ar/ftp/cuadros/poblacion/censo2010_tomo1.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ²² United States Environmental Protection Agency. Arsenic, Inorganic; CASRN 7440-38-2. *Chemical Assessment Summary*. IRIS. Washington DC: USEPA; s.f. [Disponible en: https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/subst/0278_summary.pdf] [Último acceso: 22/11/2018]
- ²³ Goransky R, Natale O. *Bases metodológicas para el establecimiento de normas locales de calidad de agua para consumo humano. Informe final*. CABA: Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación; 1996.
- ²⁴ Concha G, Broberg K, Grandér M, Cardozo A, Palm B, Vahter M. High-Level Exposure to Lithium, Boron, Cesium, and Arsenic via Drinking Water in the Andes of Northern Argentina. *Environ Sci Technol*. 2010;44(17):6875-6880.
- ²⁵ Concha G, Nermell B, Vahter M. Spatial and Temporal Variations in Arsenic Exposure via Drinking-Water in Northern Argentina. *J Health Popul Nutr*. 2006;24(3):317-326. [Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3013252/>] [Último acceso: 02/12/2018]
- ²⁶ Corey G, Tomasini R, Pagura J. *Estudio epidemiológico de la exposición al arsénico a través del consumo de agua. Provincia de Santa Fe, República Argentina*. Santa Fe: Gobierno de Santa Fe; 2005. [Disponible en: http://www.cofes.org.ar/descargas/info_sector/Arsenico/Estudio_epidemiologico_arsenico_ENRESS_LA.pdf] [Último acceso: 02/12/2018]
- ²⁷ Guber RS, Tefaha L, Arias N, Sandoval N, Toledo R, Fernández M, et al. Contenido de arsénico en el agua de consumo en Leales y Graneros (Provincia de Tucumán -Argentina). *Acta Bioquím Clín Latinoam*. 2009;43(2):201-207.
- ²⁸ Navoni JA, De Pietri D, García S, Villamil Lepori EC. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Rev Panam Salud Pública*. 2012;31(1):1-8. [Disponible en: <http://iris.paho.org/xmli/bitstream/handle/123456789/9399/01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>] [Último acceso: 02/12/2018]
- ²⁹ Penedo M, Zigarán A. *Hidroarsenicismo en la provincia de Córdoba: actualización del mapa de riesgo e incidencia*. Lima: Asociación Peruana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; 1998. [Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/impactos/peru/argsam024.pdf>] [Último acceso: 02/12/2018]
- ³⁰ Ministerio de Salud de Jujuy. Mortalidad por tumores - Año 2012. *Boletín de enfermedades no transmisibles de la provincia de Jujuy*. 2014;1. [Disponible en: http://www.msaludjujuy.gov.ar:8081/panel/bol/2014/Boletin_no-trans_n01-2014%20final%2008-04.pdf] [Último acceso: 23/11/2018].



Esta obra está bajo una licencia de *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional. Reconocimiento – Permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra. A cambio se debe reconocer y citar al autor original. No comercial – esta obra no puede ser utilizada con finalidades comerciales, a menos que se obtenga el permiso. Compartir igual – Si se realizan obras derivadas deben distribuirse bajo la misma licencia del original.