

# **ESPECIACIÓN DE ARSENICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN DISTINTAS CUENCAS DE ARGENTINA**

*Comisión de estrategias para el desarrollo y acceso al agua segura*

*COFES*

*Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios*

*2023*

## Índice

### Prólogo

### Introducción

*El arsénico en el agua*

### Toxicología del arsénico

*Especiación química – toxicidad diferencial*

*Metabolismo del arsénico*

*Biomarcadores de arsénico*

### Inicio del Proyecto

### Materiales y Métodos

*Planificación del estudio*

*Método analítico: Extracción en fase sólida (SPE)*

### Resultados

*Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA)*

*Aguas Santafesinas S.A*

*Agua y Saneamiento Mendoza (AySAM)*

*Obras Sanitarias Mar del Plata S.E. (OSSE)*

*Obras Sanitarias Balcarce (OSEBAL)*

*Ente Provincial de Agua y Saneamiento del Neuquén (EPAS)*

*Aguas del Norte, Salta*

*Resultados totales*

### Conclusiones y Discusión

## **PRÓLOGO**

*El Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES), representa a los prestadores de agua y saneamiento de la República Argentina y como órgano referente de la actividad del saneamiento nacional, funciona como integrador de los desarrollos y desafíos del sector promoviendo la cooperación y colaboración entre sus asociados, siendo el portavoz del consenso sectorial ante el Estado Nacional y los diferentes niveles de gobierno y demás instituciones y autoridades relacionadas con este servicio público esencial.*

*En su rol articulador para potenciar los beneficios a la salud y el bienestar social ha impulsado el desarrollo del presente estudio “Especiación de Arsénico en agua de consumo humano en distintas cuencas de Argentina” con el fin de contribuir a la definición de políticas públicas y marcos normativos que permitan el mejor acceso al agua de los habitantes del país, favoreciendo y acelerando el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.*

*Convencidos que para el desarrollo social es imprescindible la gestión conjunta entre todos los actores involucrados, es que presentamos este estudio ante las Autoridades de Salud de la Nación y quedamos a disposición para la tarea conjunta y el desarrollo del proceso proyectual consecuente.*

*Ing. Alejandro Barrio*

*Presidente*

*Lic. Marcelo Scagliola*

*Vicepresidente*

*Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios*

## Introducción

**Alejandro Barrio y Marcelo Scagliola (Presidente y Vicepresidente de COFES)**

La universalización de los servicios de agua fue uno de los Objetivos del Milenio (ODM, año 2000). Se esperaba lograr en 15 años que la mitad de la población mundial que aún no accedía al agua potable pudiera hacerlo. Sin embargo, en el año 2015 se evaluó su cumplimiento, observando que, si bien los esfuerzos dispuestos lograron una gran extensión global de los servicios, también aumentó la inequidad en el acceso al agua<sup>1</sup>. Los nuevos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, año 2015), presentan nuevos objetivos globales para lograr el acceso universal al agua potable segura y asequible, y al saneamiento e higiene adecuados y equitativos para el año 2030. Se tuvieron en cuenta las lecciones aprendidas durante los ODM y se propuso la necesaria participación de todos los actores involucrados<sup>2</sup>.

Durante el mismo período, se han producido avances en el conocimiento científico gracias a la investigación permanente. Los nuevos conocimientos fueron sustento para mejorar la salud de la población y al mismo tiempo, los prestadores de agua y saneamiento básico, como hace cientos de años, contribuyen en la preservación de la salud pública extendiendo y manteniendo los servicios, que llevan consigo el mejoramiento de los indicadores básicos de salud y calidad de vida. Tras el acceso al agua microbiológicamente segura, subyace el mejoramiento de los principales indicadores para disminuir la pobreza. En consecuencia, los prestadores tienen un rol fundamental para el cumplimiento de los ODS y su aceleración, y son actores necesarios cuyo punto de vista debe ser sin duda considerado en todos los ámbitos de debate y decisión.

En este marco, el Consejo Federal de Entidades de Servicios Sanitarios (COFES), decidió conformar la “Comisión de estrategias para el desarrollo y acceso al agua segura”, específica para abordar las prioridades a tener en cuenta en el país para progresar en la extensión del acceso al agua para consumo humano con la premisa de avanzar con equidad de acuerdo al contexto de cada región. Dado que los prestadores que conforman el COFES brindan servicios en regiones muy diversas, la evaluación de las prioridades regionales debe ser analizada a partir de la mirada en cada territorio, ofreciendo un punto de vista de gran valor para la toma de decisiones. El informe “Estrategia de progresividad para la equidad en el acceso al agua y saneamiento – Informe Preliminar (2022)” fue elaborado por el COFES de acuerdo a los criterios mencionados<sup>3</sup>.

La disponibilidad del acceso al agua para consumo humano está determinada por la cantidad de agua necesaria para un determinado abastecimiento y por la calidad de la misma y ambas son relevantes para poder avanzar en la extensión de los servicios. Los criterios de calidad de agua para considerarla apta para consumo humano van cambiando con el transcurrir del tiempo; como resultado de nuevas investigaciones y

desarrollos tecnológicos, siendo que estos cambios, en general, se corresponden con mayores exigencias de calidad para ser considerada apta para consumo humano.

Ahora bien, mayores y progresivas exigencias de calidad, si bien son deseables, cuando se producen a destiempo, sin considerar el contexto y prioridades regionales, pueden encarecer y condicionar la extensión de los servicios, determinando que gran parte de la población siga con sistemas precarios de abastecimiento de muy mala calidad, postergando la posibilidad de acceder a agua microbiológicamente segura.

En el informe de COFES “Estrategia de progresividad para la equidad en el acceso al agua y saneamiento” se aborda esta temática, discutiendo como causal de la problemática, la copia de marcos normativos foráneos, generalmente de países desarrollados, donde ya se ha cumplido un gran porcentaje del acceso al agua y saneamiento de la población, destacando la necesidad de la evaluación regional, situada en tiempo y forma, donde deben surgir las prioridades y la imprescindible participación de los actores locales en la determinación de los marcos normativos de aplicación.

Los avances científicos y tecnológicos, han permitido bajar los límites de detección de los analitos, pero también estudiar de mejor manera, cómo los elementos y sustancias químicas intervienen en el metabolismo, así como también las nuevas investigaciones aportan conocimiento sobre mecanismos de absorción, detoxificación y mecanismos de degradación de sustancias. Es aquí donde se fundamenta el presente proyecto dado que con respecto al arsénico se reconoce una toxicidad diferente entre las distintas especies químicas con lo cual resulta de suma importancia determinar cuál es la especie prevalente en las distintas cuencas.

### **El Arsénico en el agua**

Los valores de arsénico total admisibles en agua fueron descendiendo a medida que la tecnología fue avanzando en la posibilidad de bajar los límites de detección analítica, a la vez que los estudios epidemiológicos fueron determinando distintas afectaciones a la salud producidas por el arsénico. El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico, HACRE, es reconocido como uno de los graves problemas que afecta a una extensa zona de la Argentina, donde niveles muy altos de arsénico en agua afecta la salud de las personas. Así es como en el país fueron descendiendo los límites admisibles en agua para consumo humano de 100 ug/l a 50ug/l (año 1994), y a 10 ug/l (año 2007). La última actualización del límite a 10 ug/l, surge por una recomendación de la OMS, y ha llevado a que extensas regiones que cumplen con el valor anterior de 50 ug/l, encuentren un gran problema técnico y económico para poder adecuar sus sistemas al nuevo límite establecido, paralelamente se discute y se ha propuesto evaluar si existe una evidencia epidemiológica que justifique esta última adecuación.

Si bien se reconoce que lo ideal es la ausencia de arsénico en agua para consumo humano, dado que no se ha demostrado que sea esencial para el ser humano (sí en

algunos animales) y es muy reconocida su toxicidad, la evaluación de prioridades epidemiológicas asociadas al agua, al saneamiento y a la higiene surgen como la mirada necesaria y ajustada para dirigir las inversiones y lograr el mejoramiento progresivo en cada región de acuerdo a su prioridad.

En este contexto se encuentran en desarrollo estudios epidemiológicos, y hasta que estos no se resuelvan, las autoridades de salud de la Nación han dispuesto aceptar el nivel anterior de 50 ug/l de arsénico cuando las condiciones naturales de la fuente de abastecimiento hicieran que no sea posible aplicar el valor de 10 ug/l <sup>4</sup>.

Paralelamente a esta discusión, el avance de la investigación científica ha podido determinar que existe diferente toxicidad entre las distintas especies de arsénico. El arsénico existe en cuatro estados de valencia: As(-III), As(0), As(III) y As(V). El arsénico metaloideo, As(0), es generalmente no tóxico y la toxicidad del As(III) es al menos diez veces mayor que la del As(V).

La recomendación de la OMS de bajar el límite de arsénico en agua a 10ug/l, está basada en principio en estudios epidemiológicos realizados en Taiwán, siendo que la especie prevalente en Asia es el As(III), la más tóxica <sup>5</sup>.

Consecuentemente, es relevante conocer las proporciones de las especies de arsénico en el agua en diferentes cuencas del país, dado que también se ha observado que esta proporción puede ser muy diferente en función de los diferentes acuíferos y cuencas de agua en general, siendo que la prevalencia de una u otra especie depende principalmente del potencial de óxido-reducción y del pH del sistema<sup>6</sup>.

En este contexto, desde el COFES, se desarrolla un Plan de Acción para estudiar la prevalencia de las distintas especies de arsénico en diferentes cuencas y sistemas de distribución utilizados por los prestadores de agua del país y promover que los resultados sean tenidos en cuenta por todos los actores involucrados a partir del nuevo conocimiento obtenido.

A tal fin, se acordó con distintos prestadores de los servicios de agua del país realizar muestreos de agua en distintas cuencas utilizadas como fuente de abastecimiento, con el objetivo de determinar las proporciones entre distintas especies de arsénico. Además de las diferentes fuentes de captación, también se tomaron muestras de agua de los sistemas de distribución.

La empresa AySA, a través de su personal profesional del Laboratorio Central, desarrolló técnicas analíticas para determinar la concentración de As total, As(V) y As(III) y dispuso su capacidad analítica para analizar las muestras en agua de las diferentes regiones.

En el año 2007, mediante la Resolución Conjunta N°68 y N°196 de la Secretaría de Políticas, Regulación y Relaciones Sanitarias del Ministerio de Salud y de la ex Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos del entonces Ministerio de Economía y Producción, el Código Alimentario Argentino (CAA), estableció la

disminución del nivel aceptable de As total en agua de consumo humano de 50 a 10 ug/l.

Ante la dificultad técnica y económica para alcanzar el nuevo valor normado de 10 ug/l de As total en el país y en atención a debates y discusiones a nivel nacional<sup>78</sup> e internacional sobre si resulta pertinente adoptar estándares basados en estudios epidemiológicos realizados en poblaciones con diferente composición genética, hábitos alimentarios, consumo de agua (clima), etc., se consideró esta incertidumbre y se dejó en suspenso la norma. Esto es, hasta que se resuelvan estudios epidemiológicos locales que permitan evaluar la afectación en la salud en el rango de concentraciones entre 50 ug/l y 10 ug/l. También se consideró de importancia evaluar en el marco de los estudios, las afectaciones hacia la salud en la región por falta de acceso al agua microbiológicamente segura con lo cual se podrá evaluar las prioridades en el servicio.

En este estudio se decidió analizar las diferentes fuentes de captación utilizadas por los operadores que se encuentren entre valores mayores de 10 pero menores de 50 ug/l, de modo de poder estudiar la prevalencia de las diferentes especies en el rango de impacto de la última normativa ahora en suspenso.

Dada la diferente toxicidad entre las especies de arsénico, los estudios de especiación ofrecen conocimientos relevantes y más precisos para la evaluación epidemiológica que la sola concentración de arsénico total. Por lo tanto, este estudio profundiza el conocimiento regional y es relevante para evaluar las causas epidemiológicas. La evaluación epidemiológica fue tema considerado e invocado en oportunidad de la suspensión de la norma.

Por lo tanto, es la voluntad de COFES, que los resultados obtenidos sean tenidos en cuenta por el Ministerio de Salud como Autoridad de Aplicación en la evaluación y consideración normativa, quedando a plena disposición para el trabajo conjunto y el desarrollo del proceso proyectual más conveniente.

## Toxicología del arsénico

***Dra. Marcela Gerpe (Investigadora Principal CONICET – Titular Ecotoxicología FCEyN, UNMDP)***

El arsénico es un elemento considerado de alta toxicidad, provocando *efectos agudos*, cuando hay una exposición a dosis elevadas de manera única o dosis repetitivas en corto tiempo (24hs), o *efectos crónicos*, es decir a largo plazo, mediante exposiciones a dosis bajas prolongadas en el tiempo. La presencia de As en aguas subterráneas no se asocia a exposiciones agudas, sino que se refiere a exposiciones crónicas, y la vía de exposición es principalmente el consumo de agua, o mediante alimentos contaminados debido a haber sido preparados-cocinados-cultivados con este tipo de agua.

La Agencia sobre Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de los EEUU, en su informe sobre Arsénico en agua de bebida (ATSDR, 2007), concluye que los efectos adversos para la salud del arsénico dependen de la dosis y duración de la exposición.

Ciertos efectos no específicos (diarrea y dolor abdominal), los hematológicos (anemia y leucopenia), y neuropatía periférica podrían ocurrir luego de semanas o meses de exposición a altas dosis de arsénico (0,04 mg/kg/día), pudiendo ser considerados como efectos reversibles. Los efectos dérmicos específicos son característicos de la exposición crónica. Se ha observado la hiperpigmentación (melanodermia) moteada o difusa luego de 6 meses a 3 años de la ingesta crónica de altas dosis de arsénico (0,04 mg/kg/día), o 5 a 15 años de ingestión de bajas dosis ( $> o = 0,01$  mg/kg/día). La hiperqueratosis o engrosamiento palmoplantar y el aumento de la pigmentación de la piel es usualmente evidente luego de algunos años de la aparición inicial de la hiperpigmentación arsenical.

Los efectos sobre la salud debido a la toxicidad crónica del As son considerados como arsenicosis, enfermedad crónica que resulta de beber agua con altos niveles de arsénico durante un largo periodo de tiempo. El HACRE es la enfermedad producida por la exposición mediante el agua de bebida conteniendo sales de arsénico (As) (hidro-arsenicismo), por un tiempo prolongado (crónico) y que afecta a gran parte de la población (endémico) de una región (regional). El HACRE presenta alta prevalencia (proporción de individuos de un grupo o una población que presentan una característica o evento determinado en un momento o en un período determinado) y letalidad potencial, conformando un problema de salud de relevancia. El gran número de casos de HACRE en la ciudad de Bell Ville (Córdoba) hizo que la enfermedad se conociera como “enfermedad de Bell Ville” hasta 1913, cuando Goyenechea y Pusso relacionaron las patologías observadas con el consumo de agua contaminada con arsénico. Mas tarde, en 1917, esta patología fue descripta en detalle por Ayerza y la denominó “arsenicismo regional endémico”.

Asimismo, la exposición crónica al As se relaciona con diversos problemas de salud, diversos tipos de cáncer (piel, pulmón, vejiga, hígado, riñón y próstata), enfermedades o efectos neurológicos, gastrointestinales, neurotóxicos (disminución en la velocidad de conducción periférica), hematológicos (inhibición de la hematopoyesis, produciendo anemia de tipo hipoplásico), patologías perinatales, inmunológicas, efectos vasculares, hipertensión, diabetes, aborto, bajo peso al nacer, estrés oxidativo, genotoxicidad (forma aductos con el ADN, estrés oxidativo metilado del ADN, afecta procesos de reparación del ADN), hiperqueratosis e hiperpigmentación.

En las poblaciones expuestas, se suele observar una amplia variedad de síntomas y, entre ellos, las manifestaciones dermatológicas son las más características. Las lesiones dermatológicas tienen un período de latencia que puede alcanzar los diez años. Algunos de los síntomas son dependientes de la dosis y del tiempo de exposición. La OMS estima que esta etapa requiere una exposición al arsénico de 5 a 10 años.

La Agencia Ambiental de los EE.UU. (USEPA) clasifica al As en el grupo A (carcinogénico en humanos) y la Agencia Internacional sobre Investigaciones en Cáncer (IARC) lo incluyó en el grupo I (carcinogénico en humanos). El elemento figura en el primer lugar de la lista de contaminantes prioritarios publicada por la agencia dependiente del Servicio de Salud Pública de Estados Unidos (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, ATSDR).

### **Especiación química – toxicidad diferencial**

La toxicidad de los compuestos del arsénico varía de acuerdo a su estado de valencia, la forma química (inorgánico u orgánico), el estado físico (gas, solución, o polvo) y ciertos parámetros como la solubilidad, tamaño de la partícula, velocidad de absorción y eliminación, y presencia de impurezas.

Debido a las diferencias de toxicidad entre las formas químicas de iAs, donde la toxicidad de As(III) es superior a As(V), evaluar la especiación es esencial para mejorar la comprensión de las implicancias en salud y los procesos para reducir los niveles presentes en el agua potable. Además, la determinación individual de sus especies resulta importante, para así conocer y entender el rol que desempeñan en las aguas naturales y en la salud humana. Es evidente que la determinación de la concentración total de As, como sucede con muchos otros elementos, no es suficiente para realizar una evaluación adecuada de las consideraciones ambientales que ocasiona su presencia.

El arsénico existe en 4 estados de valencia:

As (-III)

As (0) (arsénico metaloide, estado de oxidación 0)

As (III) (estado trivalente, arsenitos)

As (V) (estado pentavalente, arseniatos)

El arsénico (0) es generalmente no tóxico debido a ser insoluble en agua y fluidos orgánicos. La toxicidad del As (III) es varias veces mayor (10 o superior) que la del As (V), debido a presentar una asimilación celular superior. El arsénico inorgánico es generalmente más tóxico que el arsénico orgánico, con absorción gastrointestinal de 80 – 90%.

El arseniato (pentavalente) y el arsenito (trivalente) son las formas inorgánicas tóxicas más comunes; cada uno tiene un mecanismo propuesto diferente basado en el estado de valencia.

El arseniato puede reemplazar al fosfato en varias reacciones, y compite con él, incluso disminuyendo su asimilación, debido a presentar una estructura química y propiedades similares. Los estudios *in vitro* muestran que el arseniato reacciona con la glucosa para formar glucosa-6-arseniato, que se parece a la glucosa-6-fosfato. La glucosa-6-arseniato es un sustrato de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa y puede inhibir la hexocinasa, que desempeña un papel esencial en la glucólisis; una serie de reacciones que extraen energía de la glucosa tanto en vías anaeróbicas como aeróbicas. El ATP se genera en presencia de fosfato; sin embargo, en presencia de arseniato, se ha observado agotamiento de ATP secundario a la disminución de la formación de ATP. Forma uniones a grupos sulfhidrilos o tioles (–SH) formando ésteres inestables, que se degradan por procesos de hidrólisis.

El arsenito se considera la forma inorgánica más tóxica en comparación con el arseniato. Presenta transporte (movimiento) libre entre membranas por canales proteicos (aquaglyceroporinas), lo cual indica una asimilación superior respecto a las formas pentavalentes.

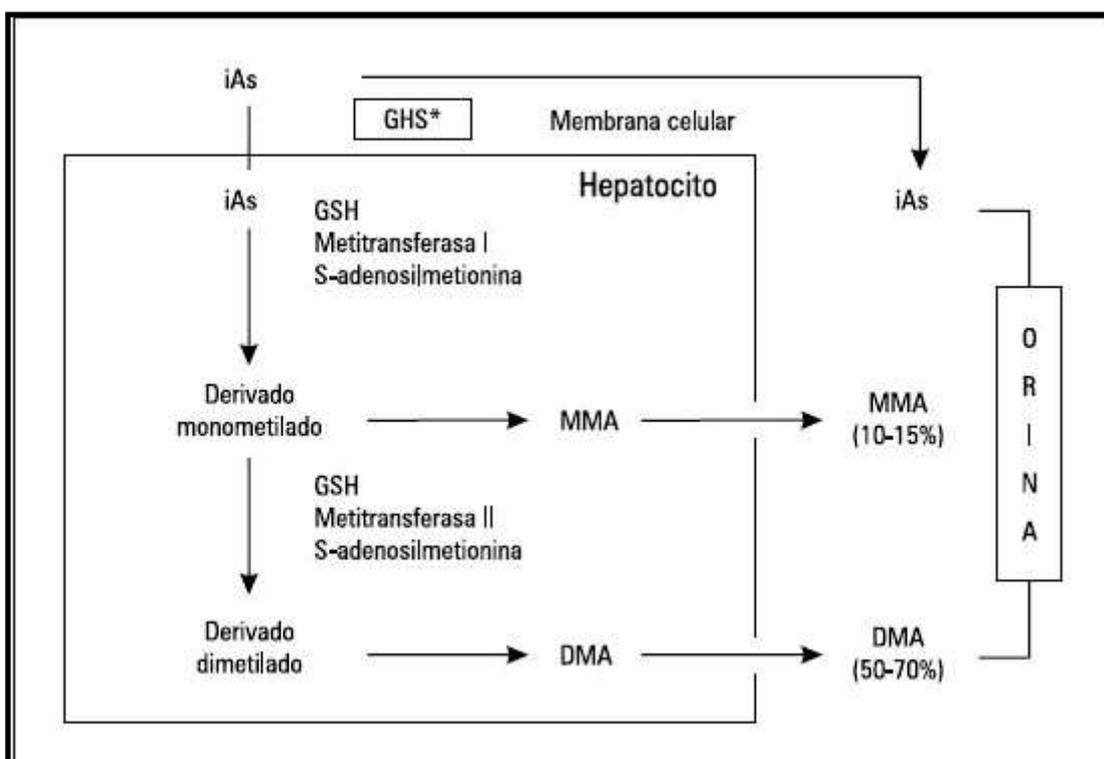
Reacciona con los grupos tiol o sulfhidrilo de proteínas y enzimas, provocando desregulación e inhibición de estas macromoléculas, indispensables en el metabolismo. Una enzima crucial afectada es la enzima piruvato deshidrogenasa (PDH), que es un complejo proteico que requiere ácido lipoico, un ditiol, para su activación. La PDH es una enzima vital en el ciclo del ácido cítrico, una alteración de la PDH puede conducir a la disfunción de la respiración celular y consecuente formación de ATP (adenosin trifosfato), comprometiendo el estado energético. El arsenito puede unirse reversiblemente a los grupos sulfhidrilo que se cree que causan la dilatación y el aumento de la permeabilidad de los capilares. La afinidad del arsenito por los tioles, más predominantemente, los ditiolos conduce a una transferencia favorable del arsenito al agente quelante, el ditiol 2,3-dimercaptosuccínico, también conocido como succímero.

Además, como la excreción de arsénico depende del estado de valencia y la forma, el arsenito tiene una tasa de excreción más lenta en comparación con el arseniato y el arsénico orgánico, lo que puede contribuir al aumento de su toxicidad respecto al pentavalente y formas orgánicas.

### Metabolismo del arsénico

Se estima que entre el sesenta y el noventa por ciento del arsénico inorgánico se absorbe a través del tracto gastrointestinal, y la distribución inicial se dirige predominantemente al hígado, los riñones, los músculos y la piel.

Los compuestos de arsénico pueden ser biotransformados, donde las especies químicas inorgánicas (III y V) se metabolizan enzimáticamente a formas químicas orgánicas. Esta biotransformación es relevante, ya que constituye un mecanismo de detoxificación, debido a que las especies orgánicas presentan una toxicidad inferior a aquellas inorgánicas.



Metabolismo del arsénico inorgánico (iAs) en sus formas orgánicas, MMA: ácido monometil arsénico (III) y (V) y DMA: ácido dimetil arsénico (III) y (V).

El metabolismo es diferencial entre valencias-especies, lo cual contribuye a disminuir la presencia de As (III). El As(III) es un sustrato preferencial para la As(+3)-metiltransferasa (As3MT) y el metabolismo implica una serie de pasos de reducción y metilación oxidativa, en la que las especies de As(V) se forman antes de las especies trivalentes respectivas y los metabolitos mono- y dimetilados se generan secuencialmente. En el hombre, tal proceso metabólico no es completo y el As inorgánico (iAs) junto con los metabolitos mono- y dimetilados se excretan en la orina. La determinación de la concentración y la distribución proporcional de las diversas especies de As, incluido el iAs y los metabolitos metilados en la orina, puede dar un reflejo de la capacidad de metilar el iAs en el cuerpo humano.

La distribución de especies o formas químicas en la orina suele ser DMA (60–70%), As inorgánico (10–30%) y MMA (10–20%), lo cual indica que el metabolismo contribuye a la disminución de la toxicidad de las formas inorgánicas.

### **Biomarcadores de arsénico**

En los estudios epidemiológicos, los biomarcadores de exposición se utilizan con mucha frecuencia, principalmente aquellos que son determinados en muestras no invasivas y de rápida obtención en la población general. En el caso de As, tejidos y faneras como sangre, orina, cabello, uñas y saliva son las muestras biológicas más utilizadas para el análisis de biomarcadores.

El metabolismo que sufre el As y la obtención de los ácidos monometil- y dimetil arsénico como productos finales (DMA(III): ácido dimetilarsenioso, DMA(V): ácido dimetilarsínico, MMA(III): ácido monometilarsenioso, MMA(V): ácido monometilarsónico), permite que estos ácidos presentes en la orina sean considerados como biomarcadores de exposición. El compuesto DMA(V) es el principal metabolito presente en orina de personas expuestas a iAs, y es una vía de evaluación de presencia y metabolismo del As incorporado por el consumo de agua. La concentración de As total en orina ha sido empleada también como biomarcador en los estudios epidemiológicos, y su presencia evidencia exposición reciente a As.

El análisis de las distintas especies químicas en orina permite alcanzar una información acabada para la interpretación del mecanismo de detoxificación del As en el hombre.

## Inicio del proyecto

### *Comisión de estrategias para el desarrollo y acceso al agua segura – COFES*

Luego de producido el documento “Estrategias de Progresividad para la equidad en el acceso al agua y saneamiento”, durante el año 2022, el COFES organizó cuatro Jornadas de capacitación en diferentes partes del país, con participación de representantes de las distintas empresas de Argentina. El objetivo de las Jornadas fue tratar diferentes temáticas de importancia para el sector de agua y saneamiento y se decidió exponer el mencionado documento en la apertura de cada Jornada. La primera se desarrolló en la ciudad de Mar del Plata y abordó el tema “Calidad de agua para consumo humano”.

En este marco, la temática de arsénico en agua fue abordada a través de diferentes exposiciones realizadas por la Dra, Marcela Gerpe, UNMDP, CONICET<sup>9</sup> y las empresas prestadoras de agua, Lic. Ana Cardozo de Aguas del Norte (Salta)<sup>10</sup>, Lic. Enrique Piacente de Aguas Santafesinas S.A.<sup>11</sup>, Lic. Ramiro Peyrano de AySA<sup>12</sup>. Las conclusiones de la Jornada de Calidad de Aguas del COFES destacaron la importancia de avanzar con los estudios de especiación de Arsénico en atención a la diferente toxicidad de las especies, el desconocimiento de cuál es la especie prevalente en las distintas cuencas de Argentina y su relevancia epidemiológica. La necesidad de avanzar sobre los conocimientos de especiación de arsénico en agua de consumo, por su implicancia epidemiológica, ha sido destacada a nivel internacional y en diferentes ámbitos de discusión nacional (exposiciones realizadas en las Jornadas de Arsénico en Azul, Provincia de Buenos Aires -2019-<sup>13</sup> y recientemente en la conferencia ofrecida por el Dr. Auge y organizada por AIDIS -2023).

Luego de la Jornada Regional mencionada, se desarrolló un Plan de Acción elaborado desde COFES, convocando a distintas empresas proveedoras de agua de la República Argentina para realizar un estudio de especiación de arsénico en agua de distintas cuencas utilizadas como fuente de abastecimiento para el consumo humano.

El Laboratorio Central de AySA avanzó y desarrolló la puesta a punto de técnicas analíticas para la determinación de las especies de As(III) y As(V) y en consecuencia se decidió realizar los análisis de las muestras de las distintas regiones del país en el Laboratorio Central de AySA, el cual cuenta con la acreditación ISO 17025 para la competencia técnica en determinación del parámetro arsénico.

Se destaca que de las diversas metodologías analíticas disponibles para la especiación de arsénico en agua<sup>14</sup>, en el Laboratorio Central de AySA se desarrolló la puesta en marcha de métodos de fácil implementación por parte de cualquier laboratorio que tenga capacidad analítica para la determinación de As total. Esto significa una fortaleza de gran importancia para avanzar en la oportunidad y conveniencia de establecer cuantificación de arsénico por especie.

Se establecieron las siguientes premisas para el desarrollo del estudio:

- a) Los muestreos fueron realizados por personal de laboratorio de los operadores de cada región, quienes conocen el territorio, las cuencas de explotación para

abastecimiento de sus servicios y por lo tanto pueden evaluar de mejor manera los puntos de muestreo en función de la caracterización de las cuencas que se quieren estudiar.

- b) Se decidió hacer muestreos tanto en la fuente de abastecimiento para la captación (pozos subterráneos o agua superficial según el caso) como también en el sistema de distribución (redes de suministro público).
- c) Se decidió focalizar el estudio de especiación de arsénico en las cuencas donde ya se tenía conocimiento de la concentración total y cuyos valores estuvieran en el rango de 10 – 50 ug/l. De este modo se buscó tener información relevante de toxicidad en el rango de concentraciones donde impacta el nuevo marco normativo, con la intención de aportar nuevo conocimiento relevante para su consideración normativa.

## Materiales y Métodos

### *Planificación del estudio*

Oportunamente, el Comité Ejecutivo Ampliado del COFES, convocó a las empresas prestadoras del servicio de agua que presentan dificultades para cumplir con el nivel de arsénico total menor a 10ug/l a participar del referido estudio.

Se detallan las empresas participantes y responsables de la definición de los puntos y ejecución del protocolo de muestreo.

- *Agua y Saneamientos Argentinos, AySA, área geográfica AMBA, Capital Federal y Provincia de Buenos Aires.  
Lic. Gilda Chiera, Gerente Laboratorio Central, Dirección Técnica y Desarrollo Tecnológico.*
- *Obras Sanitarias Mar del Plata, OSSE, área geográfica ciudad de Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires.  
Lic. Ana Paula Comino, Gerente de Calidad.*
- *Aguas Santafecinas S.A., área geográfica Provincia de Santa Fe.  
Ing. Patricia Zago. Gerente de Infraestructura, Técnica y de Calidad.*
- *AySAM, Area geográfica Provincia de Mendoza  
Lic. Adolfo Catapano. Jefe Departamento Laboratorio. Gerencia de Ingeniería.*
- *Obras Sanitarias de Balcarce, OSEBAL, área geográfica ciudad de Balcarce, Provincia de Buenos Aires.  
Ing. Qca. Analía Sánchez. Jefa de Gestión de Calidad y Operaciones.*
- *Aguas de Norte, Área geográfica provincia de Salta.  
Ing. Qca Ana Cardozo. Jefa de Departamento Calidad y Medio Ambiente.*
- *EPAS. Área geográfica provincia de Neuquén.  
Lic. Martín Herrera. Presidente del Ente*

Se coordinó con cada empresa participante que en base a su conocimiento del territorio y de las cuencas utilizadas como fuente de abastecimiento de agua, determine los sitios de muestreo (pozos de agua, agua superficial y red de distribución) que se encuentren en el rango de concentración entre 10 y 50 ug/l para que sean sometidas al análisis de especiación de As(V) y As(3).

Se envió a cada empresa el Protocolo de Muestreo desarrollado por el Laboratorio Central de AySA, el cual incluye entre otras condiciones el tiempo máximo desde la toma de muestra, traslado y llegada al Laboratorio Central de AySA. Se adjunta Protocolo de Muestreo como Anexo 1.

Se estableció la capacidad analítica del Laboratorio Central de AySA y se coordinaron las fechas de envío de muestras con cada operador.

En el período comprendido entre marzo y agosto del año 2023 se logró el muestreo y análisis de 342 muestras de todos los operadores mencionados.

**Método analítico: Extracción en fase sólida (SPE)** <sup>15 16 17</sup>

**Lic. Gilda Chiera, Lic. Juan Vuolo y staff del Laboratorio Central AySA**

El método se fundamenta en la retención selectiva de especies químicas en función de la naturaleza de una fase estacionaria, la cual muestra afinidad selectiva por ciertos grupos funcionales presentes en dichas especies. El arsenito es capaz de formar un complejo con el reactivo pirrolidinditiocarbamato de amonio (APDC). Este complejo tiene una naturaleza no polar y se retiene en la fase estacionaria de C18 de un cartucho SPE, y por lo tanto es separado del arseniato y otras variantes de organoarsénico. La concentración de As (III) se obtiene por diferencia entre la concentración del As total y del As (V) determinados por ICP MS.

*Reactivos y soluciones:*

Agua ultrapura

Ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) 65% p.a.

Ácido nítrico en solución 2,0 M

APDC 99% (Pirrolidinditiocarbamato de amonio)

APDC en solución de concentración 0.1% m/V

APDC en solución de concentración 1%

Hidróxido de potasio puro grado analítico

Hidróxido de potasio en solución de concentración 2,0 M

Meta-arsenito de sodio pureza ≥ 99% (NaAsO<sub>2</sub>) con certificado, como estándar de As (III)

Solución madre de As (III) de concentración 1000 mg/L

Metanol pureza grado analítico de pureza 99,9% o superior

*Equipos y materiales:*

ICP MS 7900 Agilent (puede ser utilizado cualquier instrumental analítico capaz de ofrecer una medida cuantitativa del parámetro Arsénico total).

Tubos de ensayo de polipropileno

Manifold SPE Vacuum de 24 posiciones con cámara de vidrio y rack ajustable, con sistema de vacío.

Cartuchos para extracción en fase sólida (SPE) de 6 ml., con relleno de 500 mg de fase estacionaria octadecilsilano (C18).

Matraz aforado de borosilicato 100, 500 y 1000 mL.

Probeta graduada 100 ml.

*Muestreo, conservación y recepción de la muestra:*

Para el muestreo se utilizaron envases de polietileno de alta densidad (PED) de 125 ml o 250 ml con tapas a rosca precintadas.

El volumen del envase fue completado y se mantuvo la muestra refrigerada a una temperatura de 2-8°C con el objetivo de detener los procesos de oxidación/reducción manteniendo inalterada la distribución original de las especies

La muestra fue recepcionada y mantenida refrigerada a 2 y 8°C al resguardo de la luz hasta la realización del ensayo dentro de las 72 horas.

*Modo operativo:*

Acondicionar los cartuchos C18 con 10 ml de metanol, seguidos de 20 ml de agua destilada y luego 10 ml de solución de APDC 0,1% de pH = 3.

Tomar 20 mL de muestra y adicionar 100 µL de HNO<sub>3</sub> 2,0 M. Tomar 10 mL y disponer en un tubo de ensayo de polipropileno para la lectura del As total de la muestra. A los 10 mL restantes añadirle 100 µL de solución de APDC 1%, agitar, y seguidamente dejar reposar de 3 a 5 minutos.

Conectar el Manifold a la línea de vacío y disponer los cartuchos C18 para su posterior acondicionamiento.

Pasar los 10 mL de muestra restantes por los cartuchos SPE C18 (previamente acondicionados) a caudales de 1 a 2 mL/min y coleccionar el efluente en un tubo de ensayo de polipropileno. Este coleccionado conduce a la lectura del As (V) el cual no es retenido en el cartucho de C18.

La lectura del As total a partir de la muestra original acidificada, y del As (V) resultante de la etapa de extracción, conduce por diferencia a la concentración de As (III).

$$\text{Concentración As (III)} = \text{Concentración As total} - \text{Concentración As (V)}$$

Las determinaciones de arsénico pueden llevarse a cabo por ICP MS o cualquier método instrumental que mida la concentración de As total.

Para las medidas instrumentales y cuantitativa del parámetro arsénico se realizó una curva de calibración con ámbito lineal entre aproximado entre 3,0 µg/L y 60 µg/L. Cuando fue necesario se utilizaron diluciones a partir de la solución madre certificada.

Expresión de los resultados: unidades de microgramos por litro (ug/L) con un decimal y dos cifras significativas entre 3,0 ug/L y 9,9 ug/L, y un decimal y tres cifras significativas entre 10,0 ug/L y 60 ug/L

*Condiciones de SST y MA*

El local de lectura permanece a una temperatura entre 10 y 30°C. Los equipos cuentan con sus respectivas campanas de extracción de gases.

La preparación de reactivos y soluciones que involucran el manipuleo de ácidos o sustancias tóxicas, se realiza bajo campana, protegiendo los ojos con antiparras y las manos con guantes de nitrilo descartables.

## Resultados

Se presentan concentraciones de As(V) y As(III) en muestras obtenidas por cada empresa prestadora del servicio de agua, cuyos contenidos de arsénico total se encuentran por debajo de 50 µg/l.

### **Agua y Saneamientos Argentinos S.A. (AySA)**

La Tabla 1 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 69 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes del sistema de distribución. Se observa prevalencia de As(V) (promedio 87,5%) sobre As(III) (promedio 12,5%).

La Figura 1 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

*Tabla 1. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones o red de distribución de AySA*

Muestra N°	u/g/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	49,0	43,6	5,4	11,0
2	49,0	44,1	4,9	10,0
3	49,0	43,4	5,6	11,5
4	46,0	41,0	5,0	10,9
5	21,0	18,5	2,5	11,9
6	37,0	31,6	5,4	14,5
7	27,0	23,6	3,4	12,6
8	19,0	16,2	2,8	14,6
9	14,0	12,7	1,3	9,3
10	47,8	41,6	6,2	13,0
11	15,9	13,9	2,0	12,6
12	31,9	27,3	4,6	14,4
13	34,9	29,6	5,3	15,0
14	21,5	18,0	3,6	16,6
15	40,3	34,5	5,7	14,3
16	34,8	29,9	4,8	13,9
17	48,0	43,1	4,9	10,3
18	47,5	43,5	4,0	8,5
19	35,2	31,7	3,6	10,1
20	29,7	27,2	2,5	8,5
21	17,2	15,9	1,3	7,8
22	18,1	16,5	1,6	9,1
23	20,4	18,1	2,3	11,0

Especiación de Arsénico en agua de consumo humano en distintas cuencas de Argentina, COFES 2023

24	8,2	7,2	1,0	12,0
25	16,3	14,7	1,6	10,0
26	49,5	44,1	5,4	10,9
27	13,1	11,7	1,4	10,6
28	20,6	18,4	2,3	11,0
29	20,9	18,3	2,6	12,4
30	29,9	26,1	3,9	12,9
31	29,8	26,9	3,0	9,9
32	20,0	17,3	2,7	13,5
33	44,7	38,4	6,3	14,2
34	49,5	44,5	5,0	10,1
35	48,8	43,2	5,7	11,6
36	14,9	12,4	2,5	16,8
37	19,1	16,7	2,4	12,7
38	17,0	15,0	1,9	11,4
39	15,4	13,6	1,8	11,6
40	41,3	36,8	4,5	11,0
41	44,7	40,0	4,7	10,5
42	25,1	21,2	3,9	15,7
43	20,4	17,4	3,0	14,8
44	21,1	18,8	2,2	10,5
45	23,9	20,6	3,3	13,7
46	19,3	17,0	2,3	11,7
47	18,6	16,7	1,9	10,0
48	24,7	21,9	2,8	11,3
49	21,4	18,7	2,7	12,8
50	19,6	16,9	2,7	13,7
51	32,9	29,0	3,8	11,7
52	18,9	15,9	2,9	15,4
53	25,5	22,6	2,8	11,2
54	21,3	17,8	3,5	16,4
55	14,9	13,6	1,3	9,0
56	22,6	19,1	3,4	15,2
57	49,7	42,4	7,3	14,7
58	35,2	30,1	5,1	14,6
59	26,3	22,5	3,8	14,3
60	18,2	16,0	2,2	12,3
61	45,1	39,6	5,4	12,1
62	37,8	33,6	4,2	11,0
63	46,2	40,2	6,0	13,0
64	48,3	42,7	5,6	11,7
65	39,3	35,1	4,2	10,7
66	24,7	21,9	2,8	11,2
67	13,4	11,5	1,9	14,5
68	22,4	19,5	3,0	13,2
69	12,2	10,8	1,3	11,0

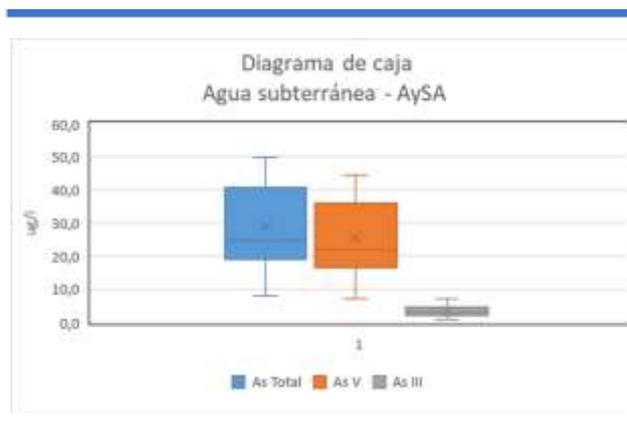


Fig. 1: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, AySA (n:69)

### **Aguas Santafesinas S.A**

La Tabla 2 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 143 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes del sistema de distribución de varias localidades de la provincia de Santa Fe. Se observa prevalencia de As(V) en la mayoría de las muestras (promedio 88%) sobre As(III) (promedio 12%).

La Figura 2 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

Tabla 2. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones y red de distribución de Aguas Santafesinas S.A.

Muestra N°	µg/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	40	39,3	0,7	1,8
2	30,8	28,5	2,3	7,5
3	19,5	16,9	2,6	13,3
4	22,7	11,4	11,3	49,8
5	20,6	12,2	8,4	40,8
6	20,2	8,7	11,5	56,9
7	22,5	10,9	11,6	51,6
8	26,4	24,9	1,5	5,7
9	29,5	26,2	3,3	11,2
10	29,7	25,9	3,8	12,8
11	26,7	24,8	1,9	7,1
12	28,7	26,4	2,3	8,0
13	32,6	28,7	3,9	12,0

Especiación de Arsénico en agua de consumo humano en distintas cuencas de Argentina, COFES 2023

14	41,8	36,6	5,2	12,4
15	34,7	31,4	3,3	9,5
16	38,5	33,6	4,9	12,7
17	35,7	30,3	5,4	15,1
18	39,1	32,2	6,9	17,6
19	33,8	29,7	4,1	12,1
20	42,7	38,8	3,9	9,1
21	39,5	34	5,5	13,9
22	32,6	29,4	3,2	10,0
23	31,3	27,9	3,4	11,0
24	35,6	28,9	6,7	18,8
25	36,0	30,3	5,7	15,9
26	42,4	38,3	4,1	9,6
27	43,8	42,5	1,3	3,0
28	48,0	39,4	8,6	17,8
29	36,1	31,2	4,9	13,6
30	34,7	30,4	4,3	12,4
31	32,0	28,3	3,7	11,4
32	31,6	27,6	4,0	12,6
33	35,4	32,3	3,1	8,8
34	39,2	34,1	5,1	13,0
35	24,6	20,3	4,3	17,5
36	31,0	28,2	2,8	9,1
37	29,4	25,9	3,6	12,1
38	54,6	46,8	7,8	14,3
39	25,3	21,6	3,6	14,4
40	25,1	22,6	2,5	9,8
41	24,7	22,6	2,1	8,5
42	32,6	28,7	3,9	11,9
43	29,2	25,6	3,6	12,3
44	26,5	23,1	3,4	12,8
45	27,1	23,2	3,9	14,4
46	23,0	14,8	8,3	35,8
47	22,6	16,1	6,5	28,9
48	21,9	5,3	16,5	75,6
49	20,1	9,3	10,8	53,9
50	23,3	13,5	9,9	42,3
51	11,4	6,5	4,9	43,2
52	27,4	22,4	4,9	18,0
53	28,4	23,3	5,1	18,1
54	43,6	32,7	10,9	25,1
55	36,8	30,1	6,7	18,3
56	46,1	36,2	9,9	21,4
57	32,2	27,9	4,4	13,6
58	18,2	15,4	2,9	15,7
59	23,3	21,5	1,7	7,4
60	26,3	21,6	4,7	17,7
61	11,8	7,9	3,9	33,0

Especiación de Arsénico en agua de consumo humano en distintas cuencas de Argentina, COFES 2023

62	37,4	35,0	2,4	6,4
63	12,4	10,9	1,5	12,0
64	7,3	6,4	1,0	13,0
65	49,3	44,8	4,5	9,1
66	41,5	35,3	6,2	14,9
67	37,8	32,1	5,8	15,3
68	37,1	33,5	3,7	9,8
69	36,5	30,8	5,7	15,6
70	44,8	38,5	6,3	14,1
71	45,3	41,7	3,6	8,0
72	40,9	35,9	5,0	12,1
73	44,3	37,9	6,5	14,6
74	44,8	37,2	7,6	16,9
75	45,0	38,5	6,5	14,5
76	48,2	41,2	7,0	14,5
77	50,0	44,2	5,9	11,7
78	31,0	29,3	1,7	5,6
79	35,6	33,3	2,3	6,5
80	46,5	39,7	6,8	14,6
81	31,9	29,7	2,2	6,9
82	6,8	8,4	0,0	0,0
83	25,6	26,4	0,0	0,0
84	28,9	30,2	0,0	0,0
85	28,7	28,4	0,4	1,2
86	27,5	28,2	0,0	0,0
87	31,1	32,2	0,0	0,0
88	25,0	25,5	0,0	0,0
89	26,5	27,1	0,0	0,0
90	24,9	25,7	0,0	0,0
91	5,6	5,4	0,3	4,6
92	7,7	7,7	0,0	0,3
93	30,3	30,1	0,2	0,7
94	16,5	15,7	0,9	5,4
95	26,4	26,2	0,1	0,4
96	18,0	17,2	0,8	4,3
97	19,5	19,6	0,0	0,0
98	26,1	28,7	0,0	0,0
99	27,8	25,8	2,0	7,1
100	23,9	22,9	1,0	4,2
101	30,9	31,3	0,0	0,0
102	28,2	26,7	1,5	5,3
103	31,2	31,3	0,0	0,0
104	34,6	33,7	0,9	2,5
105	45,1	43,9	1,2	2,7
106	31,8	31,1	0,6	1,9
107	31,0	31,2	0,0	0,0
108	40,6	39,7	0,8	2,1
109	45,4	42,0	3,4	7,4

110	36,9	35,3	1,6	4,3
111	44,2	40,8	3,3	7,6
112	42,9	41,9	1,0	2,3
113	46,4	43,6	2,8	6,0
114	49,9	48,5	1,5	3,0
115	47,3	45,1	2,2	4,7
116	43,2	44,9	0,0	0,0
117	48,7	47,0	1,8	3,6
118	46,8	45,1	1,7	3,6
119	49,4	46,1	3,3	6,8
120	37,5	36,6	0,9	2,4
121	22,5	19,8	2,7	11,8
122	30,7	26,6	4,1	13,4
124	35,7	30,5	5,2	14,6
125	32,3	28,0	4,3	13,3
126	24,6	22,1	2,4	9,8
127	40,5	36,7	3,8	9,4
128	43,9	39,3	4,6	10,5
129	40,4	35,8	4,6	11,4
130	40,5	36,3	4,2	10,4
131	40,6	35,4	5,2	12,7
132	42,2	35,7	6,4	15,3
133	22,7	22,0	0,7	3,0
134	24,2	22,0	2,2	9,3
135	42,6	38,9	3,7	8,6
136	42,9	38,2	4,7	11,1
137	20,7	20,0	0,6	3,0
138	24,1	21,2	2,8	11,7
139	38,2	34,8	3,4	8,9
140	42,6	39,5	3,1	7,3
141	47,0	41,5	5,5	11,7
142	35,8	31,4	4,4	12,3
143	5,6	5,3	0,3	5,1

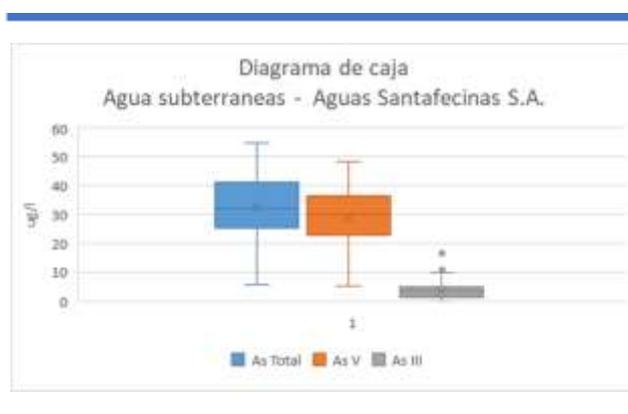


Fig. 2: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, Agua Santafecinas S.A. (n:143)

**Agua y Saneamiento Mendoza (AySAM)**

La Tabla 3 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 15 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes del sistema de distribución de varias localidades de la provincia de Mendoza. Se observa prevalencia de As(V) en la mayoría de las muestras (promedio 89%) sobre As(III) (promedio 11%).

La Figura 3 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

*Tabla 3. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones y red de distribución de Aguas y Saneamiento Mendoza (AySAM)*

Muestra N°	ug/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	36,1	33,2	3,0	8,2
2	36,7	31,2	5,5	15,0
3	46,7	44,0	2,7	5,7
4	35,7	33,8	1,9	5,4
5	37,1	34,4	2,8	7,5
6	37,5	36,9	0,7	1,7
7	46,5	41,5	4,9	10,6
8	37,8	36,0	1,8	4,7
9	45,5	40,6	4,9	10,7
10	37,5	39,0	0,0	0,0
11	41,8	38,3	3,5	8,4
12	28,1	23,3	4,8	17,0
13	33,5	24,2	9,3	27,7
14	37,9	22,4	15,5	40,8
15	29,9	29,1	0,8	2,7
16	40,0	34,8	5,2	13,0
17	23,6	20,4	3,2	13,6
18	27,2	25,5	1,7	6,3

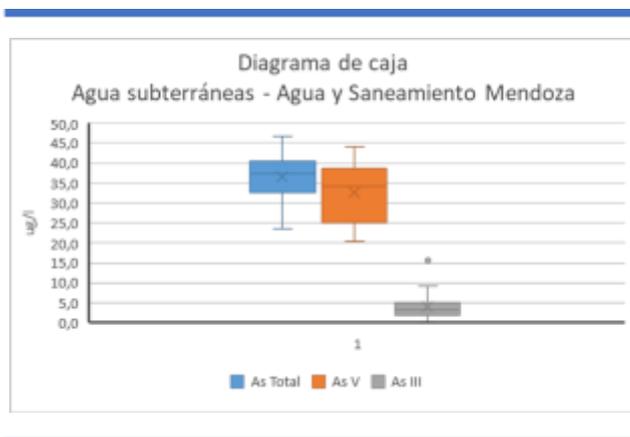


Fig. 3: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, AySAM (n:68)

**Obras Sanitarias Mar del Plata S.E. (OSSE)**

La Tabla 4 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 27 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes del sistema de distribución de la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires. Se observa prevalencia de As(V) en todas las muestras (promedio 87,7%) sobre As(III) (promedio 12,3%).

La Figura 4 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

*Tabla 4. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones y red de distribución de Obras Sanitarias Mar del Plata S.E. (OSSE)*

Muestra N°	ug/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	42,9	39,8	3,1	7,2
2	43,5	38,5	5,0	11,5
4	33,4	27,7	5,7	17,0
5	31,3	27,5	3,8	12,1
6	40,6	36,2	4,4	10,9
8	32,1	28,8	3,2	10,0
9	20,7	17,5	3,2	15,3
10	51,4	43,1	8,3	16,2
11	29,0	24,8	4,2	14,5
12	28,8	25,8	3,0	10,3
13	28,6	26,0	2,6	9,0
14	28,4	25,9	2,5	8,8
15	27,2	25,0	2,2	8,0
16	48,6	41,7	6,9	14,2
17	36,8	31,7	5,1	13,8
18	27,8	24,0	3,8	13,5
19	28,1	24,4	3,7	13,3
20	25,4	22,3	3,1	12,2
21	39,6	35,1	4,5	11,3
22	23,6	21,2	2,4	10,1
23	32,4	28,4	4,0	12,3
24	34,4	28,6	5,7	16,7
25	30,3	26,0	4,3	14,0
26	34,2	30,3	3,9	11,4
27	31,8	27,7	4,1	12,9

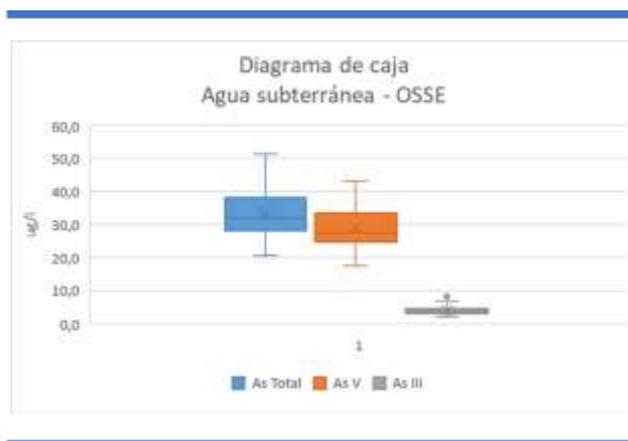


Fig. 4: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, OSSE (n:27)

### **Obras Sanitarias Balcarce (OSEBAL)**

La Tabla 5 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 19 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes de distribución de la ciudad de Balcarce, provincia de Buenos Aires. Se observa prevalencia de As(V) (promedio 87,1%) sobre As(III) (promedio 12,9%).

La Figura 5 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

Tabla 5. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones y red de distribución de Obras Sanitarias Balcarce (OSEBAL)

Muestra N°	ug/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	23,0	19,8	3,3	14,2
2	30,1	27,0	3,1	10,2
3	35,4	32,4	3,0	8,6
4	28,3	23,5	4,7	16,8
5	35,2	29,1	6,1	17,3
6	30,5	25,8	4,8	15,6
7	36,9	32,5	4,4	12,0
8	42,4	36,2	6,2	14,6
9	40,2	34,3	6,0	14,9
10	42,0	37,1	5,0	11,8
11	36,5	32,9	3,5	9,7
12	40,8	36,1	4,7	11,6
13	40,6	36,0	4,6	11,2
14	45,0	38,5	6,5	14,3

15	41,9	35,8	6,1	14,6
16	40,6	36,7	3,9	9,6
17	40,4	36,7	3,8	9,3
18	35,9	30,1	5,8	16,3
19	36,0	31,8	4,3	11,9

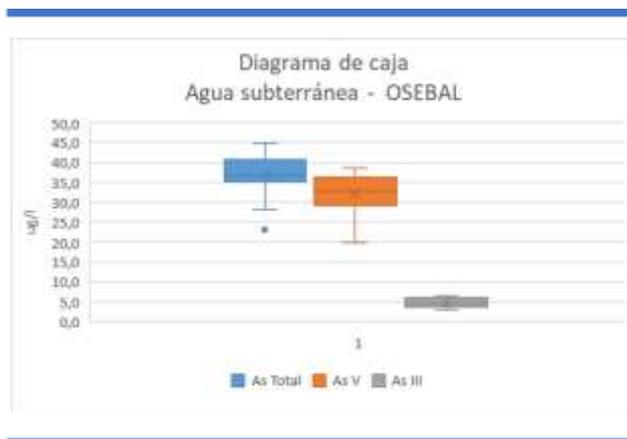


Fig. 5: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, OSEBAL (n:19)

### **Ente Provincial de Agua y Saneamiento del Neuquén (EPAS)**

La Tabla 6 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 13 muestras de agua superficial proveniente de río o redes de distribución de la provincia de Neuquén. Se observa prevalencia de As(V) (promedio 96%) sobre As(III) (promedio 4%).

La Figura 6 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

Tabla 6. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de agua de fuente de captación superficial y red de distribución del Ente Provincial de Agua y Saneamiento del Neuquén (EPAS)

Muestra N°	ug/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	44,8	44,9	0,0	0
2	16,5	16,0	0,5	3
3	4,6	4,2	0,5	10,1
4	6,4	5,5	0,8	13,2
5	5,3	5,0	0,3	5,7
6	5,4	5,0	0,3	6,2
7	5,6	5,2	0,4	6,6
8	8,7	8,2	0,5	5,9
9	5,1	5,8	0,0	0
10	5,2	5,5	0,0	0

11	0,5	0,7	0,0	0
12	0,8	0,5	0,3	0
13	0,5	1,1	0,0	0



Fig. 6: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, EPAS (n:13)

### ***Aguas del Norte, Provincia de Salta***

La Tabla 6 presenta la concentración de As total y su distribución en las especies químicas As(V) y As(III), en 56 muestras de agua proveniente de perforaciones o redes de distribución de distintas localidades de la provincia de Salta. Se observa prevalencia de As(V) (promedio 89,2%) sobre As(III) (promedio 10,8%).

La Figura 6 presenta el diagrama de Caja mostrando la distribución estadística de los resultados obtenidos.

*Tabla 6. Concentración de As total, As(V) y As(III) en muestras de agua provenientes de perforaciones y red de distribución de Aguas del Norte, Provincia de Salta*

Muestra N°	ug/l			%
	As Total	As V	As III	As III
1	17,4	16,7	0,8	4,4
2	46,1	40,1	6,0	13,0
3	16,4	15,3	1,1	6,6
4	41,5	37,3	4,2	10,2
5	23,3	20,8	2,5	10,9
6	16,6	16,2	0,4	2,5
7	18,5	16,5	2,0	11,1

Especiación de Arsénico en agua de consumo humano en distintas cuencas de Argentina, COFES 2023

8	13,5	12,3	1,3	9,5
9	21,9	20,5	1,4	6,4
10	26,0	23,9	2,1	8,3
11	19,3	16,1	3,2	16,6
12	25,4	22,8	2,6	10,2
13	42,0	39,7	2,3	5,4
14	20,5	15,8	4,7	23,1
15	18,5	15,3	3,3	17,6
16	15,0	13,0	2,0	13,2
17	24,2	22,3	1,9	7,7
18	22,6	20,1	2,5	11,2
19	17,9	15,8	2,1	11,7
20	30,8	27,2	3,5	11,5
21	9,0	8,9	0,0	0,4
22	15,2	14,1	1,1	7,0
23	23,8	23,0	0,8	3,4
24	39,6	38,2	1,4	3,6
25	39,8	27,0	12,8	32,2
26	30,5	26,1	4,4	14,4
27	15,9	14,9	1,0	6,3
28	9,9	8,4	1,5	15,1
29	12,6	11,0	1,6	12,6
30	15,2	13,2	2,0	12,9
31	18,2	15,9	2,2	12,4
32	14,6	13,5	1,1	7,6
33	16,4	14,7	1,7	10,6
34	12,6	11,5	1,0	8,2
35	23,6	20,9	2,7	11,3
36	17,7	16,7	1,1	6,0
37	9,0	8,6	0,4	4,8
38	14,4	12,0	2,4	16,8
39	13,0	11,5	1,5	11,8
40	15,2	11,7	3,5	23,1
41	12,2	10,3	1,9	15,5
42	9,7	8,1	1,7	17,2
43	18,2	15,5	2,7	14,9
44	13,6	12,2	1,4	10,3
45	8,3	7,1	1,2	14,1
46	10,7	9,6	1,1	10,0
47	13,2	12,0	1,2	8,7
48	9,5	11,3	0,0	0,0
49	6,6	6,5	0,2	2,6
50	9,6	8,6	1,0	10,7
51	2,2	1,9	0,3	13,9
52	13,5	11,6	1,9	13,7
53	17,7	15,6	2,1	11,9

54	26,5	23,6	2,9	11,1
55	12,2	10,4	1,8	14,6
56	9,6	9,0	0,6	6,5

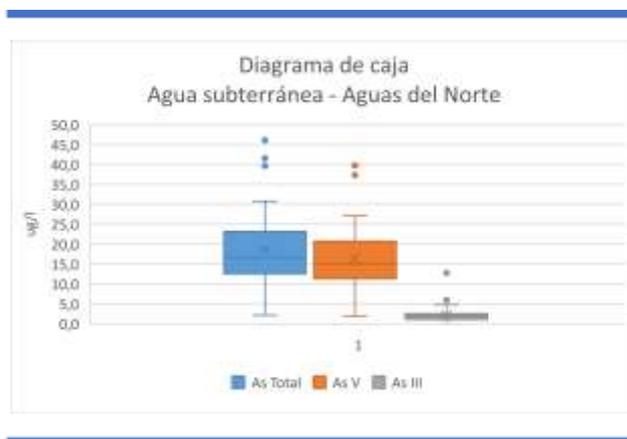


Fig. 6: Diagrama de Caja. Especiación de Arsénico. Agua subterránea, Aguas del Norte (n:56)

### Resultados totales

La Figura 7 muestra la concentración de As total y As(III) en todas las muestras analizadas (n:342) correspondientes a todos los operadores participantes del estudio. En el rango de As total estudiado (0 – 50 ug/l), la concentración de As(III) no supera los 10 ug/l en el 97,69% de las muestras. En promedio, el As(III) corresponde al 11,6% del As total.

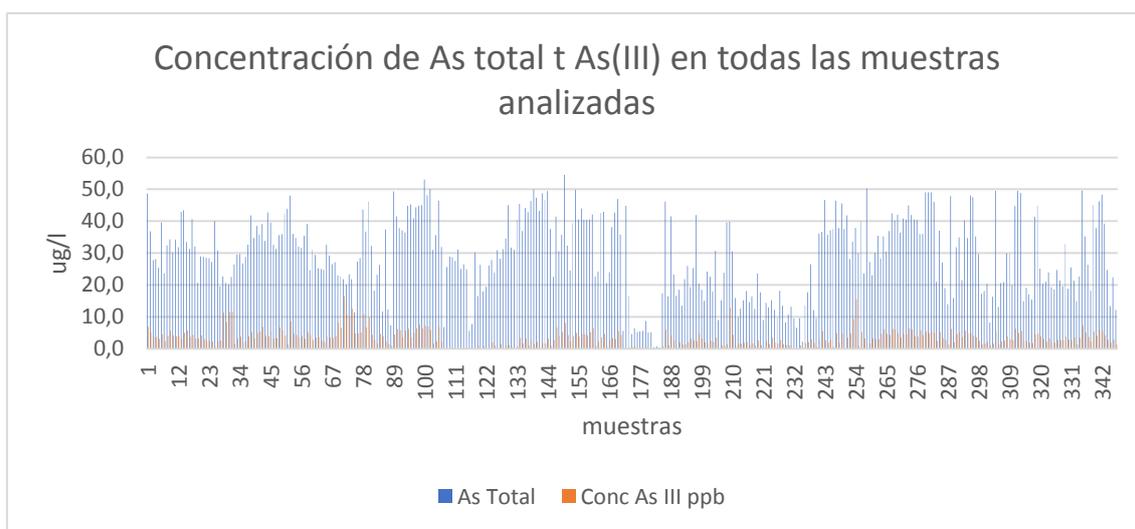


Fig. 8: Comparación del contenido de As total y As(III)

La prevalencia de As(V) encontrada en este estudio, concuerda con estudios previos de especiación realizados en distintas regiones de Argentina y por diferentes metodologías analíticas. Turiel, et.al (2005) en referencia a la movilidad del arsénico menciona “El comportamiento ambiental del arsénico está condicionado básicamente por las condiciones redox y pH del medio hídrico. En el contexto arsenical del Cono Sur, prevalecen las condiciones oxidantes, el arsénico está mayoritariamente disuelto en formas de especies con As(V) y el pH es neutro o tiende a la alcalinidad”<sup>18</sup>.

En la provincia de Santa Fe investigadores de la Universidad Nacional de Lanús en el año 2014 encontraron prevalencia de As(V) sobre As(III) en aguas subterráneas de zonas rurales y periurbanas en 27 localidades de esa provincia<sup>19</sup>, indicando que los resultados encontrados serían acordes con estudios epidemiológicos previos publicados por el Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS) en 2005<sup>20</sup>. Utilizando otra técnica analítica y para concentraciones de arsénico total muy superiores a las evaluadas en este estudio, investigadores de la Universidad Nacional de La Pampa encontraron en muestras de agua subterránea, también de la provincia de Santa Fe una presencia exclusiva de la especie As(V)<sup>21</sup>.

En el sudeste de la provincia de Buenos Aires, investigadores de la Universidad Nacional de Mar del Plata realizaron varios estudios de especiación en agua subterránea de varias localidades<sup>22</sup>, encontrando también prevalencia de As(V) sobre As(III), Robles et.al<sup>23</sup>, en 20 muestras analizadas en diferentes localidades, encontraron similar prevalencia de As(V) sobre As(III). En ninguna muestra la concentración de As(III) superó los 10 ug/l.

## Conclusiones y Discusión

Se estudió la especiación de arsénico en agua en muestras provenientes de distintas fuentes de abastecimiento y redes de distribución de agua de distintas regiones del país con contenido de arsénico total inferior a 50 ug/l. Las muestras fueron provistas por diferentes empresas proveedoras de agua para consumo humano de distintas regiones de Argentina determinando la prevalencia de la especie As(V) (al menos 10 veces menos tóxica <sup>24</sup>) sobre As(III) en todas las cuencas estudiadas.

Considerando el total de las muestras analizadas, el porcentaje promedio de As(V), es de 88,4% y de As(III), es de 11,6%.

Esta prevalencia se ha encontrado tanto en agua de las fuentes de captación estudiadas (aguas subterráneas o aguas superficiales) como en las redes de distribución de las empresas.

La amplitud geográfica de este estudio de especiación es relevante para ser tenido en cuenta en la consideración de los marcos normativos de calidad de agua para consumo humano.

Este estudio de especiación y los demás citados realizados en la Argentina, provincia de Santa Fe y Buenos Aires, son posteriores a la actualización del Código Alimentario Argentino del año 2007 donde se ajustó el nivel aceptable de arsénico total para agua destinada al consumo humano a 10 ug/l. En consecuencia, se considera que este nuevo conocimiento, donde se ha determinado prevalencia de la especie menos tóxica, al menos en una gran parte de las cuencas de explotación y en los sistemas de distribución de los prestadores de agua, es relevante para su consideración en los nuevos marcos normativos.

La predominancia de As(V) sobre As(III) encontrada en los estudios realizados en diferentes zonas de Argentina, contrastan con estudios realizados en otras regiones del mundo donde la prevalencia es del As(III).

Por ejemplo, el acuífero del que se abastece de agua la ciudad de Chihuahua en México ha mostrado predominancia de As(III) con niveles no detectables de As(V) <sup>25</sup>.

Lillio, J. (2008)<sup>26</sup> y referencias allí citadas describe condiciones de Asia, donde en Taiwan, con rangos de concentración de arsénico:10-1800 ug/l, el arsénico está mayoritariamente como As(III), lo que indica condiciones reductoras. También se encuentran condiciones reductoras que llevan a la prevalencia de As(III) en Bangladesh con rango de concentración de As 0,5 a 2500 ug/l y Bengala Oeste con rango de concentración de 10 – 3200 ug/l. Se describen condiciones reductoras en Mongolia inferior, norte de China y Vietnam. También en Rumania describe la presencia de arsénico en ambiente reductor.

El trabajo también refiere a lugares donde existen condiciones oxidantes con prevalencia de As(V) en una zona de México (La Lagunera), en Chile en la región de Antofagasta con rangos de concentración de 100 a 1000 ug/l y en Argentina, la llanura Chaco-pampeana con rangos de concentración de 1 a 5300 ug/l. Todas estas zonas con condiciones oxidantes típicas de zonas áridas y prevalencia de As(V).

La toxicidad diferencial entre las especies, al menos de diez veces más tóxico el As(III), implica diferente riesgo epidemiológico que debe ser tenido en cuenta.

Los estados de especiación del arsénico cambian en función del pH y las condiciones oxidantes o reductoras del sistema, en tal sentido, se estima relevante considerar el hecho que las empresas operadoras del abastecimiento de agua, deben clorar el agua para prevención de la calidad microbiológica. El Código Alimentario Argentino exige un nivel de cloro libre mínimo de 0,2 mg/l. Por lo tanto, la presencia de cloro en el sistema de distribución asegura un ambiente oxidante y en consecuencia, el mantenimiento de la prevalencia de la especie As(V) en las redes y el sistema de distribución.

Una normativa basada en mayor conocimiento, discriminando especies químicas de diferente toxicidad, implica un avance ajustado hacia las causas profundas de la epidemiología del arsénico.

El conocimiento logrado se acompaña con un desarrollo analítico que permite la determinación de las especies de As(V) y As(III) al alcance de todo laboratorio que puede realizar la determinación de arsénico total. De este modo es posible el control de rutina y en consecuencia favorece la evaluación de una propuesta normativa que considere la especiación de arsénico.

En consecuencia, es posible proponer una mejora en la evaluación de Arsénico en agua para consumo humano, en atención a la toxicidad diferencial de las especies, teniendo en cuenta que la recomendación de bajar a 10 ug/l el nivel de arsénico proviene de estudios realizados en Taiwan donde prevalece el contenido de As(III).

Si bien al momento no se ha encontrado que el arsénico sea un elemento esencial para el ser humano y por lo tanto es deseable que la concentración de este elemento en el agua sea lo más baja que razonablemente pueda lograrse, se estima, que además de las prioridades que puedan determinarse en cada región, es oportuno mencionar que el valor de 10 ug/l ha sido adoptado por la OMS como valor de referencia provisional debido a la existencia de incertidumbres científicas. El método de cálculo presenta considerable incertidumbre sobre los riesgos reales a concentraciones bajas y los datos disponibles sobre el modo de acción no proporcionan una base biológica para la extrapolación lineal o no lineal. Las controversias y discusiones sobre la adopción de umbrales a partir de estudios epidemiológicos realizados en Taiwan donde la comunidad presenta diferente composición genética, hábitos alimentarios, clima, etc., se suman a la metodología de correlación y extrapolación de efectos cancerígenos a esa concentración<sup>27</sup> y a la prevalencia diferente de especie química de arsénico.

La mayoría de los estudios existentes sobre los efectos del arsénico en el agua potable sobre la salud han informado vínculos entre los cánceres de órganos internos y concentraciones muy altas de arsénico. Sin embargo, estudios recientes realizados en los Estados Unidos no han encontrado una asociación clara entre los riesgos de cáncer y arsénico en el agua potable en niveles superiores a 10 µg/L (e inferiores a 50 µg/L). Sin embargo, estos estudios recientes no pueden usarse para derivar una guía hasta que sus resultados sean confirmados por estudios adicionales <sup>28</sup>.

La publicación de la OMS del 7 de diciembre de 2022<sup>29</sup> refiere a la reevaluación del Comité mixto FAO/OMS de Expertos Aditivos Alimentarios sobre efectos del arsénico en la salud humana a la luz de nuevos datos disponibles, una de sus conclusiones es que en las regiones con niveles entre 10 – 50 ug/l, si bien existe el riesgo de efectos adversos, estos presentan niveles de incidencia bajos, que serían difíciles de detectar dentro de un estudio epidemiológico. La OMS explica que “el valor de 10ug/l de referencia es provisional dada las dificultades prácticas relacionadas con la eliminación del arsénico del agua de bebida y que por lo tanto debe hacerse todo lo posible para mantener las concentraciones lo más baja que sea razonablemente posible y por debajo del valor de referencia cuando se disponga de recursos”. Expresa la OMS también que “millones de personas en el mundo están expuestas a concentraciones muy superiores al valor de referencia y que deben ser prioridad reducir la exposición de estas personas”. También expresa que **“cuando resulte difícil alcanzar el valor de referencia, los Estados Miembros pueden establecer límites más elevados o valores provisionales como parte de una estrategia general para reducir progresivamente los riesgos, teniendo en cuenta las circunstancias locales, los recursos disponibles y los riesgos asociados a fuentes con bajos niveles de arsénico contaminadas microbiológicamente”**.

Por lo tanto, de acuerdo a los resultados encontrados en el presente estudio, antecedentes y las consideraciones expuestas, el Consejo Federal de Entidades Sanitarias de Argentina (COFES), considera oportuno que se considere la conformación de una Comisión integrada por todos los actores involucrados que además de atender la problemática del arsénico en el agua para consumo humano ajustada a este nuevo conocimiento, permita que los prestadores de agua puedan disponer de mayor cantidad del recurso hídrico para satisfacer la demanda y direccionar las inversiones para que los beneficios del agua de red, provista y controlada por las empresas de servicio y sus organismos de control, puedan alcanzar a mayor cantidad de habitantes de la Argentina, propiciando la inclusión social, la equidad y en consecuencia acelerando el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible <sup>30</sup>.

Evaluar una propuesta de reconsideración normativa en función del nuevo conocimiento, no significa un retroceso en la exigencia de calidad, sino por el contrario un avance, un ajuste ante el nuevo conocimiento obtenido, a partir del cual es posible considerar la toxicidad diferencial de las especies de arsénico, a tiempo que se tienen

en cuenta las recomendaciones de las “Guías para la calidad del agua de consumo humano” de la OMS, que propone nuevas formas de identificación y gestión de riesgos, a través de objetivos basados en la salud y planes de seguridad del agua<sup>31</sup>.

Consecuentemente, avanzar sobre la especificidad de variables con distinta toxicidad constituye un ajuste para una prestación más segura, posible y equitativa de los servicios.

Avanzar con una propuesta basada en estudios específicos regionales y evaluados en conjunto entre los distintos actores involucrados, Autoridades de Salud, Recursos Hídricos, Organismos de Control y el COFES como representante de las empresas prestadoras del servicio de agua para consumo humano en la república Argentina, con participación de investigadores de CONICET y la participación de todos los actores involucrados, ofrece una oportunidad para el trabajo conjunto, teniendo en cuenta los distintos puntos de vista y de acuerdo a las premisas debatidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Asimismo, avanzar a través de mayor conocimiento sobre los marcos normativos de calidad de agua, como resulta del presente estudio de especiación de arsénico en agua para consumo humano, permitirá ajustar de mejor forma las decisiones para avanzar con equidad en el acceso al agua potable, el saneamiento y la higiene en el país, atender principios de progresividad y priorizar las inversiones de mayor impacto positivo en la salud pública general.

Es de suma importancia destacar, que el impostergable tratamiento conjunto entre todos los actores involucrados trae como consecuencia el necesario mejoramiento de la gobernanza, evitando alarmas en la población y evitando el tratamiento judicial derivado de las múltiples denuncias. Se espera que el trabajo conjunto y los consensos, disminuyan la conflictividad y propicien una agenda de gestión ajustada a las problemáticas reales y en consecuencia se alcancen en menos tiempo los mayores objetivos de calidad propuestos.

El urgente enfoque holístico, interdisciplinario e intersectorial, situado en tiempo y forma para la región surge del trabajo desarrollado en el COFES “Progresividad para la equidad en el acceso al agua y el saneamiento”<sup>32</sup>.

Finalmente, a partir de la presentación de este estudio, se considera oportuno encontrar una metodología de trabajo conjunto intersectorial e interinstitucional para el tratamiento de los diversos temas de calidad de agua a considerar en el futuro.

# ANEXO

## Protocolo de Muestreo



# ESPECIACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA DE CONSUMO HUMANO EN DISTINTAS CUENCAS DE ARGENTINA, COFES 2023



- **Envases:** polietileno de alta densidad (PED) de 125 ml o 250 ml con tapas a rosca precintadas.
- **Toma de la muestra:** completar el volumen del envase y mantener la muestra refrigerada una temperatura de 2-8 °C con el objetivo de detener los procesos de oxidación/reducción manteniendo inalterada la distribución original de las especies.
- **Conservación y almacenamiento:** se debe realizar la etapa de extracción en fase sólida (SPE) lo antes posible luego de la toma de la muestra. Manteniendo las muestras refrigeradas y al resguardo de la luz, se pueden almacenar durante un plazo no superior a las 72 horas hasta la etapa de extracción en fase sólida, asegurando así la integridad de las especies de arsénico (arsenito y arseniato).
- **Dirección de envío de muestras:** Laboratorio Central de AySA. Av.Pres J Figueroa Alcorta 6081,Capital Federal, Buenos Aires. C1426CBK.

---

## Referencias

- <sup>1</sup> Bain, R. & Slaymaker, T. (2018) Progress in tracking inequalities. Lesson from MGD monitoring. *Equality in Water and Sanitation Services*. Edited by Oliver Cumming and Tom Slaymaker, 3-25 pp.
- <sup>2</sup> Wijesekera, S., Gordon, B. & Cavill S. (2018) The potencial of the SDG framework to promote equality through wash initiatives. *Equality in Water and Sanitation Services*. Edited by Oliver Cumming and Tom Slaymaker, 46-59 pp.
- <sup>3</sup> Estrategias de progresividad - informe preliminar 2021. para la equidad en el acceso al agua y saneamiento – Informe preliminar (2021). <https://www.cofes.org.ar>
- <sup>4</sup> Secretaría de Regulación y Gestión Sanitaria y Secretaría de Alimentos y Bioeconomía – Resolución Conjunta 34/2019.
- <sup>5</sup> Lillo, J. (2008). Peligros Geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas. *Grupo de Estudios y de Minería y Medio Ambiente (textos y cursos on-line)*. King Juan Carlos University. <https://www.researchgate.net/publication/266597632>
- <sup>6</sup> Litter, M. (2018). Arsénico en agua. *Agua + Humedales*. UNSAM edita. 210-224.
- <sup>7</sup> Valores Guía Nacionales de Calidad de Agua Ambiente. (2001). Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. República Argentina.
- <sup>8</sup> Hernandez, M., Gonzalez, N., Trovato, M., Ceci, J. & Hernandez, L. ((2005). Sobre los criterios para el establecimiento de umbrales de tolerancia de arsénico en aguas de bebida. *Arsénico en Aguas: Origen, movilidad y tratamiento. Taller II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea . IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina. 167-172pp.*
- <sup>9</sup> Gerpe, Marcela, (CONICET – UNMDP), (2022). Arsénico III / Arsénico V. - *Jornada Regional “Problemática de calidad de aguas”, Consejo Federal de Entidades de Servicio Sanitario (COFES)*, 5/5/2022.
- <sup>10</sup> Cardozo, A. (2022) (Aguas del Norte, Salta) Caso de estudio en San Antonio de los Cobres, provincia de Salta, - *Jornada Regional “Problemática de calidad de aguas”, Consejo Federal de Entidades de Servicio Sanitario (COFES)*, 5/5/2022.
- <sup>11</sup> Piacente, . (2022) (Aguas Santafequinas), Corrección de aguas con arsénico por ósmosis inversa - *Jornada Regional “Problemática de calidad de aguas”, Consejo Federal de Entidades de Servicio Sanitario (COFES)*, 5/5/2022.
- <sup>12</sup> Peyrano, R. (2022) (AySA), Caso de estudio de especiación de arsénico (AsIII / AsV) en agua subterránea, - *Jornada Regional “Problemática de calidad de aguas”, Consejo Federal de Entidades de Servicio Sanitario (COFES)*, 5/5/2022.
- <sup>13</sup> 1° Jornada de Arsénico en la Llanura Pampeana (As2019) CONIC, Azul, Buenos Aires, Argentina, 2 de septiembre de 2019. [http://as2019.com.ar/conferencias\\_2/](http://as2019.com.ar/conferencias_2/)
- <sup>14</sup> Litter, M. (2018). Arsénico en agua. *Agua + Humedales*. UNSAM edita. 210-224.

- <sup>15</sup> Selective Retention of As(III), and As(V) on Different SPE Sorbents On-Site. Sampling for Arsenic Speciation Analysis in Ground Water.
- <sup>16</sup> Arsenic contamination of groundwater and its health impact on residents in a village in West Bengal, India. Article in Bulletin of the World Health Organisation. February 2005
- <sup>17</sup> Gwendy E. M. Hall, J. C. Pelchat and Gilles Gauthier. Stability of inorganic arsenic(III ) and arsenic(V ) in water samples.
- <sup>18</sup> Fernandez-Turiel, J., Galindo,G, Parada, M.,Gimeno,D.,García-Valles,M.& Saavedra,J. (2005) Estado actual del conocimiento sobre el arsénico en el agua de Argentina y Chile: origen, movilidad y tratamiento. *Arsénico en Aguas: Origen, movilidad y tratamiento. Taller II Seminario Hispano-Latinoamericano sobre temas actuales de hidrología subterránea . IV Congreso Hidrogeológico Argentino. Río Cuarto, 25-28 octubre 2005. Argentina. 1-22 pp.*
- <sup>19</sup> Sigrist, Mirna (2014). Determinan las especies de arsénico en aguas subterráneas. Noticias. Universidad Nacional del litoral (UNL)
- <sup>20</sup> Corey, J., Tomasini, R. & Oagura, J. (2005). Estudio epidemiológico de la exposición al arsénico a través del consumo de agua. epidemiológicos ENRES, Provincia de Santa Fe, Argentina.
- <sup>21</sup> Vallejos, D., Schlotthauer, J. , Pedro, J. Calvo, M. & Magni,D. (2019). Especiación de arsénico en agua por cromatografía líquida acoplada a espectrometría de fluorescencia atómica con generación de hidruros. *10° Congreso Argentino de Química Analítica; Argentina, 2019 69-69.*
- <sup>22</sup> Miglioranza, K; Alvarez, V.; Gerpe, M; Hoppe, C.(2021). Arsénico, *Informes de Revisión. Red de Estudios Ambientales Bonaerenses.. Nodo Mar del Plata.* 64pp.
- <sup>23</sup> Robles, A.D; Cohen, M; Romero, M.B.; Garay, F.; Gerpe, M. Evaluation of inorganic arsenic species in drinking water of the southeasten of the Buenos Aires province. Argentina.*One Century of the Discovery of Arsenicosis in Latin América (1924 – 2014), 145-147.*
- <sup>24</sup> Litter, M. (2018). Arsénico en agua. *Agua + Humedales. UNSAM edita.* 210-224.
- <sup>25</sup> Peregrino Ibarra (2014), C. Caracterización y cuantificación de las especies de arsénico presentes en acuíferos que abastecen de agua potable a la ciudad de Chihuahua. Maestría en Ciencias y Tecnología Ambiental . Centro de Investigaciones en Materiales avanzados, s.c. México.
- <sup>26</sup> Lillo, J. (2008). Peligros Geoquímicos: Arsénico de origen natural en las aguas. *Grupo de Estudios y de Minería y Medio Ambiente (textos y cursos on-line).* King Juan Carlos University. <https://www.researchgate.net/publication/266597632>
- <sup>27</sup> Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document. Arsenic (2006). Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment Health Canada Ottawa, Ontario.
- <sup>28</sup> Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document. Arsenic (2006). Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment Health Canada Ottawa, Ontario.
- <sup>29</sup> <https://who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>

---

<sup>30</sup> Ross, I. & Franceys R.(2018) First a basic service for all – Reducing WASH inequalities through more equitable funding and financing strategies. *Equality in Water and Sanitation Services*. Edited by Oliver Cumming and Tom Slaymaker, 137-156 pp.

<sup>31</sup> Guías para la calidad del agua de consumo humano (2023), Organización Mundial de la Salud (OMS), 631 pp.

<sup>32</sup> Roaf, V., Albuquerque C & Heler, L (2018) The human rights to water and sanitation – Challenges and implications for future priorities - *Equality in Water and Sanitation Services*. Edited by Oliver Cumming and Tom Slaymaker, 27 -59 pp.