

# Bioaccesibilidad de arsénico y cálculos de ingestas en dietas consumidas por una población endémica de Taco Pozo. Comparación entre las ingestas infantiles y adultas

Avila Carreras, N.M.E., Bovi Mitre, M.G.

INQA (Investigación de Química Aplicada), Facultad de Ciencias Agrarias, UNJu. Alberdi N° 47. San Salvador de Jujuy, Jujuy Argentina. CP: 4600

**Resumen:** El arsénico es muy estudiado a nivel mundial, es altamente tóxico en especial en su forma inorgánica arseniato [As(V)] y arsenito [As(III)]. El hombre se encuentra expuesto al arsénico principalmente mediante el agua de consumo y la dieta. El objetivo del trabajo fue determinar la bioaccesibilidad de arsénico en alimentos cocinados en una región endémica Chacosantiagueña de Argentina y estudiar la ingesta diaria en una población infantil y adulta a partir del arsénico bioaccesible cuantificable en los alimentos. Para la cuantificación de As-i bioaccesible se siguió el método *in vitro* de simulación del proceso de digestión gastrointestinal en sus dos etapas (gástrica e intestinal). Para el cálculo de la fracción bioaccesible se cuantificó el Arsénico luego del proceso de digestión gastrointestinal simulado y este valor corresponde al % de bioaccesibilidad con respecto al Arsénico cuantificado antes del proceso y que constituye el 100%. Para los mates y leches se consideró la totalidad del arsénico como inorgánico puesto que en el agua, éste es la principal especie. Los resultados muestran que el arsénico bioaccesible tiene valores entre 62,7-78 %, siendo el promedio 70,6%. Los rangos de las ingestas calculadas para la población infantil fueron de 11,3 a 350,9 µg/kgpc/día, mientras que en la población adulta fueron entre 5 a 30,2 µg/kgpc/día. La población infantil es la más expuesta al arsénico mediante la dieta.

**Palabras claves:** cálculos de ingestas; bioaccesibilidad; arsénico; población expuesta.

**Abstract:** *Bioavailability of arsenic and intake calculations in diets consumed by an endemic population of Taco Pozo. Comparison between infant and adult intakes.*

Arsenic is very studied worldwide, it is highly toxic especially in its inorganic form arsenate [As (V)] and arsenite [As (III)]. Man is exposed to arsenic mainly through drinking water and diet. The objective of the work was to determine the bioavailability of arsenic in cooked foods in a Chacosantiagueña endemic region of Argentina and to study the daily intake in a child and adult population from quantifiable bioavailable arsenic in foods. To calculate the bioaccessible fraction, Arsenic was quantified after the simulated gastrointestinal digestion process and this value corresponds to the % of bioavailability with respect to Arsenic quantified before the process and which constitutes 100%. For mates and milks the totality of arsenic was considered as inorganic since in water, this is the main species. The results show that bioaccessible arsenic has values between 62.7-78%, with an average of 70.6%. The ranges of the intakes calculated for the infant population were from 11.3 to 350.9 µg / kgpc / day, while in the adult population they were between 5 to 30.2 µg / kgpc / day. The infant population is the most exposed to arsenic through diet.

**Keywords:** intake calculations; bioavailability; arsenic; exposed population.

## Introducción

El arsénico existe en el ambiente y en los seres vivos como especies orgánicas e inorgánicas, siendo estas últimas las más tóxicas. Las especies inorgánicas más importantes a las que están expuestos los seres humanos son: arseniato [As(V)] y arsenito [As(III)] (Tseng et al., 2007; Sommella et al., 2013). En América Latina, existen altas

concentraciones de arsénico en suelos y agua asociados a los depósitos de cenizas y rocas volcánicas. También se observa que se asocia con óxidos metálicos, especialmente con óxidos de hierro, partículas de arcilla, sulfuros y materiales orgánicos (Bundschuh et al., 2012), siendo todo esto una característica distintiva de la presencia de arsénico en los países de América Latina.

En Argentina se han reportado altas concentraciones de arsénico en diferentes provincias como ser: Córdoba (Nicolli et al. 1989), Santiago del Estero (Bhattacharya et al. 2006), La Pampa (Farías et al. 2003; O'Reilly et al. 2010), Buenos Aires (Bundschuh et al. 2010), Chaco (Blanes et al. 2011; Buchhamer et al. 2012), entre otros.

El arsénico es considerado carcinogénico para humanos y se clasifica en el Grupo 1 según (IPCS 2001). La ingestión crónica de aguas arsenicales provoca la enfermedad llamada HACRE (hidroarsenicismo crónico regional endémico) (Biagini et al. 1978; Tsai et al. 1998) además de otras patologías como astenia, debilidad muscular, cefalea, neuropatías periféricas, alteraciones hepáticas y renales, deterioro del sistema nervioso central, leucemias, diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, vejiga, piel), desordenes cardiovasculares, hipertensión entre otros (Buchhamer et al. 2012; Wong et al., 2013; Li Gang et al., 2011). En la mayoría de los casos son necesarias décadas de exposición para observarse estas manifestaciones clínicas. La vía de ingreso principal al hombre es mediante el agua de consumo y los alimentos (Devesa et al., 2008). La Organización Mundial de la Salud (OMS) y el C.A.A. 2010 recomiendan un nivel máximo de 10 µg/L de arsénico en agua de bebida. La OMS además estableció BMDL (límite inferior de confianza de la dosis de referencia) en 3,0 µg/kg peso corporal (pc) por día (2 µg/kg -7 µg/kg pc por día en base a la gama de la exposición alimentaria total estimada) (JEFCA 2010; Wong et al., 2013).

Sin embargo, el arsénico que se puede consumir a través de las dietas no siempre está todo bioaccesible. Se denomina bioaccesibilidad a la máxima concentración soluble del tóxico o nutriente en el medio gastrointestinal que queda disponible para ser absorbido por el epitelio intestinal (Torres-Escribano et al., 2011; Sun et al., 2012). Esta fracción, constituye la cantidad máxima que puede ser absorbida, pasando a la circulación para finalmente ser transportada a los órganos (Torres-Escribano et al., 2011; Sun et al., 2012) y allí producir su acción tóxica. El proceso de solubilización va a depender de factores intrínsecos de las personas como ser el estado fisiológico (embarazo, lactancia) y nutricional, la capacidad individual de adaptación a aportes variados de nutrientes, posibles anomalías genéticas, variabilidad interindividual, y de factores extrínsecos como ser la reacción con otros componentes del alimento o dieta, capacidad para competir con otras sustancias por órgano diana del organismo, forma química en que se encuentre, solubilidad y el aporte total de la sustancia por la dieta (Torres-Escribano et al., 2011).

Los métodos *in vitro* para evaluar la bioaccesibilidad emulan el proceso de la digestión gastrointestinal y consisten en simular todas las condiciones físico-químicas y enzimáticas posibles, seguido por la determinación de la fracción soluble (fracción bioaccesible) (Intawongse et al., 2008; Sun et al., 2012). Son métodos simples, rápidos y de bajo costo que ofrecen además la ventaja de buena reproducibilidad, al controlar el operador las condiciones de trabajo. Sin embargo, la bioaccesibilidad del arsénico depende de diversos factores intrínsecos como el estado fisiológico del individuo y la edad, entre otros y extrínsecos tales como el estado nutricional y la cantidad de contaminante consumido. También la composición química de los

\*e-mail:avila.carreras@gmail.com

alimentos, según ciertos nutrientes o compuestos contaminantes, pueden modificar la bioaccesibilidad del tóxico. Así también, es importante conocer los cambios que pueden sufrir los alimentos durante la preparación. Un factor importante es la condición fisiológica del consumidor, puesto que esto varía de individuo a individuo pudiendo cambiar algunas condiciones que no pueden ser controladas durante el desarrollo del método *in vitro* (Torres-Escribano et al., 2011).

Los alimentos que aportan arsénico a la dieta del ser humano son los productos de la pesca, tanto las algas como los pescados y mariscos (Calatayud et al., 2011), sin embargo las especies mayoritarias en estos alimentos son orgánicas: la arsenobetaina (AB) arsenocolina (AC) en pescados y arsenozúcares en moluscos y bivalvos. Los contenidos de arsénico inorgánico no suelen superar los 0,1 mg/Kg (Moreda-Piñeiro et al., 2012). Los productos pesqueros presentan un importante porcentaje de arsénico biodisponible (83 - 114%), indicando así su alta bioaccesibilidad. El contenido de grasa en las muestras de productos pesqueros afecta la bioaccesibilidad del arsénico. Existe evidencia que mariscos con menor contenido graso, presentan una mayor biodisponibilidad (Moreda-Piñeiro et al., 2012).

El arroz es el alimento de origen vegetal en el que se describen las mayores concentraciones de arsénico total, pueden alcanzar 1 mg/Kg superando ampliamente los valores de otros cereales (Dabeka et al., 1993). En Bangladesh, se reportaron concentraciones de arsénico entre 1,23-2,05 mg/kg (Meharg et al., 2003), esto alarmó a productores, importadores y a la comunidad científica, incrementando las investigaciones. La presencia de arsénico en este cereal es debido a la existencia del contaminante en el suelo y/o en el agua de regadío, además el arroz tiene capacidad para trasladar el arsénico desde la raíz al grano (Li Gang et al., 2011). Las especies de arsénico detectadas en el arroz son arsénico inorgánico y en menor proporción ácido dimetilarsínico (DMA) y en forma ocasional ácido monometilarsónico (MMA). El porcentaje de arsénico inorgánico bioaccesible sobre el total es muy variable, 27-93%. El arroz integral presenta mayores concentraciones de arsénico inorgánico que el arroz pulido (Torres-Escribano et al., 2008).

Las concentraciones de arsénico en los alimentos procesados generalmente disminuyen debido a la solubilización. Bastias et al. 2010 estudio el efecto de la cocción en el contenido de t-As y en la especiación, indicando que son típicamente regulados por los procesos de solubilización, adsorción, quelación y volatilización (Bundschuh et al., 2012). Por ello, es importante estudiar la bioaccesibilidad del tóxico. La comida es una fuente importante de exposición al arsénico en los seres humanos. Las concentraciones de arsénico pueden diferir entre los alimentos no cocinados y cocinados. Por lo tanto, el estudio de ingestas diarias debe realizarse en alimentos listos para el consumo (Saipan y Ruangwises 2010). La toxicidad del arsénico debe estudiarse a partir de sus especies más tóxicas, teniendo en cuenta su bioaccesibilidad y la cantidad consumida en la dieta. Todo esto nos indicará el nivel de exposición a través de la dieta.

El presente estudio tiene por objeto determinar la bioaccesibilidad de arsénico inorgánico en alimentos cocinados en una región endémica de Argentina y estudiar la ingesta diaria en población infantil y adulta a partir del arsénico inorgánico bioaccesible, con el fin de conocer la exposición poblacional a este tóxico.

## Materiales y Métodos

### Localización Geográfica de Estudio

Se realizó un muestreo en la región Chaco-Santiagoense, en la localidad de Taco Pozo ubicada en el Departamento de Almirante Brown, provincia del Chaco, (Argentina) a una latitud norte de -25,62 y una Longitud oeste de -63,28. Según los registros del INDEC 2001 la población total ascendía a los 8.470 habitantes.

El muestreo se realizó principalmente en escuelas primarias con

comedores de Taco Pozo (considerando a estos como población infantil), y caseríos ubicados en los alrededores del pueblo (considerándolos como población adulta), que utilizan agua de pozo. El agua es la principal fuente contaminante de arsénico en los alimentos cocinados en la región.

Sobre N=88 muestras sólidas y N= 37 muestras líquidas, se analizó As bioaccesible en 23 raciones de alimentos de las escuelas de Rosillo y Sta. Teresa de Carballo, que fueron seleccionadas en forma aleatoria, como así también en familias de Taco Pozo.

### Método de digestión gastrointestinal simulada para la determinación de la bioaccesibilidad de arsénico.

El método utilizado consiste en la simulación del proceso de digestión gastrointestinal en sus dos etapas, gástrica e intestinal, siguiendo el método descrito por Torres et al (2011). **Etapa gástrica:** La muestra (10 g de muestra fresca o su equivalente de muestra liofilizada) se pesó en un erlenmeyer. Se adicionaron 90 mL de agua desionizada y la mezcla se homogeneizó mediante agitación mecánica. Se ajustó el pH a 2 con HCl 6 M y transcurridos 5 minutos, se reajustó el pH en caso necesario. Posteriormente se adicionó 0,001 g de pepsina por gramo de muestra fresca, utilizando para ello una disolución de pepsina al 10% (m/v) en HCl 0,1 M. La mezcla se completó hasta 100 g con agua de grado celular. Los erlenmeyers se cubrieron con parafilm y se incubaron en un baño de agua con agitación 120 golpes (min) a 37 °C durante 2 h para emular la fase gástrica de la digestión. Transcurrido este tiempo, la digestión se interrumpió sumergiendo el erlenmeyer en un baño de hielo durante 10 minutos.

**Etapa intestinal.** Una vez finalizada la etapa gástrica, se ajustó el pH a 5 con NaHCO<sub>3</sub> 1 M. Se preparó una solución de pancreatina porcina al 0,4% (m/v) y extracto biliar porcino al 2,5% (m/v) en NaHCO<sub>3</sub> 0,1 M y se adicionó la cantidad necesaria para proporcionar 2,5 · 10<sup>-4</sup> g de pancreatina y 1,5 · 10<sup>-3</sup> g de extracto biliar por gramo de muestra fresca.

Los erlenmeyers se cubrieron con parafilm y la mezcla se incubó nuevamente en agitación (120 golpes/min) durante 2 h a 37 °C. Transcurrido este tiempo, los erlenmeyers se sumergieron en un baño de hielo durante 10 minutos. Una vez finalizada la etapa intestinal, se ajustó el pH a 7,2 con NaOH 0,5 M. Posteriormente se transfirió el volumen del matraz a frascos de centrifuga con capacidad de 250 mL y se separó la fracción bioaccesible por centrifugación (10.000 rpm/30 minutos/4 °C). Por último se filtra el sobrenadante a través de papel Whatman N° 1 y se liofiliza antes de proceder a la determinación de arsénico total e inorgánico (Torres-Escribano et al., 2011; Sun et al., 2012).

El porcentaje del arsénico bioaccesible se estima mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Bioaccesibilidad} = [S/C] \times 100$$

S es el contenido de arsénico en la fracción soluble, es el Arsénico luego del proceso de digestión gastrointestinal simulado

C es el Arsénico cuantificado antes del proceso y que constituye el 100%, es el contenido de arsénico en la muestra (ps)

La Cuantificación de arsénico total en el alimento se realizó mediante mineralización vía seca y cuantificación mediante espectrometría de absorción atómica acoplada a la generación de hidruro por inyección en flujo (FI-HG-AAS) según Díaz et al., (2004).

### Calculo de ingestas

Para el cálculo de las ingestas diarias se consideró: las cuatro comidas (desayuno, almuerzo, merienda y cena) ingeridas por la población. Se tuvo en cuenta que en los alimentos líquidos la totalidad del arsénico se encuentra en forma de arsénico inorgánico, debido a que el mate cocido o leche se elaboran con agua, en la que el arsénico existente es únicamente inorgánico, según datos obtenidos en otros trabajos realizados con anterioridad (Litter et al., 2009). Se consideró 100 g para desayuno o merienda sólida, 250 g desayuno o merienda líquida, 300 g almuerzo o cena, un peso corporal de 25 Kg para la población

infantil y 70 Kg para la población adulta, y un consumo diario de agua de 1 litro para la población infantil 2 litros de agua para población adulta (Oguri et al., 2012; Wong et al., 2013).

Se calculó con la siguiente fórmula:

$$IDT = [X_{\Sigma AC} \times pc \times R] / PC$$

*IDT= Ingesta diaria total de arsénico*

*X<sub>ΣAC</sub>= promedio (μg.g<sup>-1</sup>) de arsénico en todos los alimentos consumidos en el día.*

*pc= peso de la porción consumida (g)*

*R= Repeticiones de la porción consumida*

*PC= peso corporal del individuo (kg)*

## Resultados

### Arsénico total bioaccesible en alimentos de Taco Pozo

Los muestreos elegidos para el estudio de bioaccesibilidad incluyen al particular (Familia), a la escuela Santa Teresa de Carballo y escuela Rosillo de Taco Pozo. Los resultados de bioaccesibilidad de arsénico en los alimentos analizados se indican en la tabla 1. La media del porcentaje de arsénico bioaccesible fue superior al 40% en todas las muestras: 73% (54 a 91%) en el particular; 64% (14 a 80%) en la escuela Santa Teresa de Carballo; 66% (44 a 80%) en la escuela de Rosillo. El porcentaje de Bioaccesibilidad se calculó según la fórmula antes descripta.

**Tabla 1.** Porcentaje de bioaccesibilidad de arsénico en muestras analizadas en tres puntos muestreados en Taco Pozo.

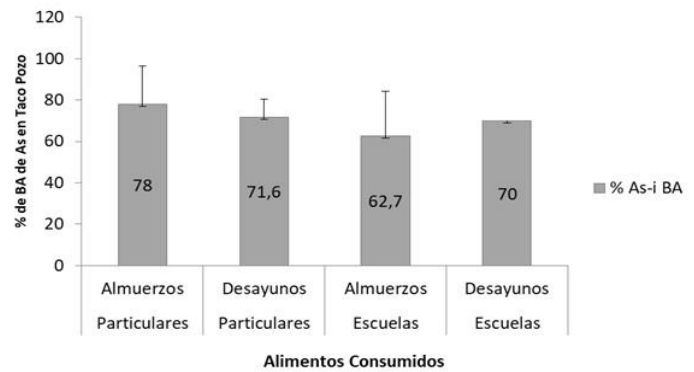
Nº Muestra	Muestreo	BA%
1		54
2		65
3		65
5	Familia Taco Pozo	91
6		72
7		81
8		80
9		75
10		69
11		77
12		70
13	Escuela Santa Teresa de	14
14	Carballo Taco Pozo	80
15		80
16		55
17		80
18		66
19		80
20		79
21	Escuela Rosillo Taco Pozo	44
22		55
23		74

La figura 1 presenta los resultados indicados en la tabla 1 reordenados en población adulta e infantil, mostrando que los porcentajes de bioaccesibilidad de arsénico inorgánico es mayor en los alimentos recolectados en casas de familias.

Se calculó la media y desviación estándar del arsénico bioaccesible diferenciando entre los particulares (población adulta) y los comedores escolares (población infantil), figura 1. Se realizó la prueba t Test dando un valor  $p = 0,2238 > 0,05$ , indicando que no existen diferencias significativas de arsénico bioaccesible entre ambas poblaciones.

### Ingestas de arsénico inorgánico en Taco Pozo

A continuación se describen las ingestas diarias de arsénico



**Figura 1:** Porcentaje de bioaccesibilidad en almuerzos y desayunos de población adulta y población infantil.

inorgánico. Los cálculos de ingestas se realizaron tanto a la población adulta como a la infantil. En la tabla 2 se indican las ingestas diarias de arsénico inorgánico, expresados en μg/día, en cada uno de los lugares de muestreo, considerando el consumo de alimentos sólidos, alimentos líquidos y el agua de bebida. El cálculo de ingesta para la población adulta considera los contenidos de Arsénico en los alimentos recogidos en la Familia, mientras que los contenidos en los alimentos de las escuelas se utilizan para el cálculo de la población infantil. Cada una de estas poblaciones consume alimentos diferentes en cada una de las porciones diarias. Para ambas poblaciones se expresa la ingesta diaria en [μg/Kg peso corporal (pc)] y [μg/Kg peso corporal x 7] para la ingesta semanal.

A partir de las ingestas de arsénico inorgánico que figuran en la tabla 2, se calculó las ingestas totales de arsénico inorgánico tabla 3, para esto se consideró el arsénico en todas las porciones consumidas en el día, incluyendo el agua de bebida para cada una de las poblaciones. Para la ingesta semanal se tomó el promedio de la ingesta diaria y se multiplicó por los 7 días de la semana. En todos los puntos de muestreo, la ingesta de arsénico inorgánico para las poblaciones infantiles (20-71 μg/Kg pc/día) superan ampliamente el BMDL fijado actualmente por lo OMS (2-7 μg/Kg pc/día), mientras que la ingesta de arsénico inorgánico para población adulta de Taco Pozo (7,1 μg/Kg pc/día) se aproxima al valor tolerable provisional. Ambas poblaciones superan el valor de referencia que la OMS fijaba en el año 2007 en el que se realizó el muestreo (2,1 μg/Kg pc/día o 15 μg/Kg pc/semana).

Se aplicó además el t Test para una media a los fines de comparar la ingesta infantil y adulta obteniendo un valor  $p = 0,2828$ , indicando que tampoco existen diferencias significativas entre ellas.

### Calculo de ingestas considerando la bioaccesibilidad

A las ingestas diarias calculadas se le realizó una corrección según el promedio de bioaccesibilidad obtenidos de las muestras analizadas, equivalente a 70,6%. Se observa que el nivel de exposición supera la reglamentación vigente en ambas poblaciones al momento del estudio, figura 2.

La figura 3, muestra la relación encontrada entre el aporte de arsénico en la ingesta de agua y en los alimentos.

### Ingestas en alimentos agrupados

También se calculó las ingestas diarias de arsénico inorgánico a partir de las porciones de desayunos/meriendas, almuerzos/cenas agrupadas por similitud en su composición, siendo los grupos: pan, platos a base de arroz, guisos y otros (asados, milanesas, albóndigas entre otros). Las figuras 4 muestran las ingestas diarias de arsénico total e inorgánico en ambas poblaciones. Se observa que el grupo de alimentos que mayor aporte de arsénico inorgánico realiza a la ingesta infantil son los guisos y los platos a base de arroz, mientras que en la población adulta el mayor aporte de arsénico inorgánico lo realizan el grupo otros alimentos, seguido de los guisos.

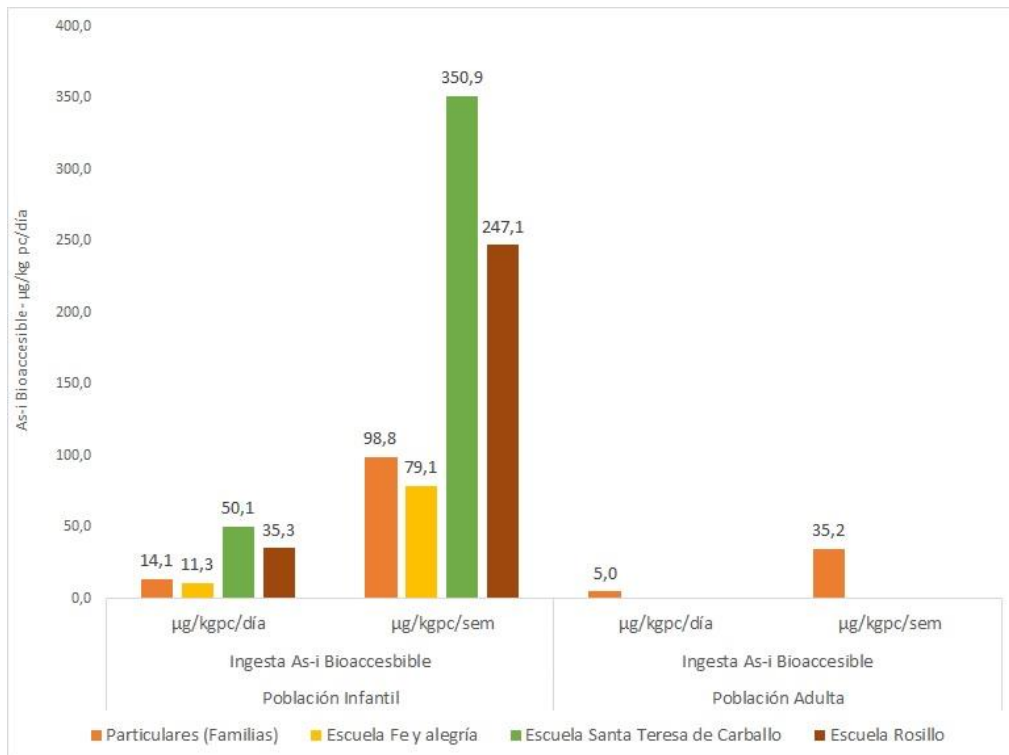
**Tabla 2.** Ingestas diarias y semanales. Medias, desviaciones estándar y rangos expresados en µg/día, µg/Kg pc/día y µg/Kg pc/semana de arsénico inorgánico (As-i) en población adulta e infantil de Taco Pozo, discriminados en alimentos sólidos, líquidos y agua.

Muestreos	Aporte	As-i	As-i	Población Infantil		Población Adulta	
		µg/día Media	µg/día Rango	µg/kgpc/día	µg/kgpc/sem	µg/kgpc/día	µg/kgpc/sem
Familias de Taco Pozo	Alimentos Sólidos	177,5 ± 6,5	50-433			2,5	18
	Alimentos Líquidos	120 ± 6,4	119-835			1,7	12
	Agua	202 ± 14,1	192-212			2,9	20
Escuela Fe y Alegría	Alimentos Sólidos	95	84-124	4	28		
	Alimentos Líquidos	82	81-83,5	3	21		
	Agua	218	196-240	9	63		
Escuela Teresa de Carballo	Alimentos Sólidos	413	281-479	16,5	116		
	Alimentos Líquidos	458	134-564	18,5	129,5		
	Agua	904	770-970	36	252		
Escuela Rosillo	Alimentos Sólidos	106	19-297	4	28		
	Alimentos Líquidos	121	134-564	5	35		
	Agua	1025	959-1090	41	287		

**Tabla 3.** Ingesta de arsénico inorgánico (As-i) expresado en µg/Kg pc/día y µg/Kg pc/semana, en la población infantil de Taco Pozo (escuelas) y en la población adulta de Taco Pozo (familias Particulares).

Muestreo	Población Infantil		Población Adulta	
	µg/kgpc/día	µg/kgpc/sem	µg/kgpc/día	µg/kgpc/sem
Particulares (Familias)	-	-	7,1 ± 1,2	49,9
Escuela Fe y alegría	16 ± 3,2	112		
Escuela Santa Teresa de Carballo	71 ± 75	497		
Escuela Rosillo	50 ± 145	350		

Nota: La IS fue calculada a partir de la ID multiplicada por 7 (días de la semana).



**Figura 2:** Ingesta de As-i Bioaccesible en alimentos consumidos por población infantil y adulta.



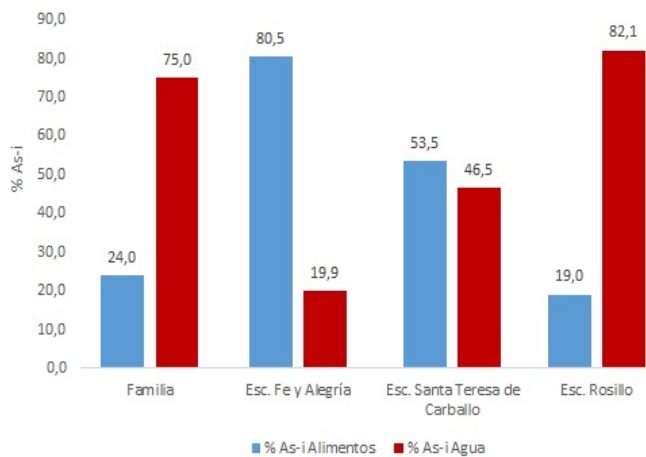


Figura 3: Porcentaje de As-i en aguas y alimentos consumidos en Taco Pozo.

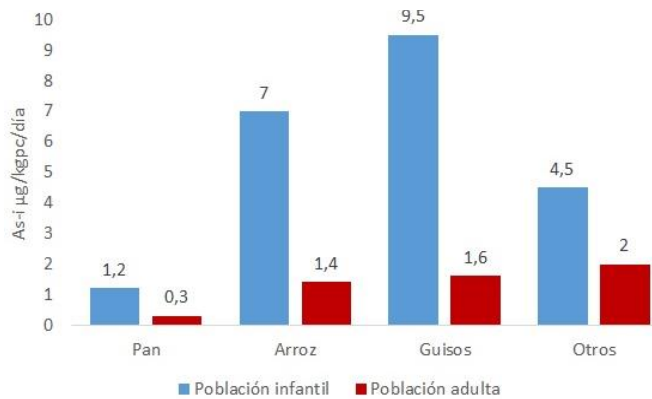


Figura 4: Ingestas diarias de As-i en los alimentos cocinados y agrupados según

## Discusión

### Bioaccesibilidad de arsénico

Los resultados de bioaccesibilidad obtenidos en Taco Pozo, indica que el 60% de las muestras analizadas en este estudio, superan el 70% de arsénico inorgánico bioaccesible y el 30% se encuentran en un rango de 50 a 69% de bioaccesibilidad de arsénico, mientras que un 10% se halla por debajo del 50%. Esto indica un alto grado de bioaccesibilidad del arsénico. Valores similares fueron hallados en estudios realizados en alimentos de origen marino donde la bioaccesibilidad de las especies más tóxicas de arsénico se encuentran en rangos de 87 a 106% para As(III) y 90 a 113% de As(V) Moreda-Piñeiro et al. (2012).

En Santa Teresa de Carballo el 71% de las muestras contienen más del 70% de As-i bioaccesible, mientras que el 29% contiene arsénico bioaccesible en un rango de 14 a 55%. En Rosillo el 60% de las muestras analizadas superan el 74% de As-i bioaccesible mientras que el 40% presenta un rango de 44 a 55% de bioaccesibilidad. No se halló diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las medias de los porcentajes obtenidos entre poblaciones infantiles y adultas. No se ha podido acceder a bibliografía que cuantifique el arsénico bioaccesible en platos de comidas preparadas, lo que dificulta la discusión de estos resultados.

### Cálculos de Ingestas de Taco Pozo

Analizando los resultados por grupos de alimentos se aprecia que la ingesta diaria de As-t a través del pan es de  $35 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ , de leches de  $346 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ , y de "otros" alimentos de  $172 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ .

Estos valores calculados son muy superiores a los descriptos por la IARC (2009) en Cataluña donde los aportes son  $11,61 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  en panes,  $2,11 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  leche y  $2,3 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  en carnes. Por otro lado, los mates cocidos aportan una ingesta media de  $180 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ , los guisos

$222 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ , el arroz  $270 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  y las polentas  $287 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$ . En investigaciones realizadas en San Antonio de los Cobres, se determinó que la ingesta diaria promedio de As ronda aproximadamente  $160 \mu\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$  por agua potable, café y té (Bundschuh et al., 2012).

La ingesta diaria de arsénico inorgánico en la población infantil oscilaron entre  $675$  a  $2425 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , valores muy superiores a los citados por otros autores, tales como el rango  $584$  a  $733 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  descripto por Arain et al. (2009).

La ingesta diaria de arsénico en las poblaciones estudiadas indica que la población infantil más expuesta es la de la escuela Santa Teresa de Carballo con una ingesta diaria de  $71 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$ , mientras que la población adulta correspondiente a la familia particular de Taco Pozo presenta una ingesta diaria de  $7,1 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$ . Wong et al. (2013) describen en Hong Kong una ingesta diaria de  $0,22 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$ , mientras que en áreas rurales de China se encontraron valores de ingestas diarias de  $0,71 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$  (Li et al. 2011). Las ingestas calculadas en la región de Taco Pozo-Chaco, resultan ser muy superiores. En Bengala (India) lugar muy afectado por las altas concentraciones de arsénico en aguas, suelos y alimentos, se ha señalado una ingesta diaria de  $27,78 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$ , presentando una concentración media de arsénico en agua de  $0,24 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  Alam et al. (2002). Todas las poblaciones infantiles estudiadas superan ampliamente el BMDL 0,5 ( $2-7 \mu\text{g}/\text{kg pc}/\text{día}$ ).

Del Razo, et al., (2002) indico que la ingesta total en Durango México fue de  $38,5 \mu\text{g}/\text{día}$  ( $11,3-67,5$ ) mientras que en Lagunilla México  $394,0 \mu\text{g}/\text{día}$  ( $97,5-683,7$ ), valores inferiores a los obtenidos en este trabajo.

Se observa que a mayores concentraciones de arsénico en agua (mayor a  $0,3 \mu\text{g}/\text{mL}$ ), existe un mayor aporte de As por el agua que por los alimentos, sin embargo esta relación se invierte cuando disminuye la concentración de As en el agua (menor a  $0,3 \mu\text{g}/\text{mL}$ ) cobrando mayor importancia el aporte de As por los alimentos. Cabe señalar que se trata de aguas con concentraciones que superan el máximo permitido por la OMS.

## Conclusión

La bioaccesibilidad de arsénico inorgánico en las dietas estudiada fue alta superando el 70%. Las ingestas de arsénico inorgánico bioaccesibles calculadas en Taco Pozo superaron ampliamente el BMDL0.5 ( $2 - 7 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{sem}$ ) propuesto por la OMS, siendo las poblaciones infantiles de Santa Teresa de Carballo y Rosillo las más expuestas. Se evidencia la necesidad de realizar un estudio de evaluación de riesgo a partir de los resultados obtenidos.

## Conclusión

La bioaccesibilidad de arsénico inorgánico en las dietas estudiada fue alta superando

## Agradecimientos

Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos (IATA CSIC), Conservación y Calidad de los Alimentos, Elementos Traza. Paterna, Valencia, Spain. Dra. Rosa Montoro – Velez Pacios, Dinoraz.

## Bibliografía

1. Alam, M.G.M., Snow, E.T., Tanaka, A. "Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Santa Village, Bangladesh. The Science of the Total Environment (2003) 308: 83-96.
2. Arain, M.B.; Kazi, T.G.; Baig, J.A.; Jamali, M.K.; Afridi, H.I.; Shah, A.Q.; Jalbani, N.; Sarfraz, R.A. "Determination of arsenic levels in lake water, sediment, and foodstuff from selected area of Sindh, Pakistan: Estimation of daily dietary intake". Food and Chemical Toxicology. (2009) 47: 242-248
3. Bastias J.M., Bermúdez M., Carrasco J., Espinosa O., Muñoz M., Galotto M.J. and Muñoz O. "Determination of Dietary Intake of Total Arsenic, Inorganic Arsenic And Total Mercury in the

- Chilean School Meal Program. Food Science and Technology International. (2010). DOI: 10.1177/1082013210367956. Disponible en: <http://fst.sagepub.com/>
4. *Bhattacharya, P., Claesson, M., Bundschuh, J., Sracek, O., Fagerberg, J., Jacks, G., Martin, R., Stornio, A., and Thir, J.* "Distribution and mobility of arsenic in the Rio Dulce alluvial aquifers in Santiago del Estero Province, Argentina. *Sci. Total Environ.* (2006). 358: 97-120.
  5. *Biagini, M., Rivero, M., and Salvador, S.* Córdoba, Hidroarsenicismo crónico y cáncer de pulmón. *Arch. Argent. Dermatol.* (1978) 48:151-158.
  6. *Blanes, P.S., Buchhamer, E.E., and Giménez, M.C.* Natural contamination with arsenic and other trace elements in groundwater of the Central-West región of Chaco. *J. Environ. Sci. Health A.* (2011) 46:1197-1206.
  7. *Buchhamer, E. E., Blanes, P. S., Osicka, R. M., Gimenez, M.C.* "Environmental Risk Assessment of Arsenic and Fluoride in the Chaco Province, Argentina: Research Advances. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A.* (2012) 75: 1437-1450. ISSN: 1528-7394 print/1087-2620 online.
  8. *Bundschuh Jochen, Litter Marta, Ciminelli Virginia S.T., Morgada María Eugenia, Cornejo Lorena, Garrido Hoyos Sofía, Hoinkis Jan, Alarcón-Herrera Ma. Teresa, Armienta María Aurora, Bhattacharya Prosun.* "Emerging mitigation needs and sustainable options for solving the arsenic problems of rural and isolated urban areas in Latin America-A critical analysis". *Water Research* (2010) 44:5828-5845.
  9. *Bundschuh, Jochen; Nath, Bibhash; Bhattacharya, Prosun; Liu, Chen-Wuing; Armienta, María Aurora; Moreno, López Myriam V.; Lopez, Dina L.; Jean, Jiin-Shuh; Cornejo, Lorena; Fagundes, Luciene; Macedo, Lauer; Filho, Alfredo Tenuta.* "Arsenic in the human food chain: the Latin American perspective". *Science of the Total Environment* (2012) 429: 92–106.
  10. C.A.A. Código Alimentario Argentino. Capitulo XII, Artículo 982, (Res. Conj. SPRyRS y SAGPyA N° 68/2007. (2010). (acceso 11 de noviembre 2017). Disponible en: [http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO\\_XII.pdf](http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoa/CAPITULO_XII.pdf)
  11. *Calatayud, Marta; Devesa, Vicenta; Virseda, Juan Ramón; Barberá-Reyes; Montoro, Rosa; Velez, Dinoraz.* "Mercury and selenium in fish and shellfish: Occurrence, Bioaccessibility and uptake by caco-2-cells. *Food and Chemical Toxicology* (2012) 50: 2696–2702.
  12. *Dabeka, R. W.; McKenzie, A. D.; Lacroix, G. M. A.; Cleroux, C.; Bowe, S.; Graham, R. A.; Conacher, H. B. S.; Verdier, P.* "Survey of arsenic in total diet food composites and estimation of the dietary intake of arsenic by Canadian adults and children". *J. AOAC* (1993) 76: 14–25.
  13. *Del Razo, L.M.; García-Vargas, G.G.; García-Salcedo, J.; Sanmiguel, M.F.; Rivera, M.; Hernández, M.C.; Cebrian, M.E.* "Los niveles de arsénico en los alimentos cocidos y la evaluación de la dieta de adultos la ingesta de arsénico en la Región Lagunera, México". *Food and Chemical Toxicology* (2002) 40: 1423–1431.
  14. *Devesa V. y Montoro R.* Effect of thermal treatments on arsenic species contents in food. *Food and Chemical Toxicology* (2008) 46:1-8.
  15. *Díaz, Oscar Pablo; Leyton, Irma; Muñoz, Ociel; Nuñez, Nelson; Devesa, Vicenta; Suner, María Angeles; Velez, Dinoraz y Rosa Montoro.* "Contribution of Water, Bread, and Vegetables (Raw and Cooked) to Dietary Intake of Inorganic Arsenic in a Rural Village of Northern Chile. *J. Agric. Food Chem.* (2004) 52: 1773-1779.
  16. *Farías SS, Casa VA, Vazquez C, Ferpozzi L, Pucci GN, Cohen IM.* "Natural contamination with arsenic and other trace elements in groundwaters of Argentine Pampean Plain". *Sci Total Environ.* (2003) 309(1-3):387-99.
  17. IARC. (2009). Arsenic and arsenic compounds. "Contaminantes químicos: Estudio de dieta total en Cataluña 2008".
  18. *Intawongse, Marisa; Dean, John R.* "Use of the physiologically-based extraction test to assess the oral bioaccessibility of metals in vegetable plants grown in contaminated soil". *Environmental Pollution* (2008) 152: 60-72.
  19. IPCS, 2001: Arsenic and arsenic compounds. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas (N° 224 de la serie de la OMS Criterios de Salud Ambiental).
  20. JEFCA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives), 2010. Summary report of the seventy-second meeting, Rome, 16-25 February 2010.
  21. *Li Gang, Sun Guo-Xin, Williams Paul N., Nunes Luis, Zhu Yong-Guan.* "Inorganic arsenic in Chinese food and its cancer risk". *Environment International* (2011) 37: 1219–1225.
  22. *Litter M.A. Armienta S.S. Farías.* IBEROARSEN Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. Editado por CYTED. (2009). ISBN: 978-84-96023-71-0
  23. *Meharg, A. A.; Rahman, M.* "Arsenic contamination of Bangladesh paddy field soils: Implications for rice contribution to arsenic consumption. *Environ. Sci. Technol.* (2003) 37: 229–234.
  24. *Moreda-Piñeiro, Jorge; Alonso-Rodríguez, Elia; Romarís-Hortas, Vanessa; Moreda-Pineiro, Antonio; Lopez-Mahia, Purificación; Muniategui-Lorenzo, Soledad; Prada-Rodríguez, Darío; Bermejo-Barrera, Pilar.* "Assessment of the bioavailability of toxic and non-toxic arsenic species in seafood samples" *Food Chemistry* (2012) 130: 552–560.
  25. *Moreda-Piñeiro, Jorge; Moreda-Piñeiro, Antonio; Romarís-Hortas, Vanessa; Moscoso-Pérez, Carmen; López-Mahía, Purificación; Muniategui-Lorenzo, Soledad; Bermejo-Barrera, Pilar; Prada-Rodríguez, Darío.* "In-vivo and intro testing to assess the bioaccessibility and the bioavailability of arsenic, selenium and mercury species in food sample". *Trends in Analytical Chemistry.* (2011) 30(2): 324-345.
  26. *Nicolli, H.B., Suriano, J.M., Gómez Peral, M. A., Ferpozzi, L.H., and Baleani, O. H.* Groundwater contamination with arsenic and other trace-elements in an área of the Pampa, province of Córdoba, Argentina. *Environ. Geol. Water Sci.* (1989) 14: 3-16.
  27. *O'Reilly, J., Watts, M. J., Shaw, R.A., Marcilla, A. L., and Ward, N. I.* Arsenic contamination of natural waters in San Juan and La Pampa, Argentina. *Environ.Geochem.Health* (2010) 32: 491-515.
  28. *Oguri, Tomoko., Yoshinaga, Jun., Tao, Hiroaki., Nakazato, Tetsuya.* Daily intake of inorganic arsenic and some organic arsenic species of Japanese subjects. *Food and Chemical Toxicology* (2012) 50: 2663-2667.
  29. Saipan Piyawat and Ruangwises Suthep. 2010. Probabilistic Risk Assessment of Cancer from Exposure Inorganic Arsenic in Duplicate Food by Villagers in Ronphibun, Thailand. *EnvironmentAsia* (2010) 3(2) 54-58.
  30. *Sommella, A., Deacon, C., Norton, G., Pigna, M., Violante, A., Meharg, A.A.* Total arsenic, inorganic arsenic, and other elements concentrations in Italian rice grain varies with origin and type. *Environmental Pollution* (2013) 181: 38-43.

31. Sun, Guo-Xin; Van de Wiele, Tom; Alava, Pradeep; Tack, Filip; Laing, Gijis Du. "Arsenic in cooked rice: Effect of chemical, enzymatic and microbial processes on bioaccessibility and speciation in the human gastrointestinal tract". *Environmental Pollution* (2012) 162: 241-246.
32. Torres Escribano, Silvia; Leal, Mariana; Velez, Dinoraz; Montoro, Rosa. "Total and Inorganic arsenic Concentrations in Rice Sold in Spain, Effect of Cooking, and Risk Assessments" - *Environ. Sci. Technol.* (2008) 42: 3867–3872.
33. Torres-Escribano, Silvia; Denis, Sylvain; Blanquet-Diot, Stéphanie; Calatayud, Marta; Barrios, Laura, Vélez, Dinoraz; Alric, Monique; Montoro, Rosa. "Comparison of a static and a dynamic in vitro model to estimate the bioaccessibility of As, Cd, Pb and Hg from food reference materials Fucus sp. (IAEA-140/TM) and Lobster hepatopancreas (TORT-2)". *Science of the Environment* (2011) 409: 604-611.
34. Tsai, S.-M., Nai, T.-N., and Ko, Y.-C. Cancer mortality trends in a blackfoot disease endemic community of Taiwan following water source replacement. *J. Toxicol. Environ. Health A.* (1998) 55:389-404.
35. Tseng, C.H. "Arsenic methylation, urinary arsenic metabolites and human diseases: current perspective". *J. Environ. Sci. Health C Environ. Carcinog. Ecotoxicol. Rev.* (2007) 25(1): 1–22.
36. Wong Waiky W.K., Chung Stephen W.C., Chan Benny T.P., Ho Y.Y., Xiao Ying. "Dietary exposure to inorganic arsenic of the Hong Kong population: Results of the first Hong Kong Total Diet Study". *Food and Chemical Toxicology* (2013) 51: 379–385.