

Problemática del arsénico en la llanura sudeste de la provincia de Córdoba. Biotransferencia a leche bovina

Pérez Carrera, A.¹; Fernández Cirelli, A.¹

RESUMEN

La transferencia de elementos traza desde matrices ambientales a la cadena agroalimentaria es un fenómeno que está siendo estudiado en distintas regiones del mundo. Sin embargo, la información acerca de los niveles en alimentos, particularmente la leche, es escasa. En nuestro país, un elemento de particular relevancia es el arsénico (As), por su ocurrencia natural en aguas subterráneas en una amplia zona de nuestro territorio. En este trabajo se determinaron las concentraciones de As en agua de bebida animal, suelo, forraje y leche en establecimientos lecheros del sudeste de la provincia de Córdoba. Los niveles de As determinados en agua de bebida, en particular en aquellos establecimientos que extraían el agua de la capa freática, sugerían la posibilidad de transferencia de As a la leche bovina. Los niveles en suelo y forraje estuvieron dentro de los rangos de valores normales para regiones de abundancia natural de As. Las concentraciones de As determinadas en muestras de leche no revestían toxicidad para consumo humano. Los resultados obtenidos permitieron estimar un factor de biotransferencia (FBT) de As a leche bovina a partir de la ingesta de este elemento por parte de los animales, en las condiciones productivas y edafoclimáticas de nuestro país.

Palabras clave: (arsénico), (biotransferencia), (leche bovina).

¹ Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad de Buenos Aires. Av. Chorroarín N° 280 C1427CWO. Ciudad de Buenos Aires, Argentina. Teléfono: 54-11-4524-8484, Fax: 54-11-4524-8499. E-mail: alpc@fvet.uba.ar.

Recibido: octubre 2007 - Aceptado: noviembre 2007 - Versión on line: diciembre 2007

Arsenic in the southeast plains of Cordoba province, Argentine. Biotransference to bovine milk

SUMMARY

Trace element transference from environmental matrices to the agricultural food chain is an actual phenomenon that is being analyzed in different regions of the world. Nevertheless, knowledge about trace element content in food, particularly in milk, is scarce. In Argentina, an element of great concern is arsenic due to its natural occurrence in groundwater in large areas of the country. The aim of the present work was determine arsenic content in livestock drinking water and milk from dairy farms located in the southeast of the Cordoba province. Arsenic concentrations in all collected phreatic samples suggested the possibility of transference to bovine milk. Arsenic levels in soils and forage were among the normal levels for regions of natural occurrence of this element. No toxicity for humans could be expected from the arsenic concentrations determined in milk. A biotransference factor (BTF) of arsenic to bovine milk from cattle arsenic intake was calculated for our production systems in the conditions of our country.

Key words: (arsenic), (biotransfer factor), (bovine milk).

INTRODUCCIÓN

La presencia de elevados niveles de As en agua subterránea en extensas regiones de nuestro país, tiene su origen en la actividad volcánica en la Cordillera de Los Andes, que tuvo como consecuencia la aparición de terrenos arseníferos. La región afectada, es una de las más extensas del mundo, abarca aproximadamente 1×10^6 km² y comprende las provincias de Córdoba, La Pampa, Santiago del Estero, San Luis, Santa Fe, Buenos Aires, Chaco, Salta, Jujuy, Tucumán, San Juan y Mendoza³¹. En la provincia de Córdoba, la llanura sudeste es la más afectada por la presencia de elevadas concentraciones de As en agua subterránea. La zona coincide con los Departamentos de Unión, San Justo y General San Martín, una de las regiones más importantes de Argentina en cuanto al desarrollo de la producción de leche bovina. Existen trabajos en esta zona que

informan un contenido de As en agua entre < 10 y 4550 µg/L.^{6, 12, 22, 23, 25, 26} En general, el As procede de la desorción de óxidos e hidróxidos de Fe y Mn en un medio de pH alto y está ligado al desarrollo de condiciones oxidantes en climas áridos y semiáridos. La mayor parte del As en el agua se encuentra como As(V). El pH, por lo general, está entre 7 y 8,7. La salinidad es alta y la concentración de As se correlaciona con el contenido de F, V, HCO₃, B, y Mo^{22, 31}.

Desde el punto de vista toxicológico, el As es responsable de varias afecciones a la salud humana. En Argentina, cobra importancia el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), enfermedad producida por la ingesta de dosis variables de As durante largos períodos de tiempo.³ Se estima que en nuestro país, la población expuesta al consumo de agua con elevado contenido de As, es de 2000000 de habitantes. Hasta ahora las investigaciones realizadas han relacionado el HACRE con los

niveles de As total en el agua de bebida, pero no existen estudios sistemáticos respecto del contenido en forrajes, cultivos y animales, especialmente en productos de consumo humano como la leche, ni estudios en los que se evalúe la incidencia que los alimentos pueden tener en la aparición de patologías asociadas a esta enfermedad.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, el objetivo del presente trabajo fue la determinación de los niveles de arsénico en leche bovina y su relación con la presencia de este elemento en agua de bebida y forraje para calcular un factor de biotransferencia que permita estimar los niveles de As en leche a partir de su concentración en matrices ambientales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El área del presente estudio está ubicada en el sudeste de la provincia de Córdoba y se extiende, de forma irregular, entre los 62° 33' y los 62° 57' de longitud oeste y entre los 32° 12' y los 32° 50' de latitud sur (Figura 1).

En la zona de estudio el desarrollo del sector agrícola-ganadero es de importancia significativa para la economía provincial. Predominan los

establecimientos dedicados a la producción lechera, junto con numerosas explotaciones dedicadas a la agricultura. En este trabajo se relevaron 54 establecimientos ganaderos dedicados a la producción de leche.

Recolección de muestras:

Agua: las muestras (N= 72) se recolectaron por duplicado (vol. aprox. 1 L) en recipientes de polietileno previamente enjuagados con agua destilada, cerrados, sin dejar cámara de aire. Para la determinación de As, se recolectaron 100 mL de agua en recipientes de polietileno, previamente enjuagados con ácido nítrico al 10% y agua deionizada.

Forraje: las muestras de alfalfa, utilizada como alimento en los rodeos lecheros, se recolectaron por duplicado (peso aprox. 1 Kg) en bolsas de polietileno.

Suelo: las muestras de suelo se recolectaron entre los 0 y 30 cm de profundidad, y fueron acondicionadas en bolsas plásticas (peso aprox. 1 kg).

Leche: las muestras (N= 60) se obtuvieron por ordeño manual, colectándose aprox. 1L en botellas de polietileno previamente enjuagadas con ácido nítrico al 20 % y agua destilada.

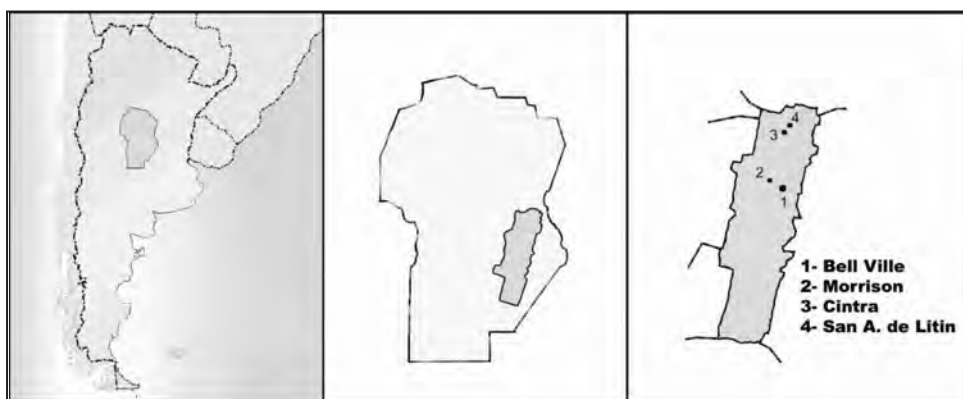


Figura 1: Zona de estudio. Departamento de Unión, provincia de Córdoba, Argentina.

Preparación de las muestras:

Agua: Las muestras fueron acidificadas para preservar los analitos en solución con HNO₃ 0,2 % v/v en el momento de la recolección y filtradas por filtros descartables de nitrocelulosa de 0,45 µm en el caso de presentar sólidos en suspensión.

Forraje: La disgregación de las muestras de vegetales fue realizada mediante el uso de un digestor a microondas de vaso cerrado marca Perkin Elmer².

Leche: Se pesaron 100,0 gr de leche cruda en vasos de precipitado, se agregaron 5 ml de HNO₃, 15 ml de solución sulfatante y se colocaron en un baño de arena hasta sequedad. La digestión se realizó por vía seca de acuerdo con Cervera et al.⁹.

Suelo: Se realizó la digestión de 0,1 g de suelo molido con 20 ml de ácido nítrico concentrado y 10 ml de ácido sulfúrico 15 N. Luego de la oxidación completa de la materia orgánica y de producidos los humos de trióxido de azufre, las muestras se enfriaron y diluyeron a 50 ml con agua deionizada.

Determinación de As en diferentes matrices

La cuantificación de As, se llevó a cabo mediante la técnica de ICP-OES (inductively coupled plasma – optic emission spectroscopy), utilizando un espectrómetro PERKIN ELMER Optima 2000 DV.

Para las muestras de agua y suelo, la configuración del equipo utilizada fue la nebulización neumática, sin embargo, para las muestras de forraje, leche y tejidos, con tenores de As muy bajos (< 50 µg/L) se utilizó la generación de hidruros (HY-ICP) como método de introducir la muestra en el plasma para aumentar la sensibilidad.

Los límites de detección obtenidos fueron: 0,1 µg/L para las aguas, 0,06 ng/g para las Leches y 0,01 µg/g para los forrajes.

Para cada tipo de matriz estudiada se

utilizaron materiales de referencia certificados (CRM) para la verificación de la calibración y para la validación del método analítico.

Los parámetros instrumentales utilizados se optimizaron para cada tipo de matriz analizada, de manera de obtener la máxima sensibilidad sin que se manifiesten interferencias de matriz.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las muestras de agua se recolectaron, en todos los casos, de las perforaciones utilizadas para abastecimiento animal y de las instalaciones de ordeño.

La fuente principal de agua de bebida de la zona es subterránea y proviene de perforaciones que extraen el agua de la capa freática (3 - 15 m de profundidad) o de perforaciones denominadas semisurgentes (80 - 150 m de profundidad). Un 37% de los establecimientos relevados utilizaba agua de la capa freática, un 46% poseía pozos semisurgentes, mientras que el 17% restante utilizaba ambos tipos de perforaciones para abastecer a los animales.

Contenido de arsénico y flúor en agua de bebida animal

La concentración de As en las muestras de agua provenientes de la capa freática (Figura 2) fue altamente variable estuvo entre 61,5 y 4550 µg/L (promedio: 1200 µg/L, desvío standard –DS-: 1318µg/L); mientras que en el agua proveniente de pozos semisurgentes (Figura 3) la concentración estuvo entre < 10 y 189 µg/L (promedio: 44 µg/L, DS: 42 µg/L).

En el caso del F, la concentración en las muestras de agua provenientes de la capa freática estuvo entre 400 y 10013 µg/L (promedio: 3460 µg/L, DS: 2870 µg/L); mientras que en el agua proveniente de pozos semisurgentes (Figura 4) la concentración estuvo entre 290 y 1470 µg/L (promedio: 510 µg/L, DS: 190 µg/L).

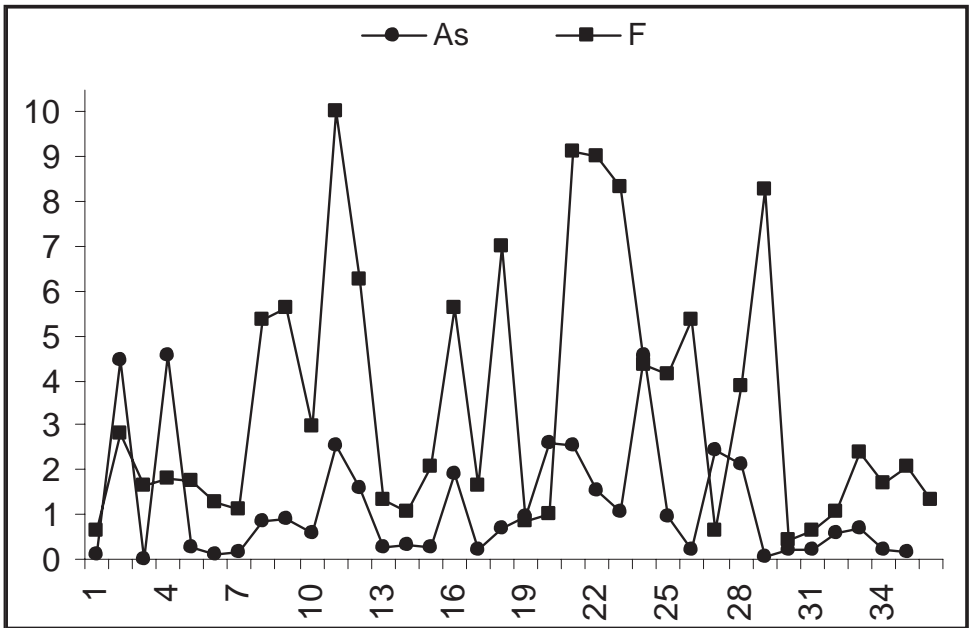


Figura 2: Variabilidad en la concentración de As y F en las muestras de agua provenientes de la capa freática (mg/L).

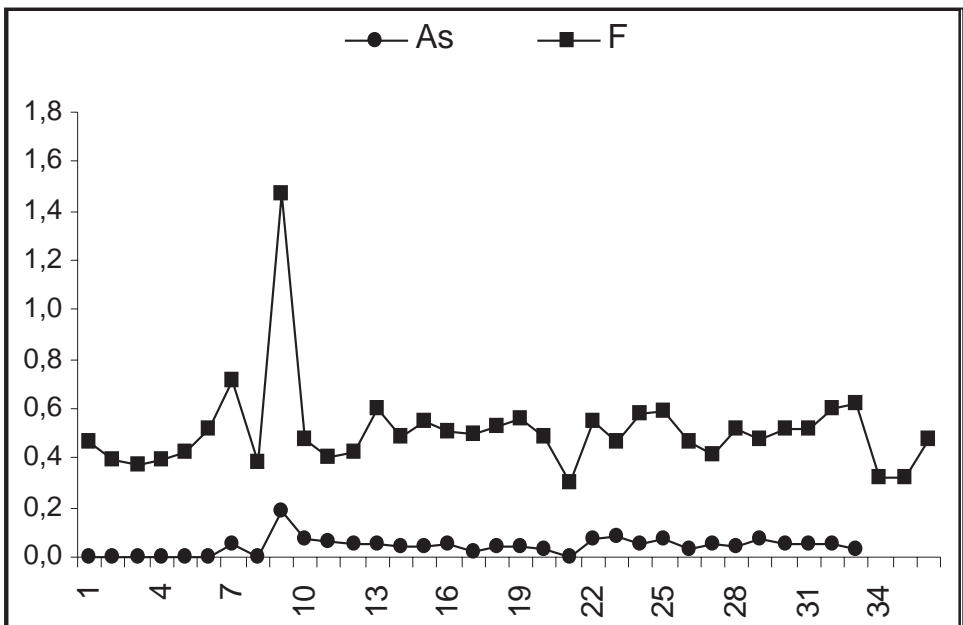


Figura 3: Variabilidad en la concentración de As y F en las muestras de agua provenientes de pozos semisurgentes (mg/L).

De acuerdo con los resultados obtenidos, y considerando los niveles máximos de As sugeridos para bebida animal, puede observarse que el 62% de las muestras provenientes de la capa freática excede los 500 µg/L, concentración máxima recomendada para agua bebida de bovinos por la Ley 24051 de nuestro país. Sin embargo, si se considera el valor recomendado por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación 34 (67 µg/L) o el valor guía propuesto a nivel internacional por el National Research Council 21 (NRC, 50 µg/L) la totalidad de las muestras de agua de nivel freático superan estos valores (Figura 4).

Las concentraciones halladas generalmente no producen alteraciones manifiestas en los animales, pero deben considerarse las patologías subclínicas que tienen un importante impacto negativo en la producción de leche.

Las concentraciones de As se han considerado teniendo en cuenta los límites establecidos para agua de bebida animal. Sin embargo, no puede desconocerse que la población rural de la zona consume agua subterránea. Los valores obtenidos para la capa freática superan en todos los casos el valor máximo de 10 µg/L, permitido para consumo humano⁵.

En el caso de las muestras provenientes de pozos semisurgentes, ninguna supera el límite máximo para agua de bebida de bovinos ni los valores recomendados de acuerdo con el riesgo de intoxicación crónica de los animales; pero, si se considera el valor recomendado a nivel internacional (50 µg/L), un 80% de las muestras exceden ese límite²¹.

En relación a la concentración de flúor, en las muestras provenientes de la capa freática, el

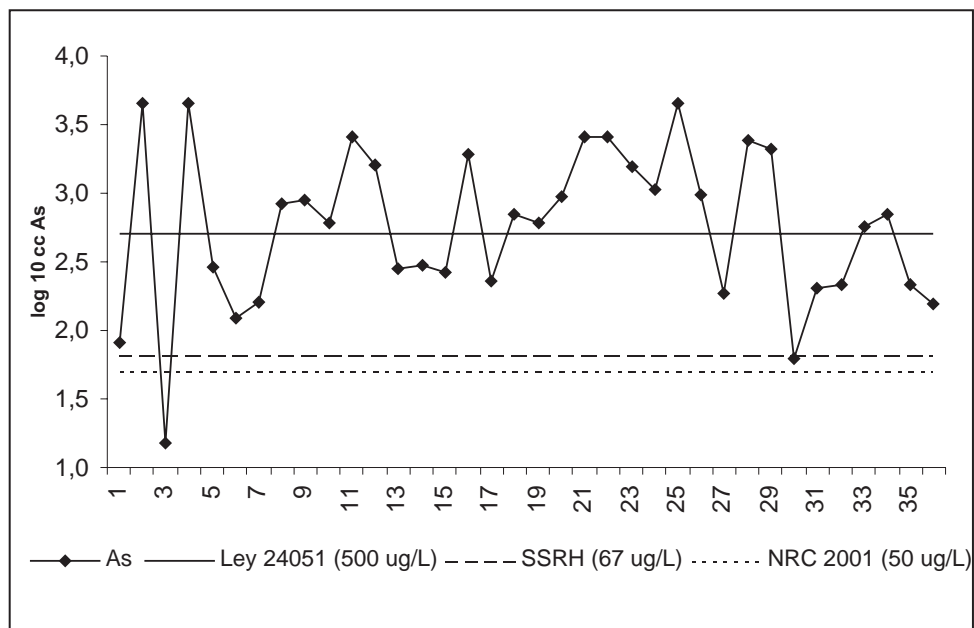


Figura 4: Niveles de As en agua de la capa freática, comparación con valores de referencia.

86% supera el límite propuesto a nivel nacional por la Ley 2405118 (1 mg/L) mientras que si se considera el límite máximo propuesto por el NRC 21 (2 mg/L), el 62,5% exceden este valor.

Contenido de arsénico en suelos

El arsénico es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre, la concentración del As en suelo varía ampliamente, aunque generalmente se sitúa entre aproximadamente 0,1 y 40 mg/kg en suelos no contaminados^{1, 16, 20, 31}.

La concentración de As total en las muestras estudiadas estuvo entre 2,1 y 8,2 mg/kg, con un promedio y desvío estándar de 4,2 y 1,7 mg/kg respectivamente.

Los niveles de As en el suelo estuvieron por debajo del nivel guía de 50 mg/kg considerado como límite en suelos contaminados y están en el orden de los 6 mg/kg que es el nivel medio reportado por diversos autores en suelos no contaminados^{17, 24, 30, 32}.

Contenido de arsénico en forraje

A excepción de las especies vegetales con capacidad de concentrar As como algunas especies de helecho, la concentración de As en plantas rara vez excede 1 mg/kg^{35, 36}. Su distribución decrece desde la raíz hacia el tallo y las hojas. Hasta el momento existe escasa información publicada acerca de la concentración de As en forraje bajo condiciones productivas¹¹.

La totalidad de las muestras analizadas correspondieron a alfalfa (*Medicago sativa*), que es una especie forrajera de importancia fundamental en la producción lechera de la zona, esta especie era utilizada en todos los tambos seleccionados, para la alimentación de las vacas. Los niveles de As hallados estuvieron entre 0,07 y 1,5 µg/g, con un promedio y desvío estándar de 0,39 y 0,40 µg/g respectivamente.

Contenido de arsénico total en leche bovina

A nivel internacional, existe información disponible acerca del contenido de arsénico en la leche bovina, Ihnat & Miller¹¹: < 0,5 ng/g; Dabeka and Lacroix¹⁰: < 0,4 ng/g, Cervera *et al.*⁸: 0,14 – 0,77 ng/g, García Salcedo *et al.*¹³: 49-84 ng/g; Cerutti⁷: 30 - 60 ng/g, Rosas *et al.*²⁷: <0,9 – 27,4 ng/g; Licata *et al.*¹⁹: < 0,15 – 684 ng/g, Pérez Carrera y Fernández Cirelli²⁶: < 0,1 – 10,6 ng/g.

En la Figura 5 puede observarse la variabilidad de la concentración de As en las muestras de leche analizadas. La concentración mínima y máxima de As fue de 0,21 y 10,6 ng/g respectivamente (promedio: 3; DS: 2,6).

Analizando la concentración de As total en las muestras de leche, se observa que en un 49% de los casos estuvo por debajo de los 2,5 ng/g, mientras que en el 85% de ellas fue menor que 5,5 ng/g.

De acuerdo con los resultados obtenidos, sólo una de las muestras superó el nivel máximo de As (10 ng/g) considerado a nivel internacional¹⁵. En Argentina, el límite máximo de As en leche cruda, establecido por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) en el Plan Nacional de Control de Residuos e Higiene en Alimentos (CREHA) es de 100 µg/kg²⁹. Considerando este valor, en ningún caso la concentración de As de las muestras analizadas, fue superior al límite de referencia considerado a nivel nacional.

Biotransferencia de arsénico a la leche

Para estimar la biotransferencia de As a la leche bovina, a partir de la ingesta de este metaloide a través del agua y del alimento, se seleccionaron 9 tambos que utilizaban agua de la capa freática, teniendo en cuenta el tamaño del establecimiento y la permanencia de los animales en éstos. Para comparar los resultados,

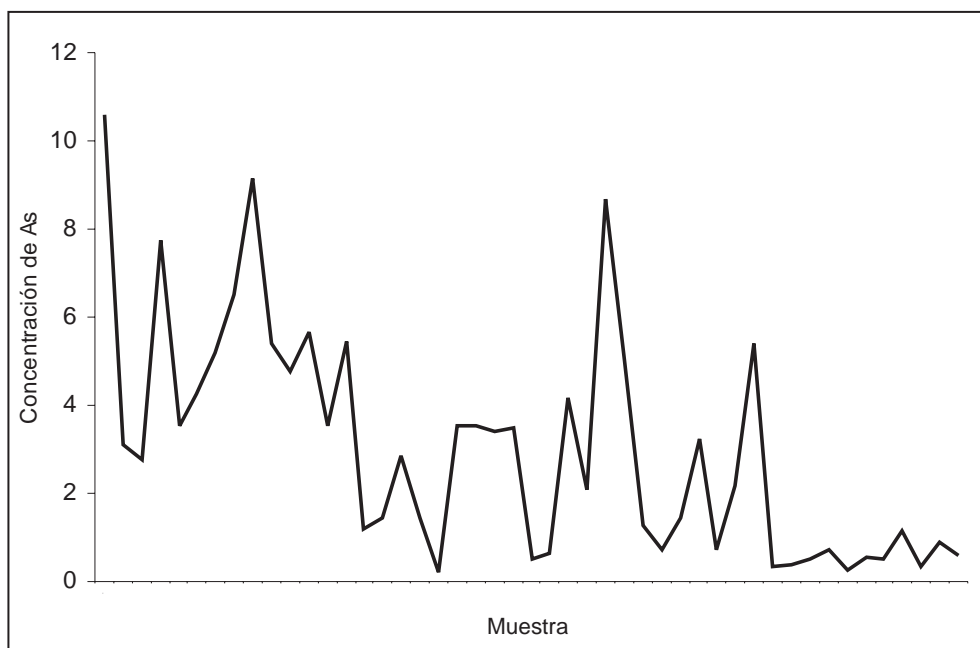


Figura 5: Variabilidad de la concentración de As en las muestras de leche analizadas (ng/g)

se tomaron muestras en un tambo que utilizaba agua proveniente de un pozo semisurgente.

Todos los tambos seleccionados utilizaban animales de raza Holando Argentino para la producción de leche. Considerando los establecimientos que utilizaban agua proveniente de la capa freática, 4 de ellos eran de tamaño mediano (100 – 120 animales en ordeño) y 5 de tamaño pequeño (10-30 animales en ordeño). El establecimiento que utilizaba agua proveniente de un pozo semisurgente era de tamaño mediano (110 animales en ordeño).

La concentración de As en agua de bebida en los tambos que utilizaban agua proveniente de la capa freática estuvo entre 0,18 y 2.54 mg/L, mientras que en el tambo que utilizaba agua proveniente de un pozo semisurgente, la concentración de As fue de 0,05 mg/L.

Las muestras de leche cruda se obtuvieron durante el ordeño, seleccionando al azar 5 vacas

lecheras en producción. La concentración de As en leche cruda estuvo entre 0,42 y 9,13 ng/g en los tambos que utilizaban agua de la capa freática. En el tambo que utilizaba agua proveniente de un pozo semisurgente, la concentración promedio de As fue de 0.5 ng/g.

Para calcular el FBT se utilizó la ecuación propuesta por Stevens³³:

Factor de Biotransferencia (días/L):
 concentración de arsénico en leche mg/L /
 promedio de ingesta diaria de arsénico mg/día

Considerando que la vía principal de exposición de As se da a través de la ingesta, se calcularon dos FBT de As a la leche bovina, uno teniendo en cuenta sólo la ingesta de agua de bebida como fuente de exposición y otro considerando el agua de bebida y el alimento.

Para el cálculo del FBT, el consumo estimado de agua fue de 75 L/animal/día.

Este valor coincide con el informado por investigadores locales^{4,28}.

Las concentraciones de As halladas en el agua de bebida (0,18 a 2,54 mg/L) fueron significativamente superiores a las halladas en las muestras de forraje, por eso se estimó en primer lugar un FBT considerando sólo el aporte del agua de bebida. El valor del FBT calculado, estuvo entre $1,5 \times 10^{-5}$ y $2,6 \times 10^{-4}$ días/L (Tabla 1).

El amplio rango de concentración de As observado en agua de bebida y en leche explicaría la variabilidad observada en el FBT calculado.

Sin embargo, la exposición al As se da principalmente a través de la dieta, por eso debe considerarse la ingesta de As procedente del agua de bebida y del alimento para calcular un FBT representativo de las condiciones productivas de la zona.

La concentración de As en la totalidad de las muestras de forraje analizadas, principal alimento de las vacas lecheras, estuvo entre 0,07 y 1,5 mg/kg. Considerando estos resultados, se calculó un FBT teniendo en cuenta la ingesta diaria de As a través del agua y el alimento. Los resultados obtenidos y la comparación con el FBT obtenido considerando sólo el agua de bebida se observan en la Tabla 2.

Como puede observarse y cabría esperar, los valores son menores para el FBT calculado considerando la ingesta de As a través del agua y el forraje. No hay prácticamente diferencias en aquellos tambos que utilizan agua proveniente de la capa freática. En cambio, en el tambo que utiliza agua proveniente de pozos más profundos (Tambo 10) el forraje tiene mayor incidencia en el valor de FBT obtenido debido a que el nivel de As en agua es de sólo 0,05 mg/L y, por lo tanto, el aporte a la ingesta diaria de As, muy bajo. El FBT calculado estuvo entre $1,48 \times 10^{-5}$ y $2,50 \times 10^{-4}$ días/L.

Para comparar los resultados entre los valores de FBT hallados se realizó un test de T donde no se verificaron diferencias significativas entre el FBT1 y el FBT2 ($F(11,20) = 1,51$; $p = -0,525$). Esto permite suponer que podría estimarse la concentración de As en leche conociendo la concentración de As en agua de bebida, que es un dato más sencillo de determinar.

CONCLUSIONES

La concentración de As en las aguas someras superó los límites recomendados para bebida animal y los altos valores determinados sugieren la posibilidad de transferencia o acumulación en distintos tejidos. En el caso de los suelos, los valores de As determinados estuvieron comprendidos dentro de los valores informados en otros países para suelos no contaminados. Los mayores valores encontrados guardan relación con las concentraciones de As en aguas subterráneas someras de la zona. Los niveles de As en las muestras de alfalfa no revestirían toxicidad para el ganado.

El contenido de As en la leche fue considerablemente menor que el determinado en agua, suelo y forraje y, en todos los casos, muy inferior al límite máximo admisible en nuestro país. En función de los resultados obtenidos, se ha determinado por primera vez un factor de biotransferencia de As a leche bovina, en las condiciones edafoclimáticas y productivas de nuestro país. Este tipo de estudio no está difundido internacionalmente, registrándose sólo dos trabajos previos en la literatura. Sin embargo, en la actualidad, la transferencia de elementos tóxicos desde matrices ambientales a la cadena agroalimentaria está recibiendo cada vez mayor atención a nivel mundial debido a la presión ejercida por los consumidores que exigen mayor calidad de los productos.

Tabla 1: FBT de As a leche bovina considerando únicamente el aporte del agua de bebida.

Tambo	As en agua (mg/L)	As en leche (mg/L)		FBT(días/L)
		Rango	Promedio	
1	2,6	0,0036-0,0058	0,005	$2,6 \times 10^{-5}$
2	1,55	0,0012-0,003	0,0018	$1,5 \times 10^{-5}$
3	0,96	0,0021-0,009	0,0055	$7,6 \times 10^{-5}$
4	0,18	0,0035-0,0043	0,0038	$2,6 \times 10^{-4}$
5	2,09	0,0022-0,0055	0,0037	$2,3 \times 10^{-5}$
6	0,2	0,0005-0,0009	0,0008	$5,0 \times 10^{-5}$
7	0,27	0,0036-0,0043	0,004	$2,0 \times 10^{-4}$
8	1,9	0,0053-0,009	0,007	$5,0 \times 10^{-5}$
9	0,23	0,0004-0,0007	0,0006	$3,3 \times 10^{-5}$
10*	0,05	0,00026-0,001	0,0005	$1,6 \times 10^{-4}$

* Tambo que utilizaba agua de pozo semisurgente.

Tabla 2: FBT calculados considerando la ingesta de As a través del agua de bebida y el alimento.

Tambo	As Ingesta total (mg/día)	FBT ¹ (días/L)	FBT ² (días/L)
1	216,93	$2,3 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
2	119,96	$1,48 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$
3	75,22	$7,25 \times 10^{-5}$	$7,6 \times 10^{-5}$
4	15,15	$2,5 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-4}$
5	163,46	$2,27 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-5}$
6	22,43	$3,35 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$
7	21,87	$1,8 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
8	152,36	$4,7 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$
9	22,14	$2,6 \times 10^{-5}$	$3,3 \times 10^{-5}$
10*	8,73	$6,6 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-4}$

¹ Considerando ingesta de As a través de agua y forraje, ² Considerando ingesta de As a través de agua de bebida, * Tambo que utilizaba agua de pozo semisurgente.

La importancia de conocer el FBT radica en la posibilidad de estimar la concentración de As esperable en leche bovina a partir del conocimiento de la concentración de As en agua de bebida. Nuestros estudios demuestran que éste es el factor determinante y que la concentración de As en el forraje en zonas de abundancia natural de As en agua subterránea tiene un papel secundario.

Cabe destacar que las determinaciones de As en agua son mucho más sencillas de realizar y las concentraciones son mayores. La leche requiere procesamiento de la muestra y metodologías de análisis más sofisticadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad de Buenos Aires y al CONICET por el financiamiento recibido y a los médicos veterinarios O. Bentatti y M. Bondone, así como a los productores ganaderos del Depto. de Unión, provincia de Córdoba por su colaboración en los muestreos realizados

BIBLIOGRAFÍA

1. Adriano, D. 2001. *Arsenic in Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals*, Ed. Springer-Verlag, 2nd ed. Chapter 7, pp 220 - 256.
2. Alvarado, J. 1996. Microwave dissolution of plant tissue and the subsequent determination of trace Lantanides ICP-MS. *Analytica Chimica Acta*, 322: 11-20.
3. Ayerza, A. 1918. Arsenicismo regional endémico (keratodermia y melanodermia combinadas). *Boletín de la Academia Nacional de Medicina*, I: 11-41.
4. Bavera, G.; Rodríguez, E.; Beguet, H.; Bocco, O. y Sánchez, J. *Manual de aguas y aguadas para el ganado*. Ed, Hemisferio Sur, Buenos Aires, 2001.
5. CAA (Código Alimentario Argentino). Artículo 982, Agua Potable. Capítulo XII, Bebidas hídricas, agua y agua gasificada. Actualizado 2007.
6. Cabrera, A.; Blarasin, M. y Villalba, G. 2001. Groundwater contaminated with arsenic and fluoride in the Argentine pampean plain. *Journal of Environmental Hydrology*, vol, 9, paper 6.
7. Cerutti, G. *Residui, additivi e contaminanti degli alimenti*. 1rd ed. Milano, Tecniche Nuova; 1999.
8. Cervera, M.; Lopez, J. y Montoro, R. 1994 (A). Arsenic content of Spanish cows milk determined by dry ashing hydride generation atomic absorption spectrometry. *Journal of Dairy Research*, 61: 1, 83-89.
9. Cervera, M. y Montoro, R. 1994 (B). Critical review of the atomic spectrometric analysis of arsenic in foods. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 348: 331-340.
10. Dabeka, R. y Lacroix, G. 1987. Total arsenic in foods after sequential wet digestion, dry ashing, coprecipitation with ammonium pyrrolidine dithiocarbamate, and graphite-furnace atomic absorption spectrometry. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 70: 866-870.
11. Environment Agency. Soil guideline values for arsenic contamination. *R&D Publication SGVI*, Bristol, UK: Environment Agency, 2002.
12. Farías, S.; Casa, V.; Vázquez, C.; Ferpozzi, L.; Pucci, G. y Cohen, I. 2003. Natural contamination with arsenic and other trace elements in ground waters of Argentine Pampean Plain. *The Science of the Total Environment*, 309: 187-199.
13. García Salcedo, J.; Hernández Serrano, M.; García Vargas, G.; Valdez Anaya, B. San Miguel Salazar, M. y Serrano Gallardo, L. 1994. Estudio del contenido de arsénico en alimentos de consumo humano producidos en Comarca Lagunera. *Bioquímica*, vol XIX, 17: 187-190.
14. Ihnat, M. y Miller, H. 1977. Acid digestion, hydride evolution atomic absorption spectrophotometric method for determining arsenic and selenium in

- foods: collaborative study. Part I. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 71: 1090-1093.
15. International Dairy Federation, 1986. Levels of trace elements in milk and milk products. *Questionnaire 2386/E*. Brussels: IDF.
16. Kabata Pendias, A. y Pendias, H. 1992. *Trace elements in soils and plants*. Second edition, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, pp 203-209.
17. Lavado, R.; Zubillaga, M.; Alvarez, R. y Taboada, M. 2004. Baseline levels of potentially toxic elements in Pampas soils. *Soil & sediments contamination*, 13: 329-339.
18. LEY 24051, Régimen de Desechos Peligrosos. Decreto Nacional 831/93, Reglamentación de la Ley 24051.
19. Licata, P.; Trombetta, D.; Cristiani, M.; Giofré, F., Martino, D., Caló, M. y Naccari, F. 2004. Levels of "toxic" and "essential" metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International*, 30: 1-6.
20. Mandal, K. y Suzuki, K. 2002. Arsenic round the world: a review. *Talanta* 58: 201-235.
21. National Research Council. *Nutrients requirements of dairy cattle*. 7th Revised Edition, National Academy Press, Washington DC, 2001.
22. Nicolli, H.; O' Connor, T.; Suriano, J.; Koukharsky, M.; Gomez Peral, M.; Bertini, L.; Cohen, I.; Corradi, L.; Baleani, O. y Abril, E. 1985. *Geoquímica del arsénico y otros oligoelementos en aguas subterráneas de la llanura sudoriental de la Provincia de Córdoba*. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, Argentina.
23. Nicolli, H.; Suriano, J.; Gomez Peral, M.; Ferpozzi, L.; Baleani, O. 1989. Groundwater Contamination with Arsenic and other Trace Elements in an Area of the Pampa, Province of Córdoba, Argentina. *Environmental Geology Water Science*, 14: 1, 3-16.
24. O'Neill, P. 1995. Arsenic. In: *Heavy Metals in Soils*. Alloway, B.J. (ed). Blackie Academic and Professional, London.
25. Pérez Carrera, A. y Fernández Cirelli, A. 2004. Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (Bell Ville, Pcia. de Córdoba). *Revista Investigación Veterinaria (INVET)*, 6:1, 51-59.
26. Pérez Carrera, A. y Fernández Cirelli, A. 2005. Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina. Preliminary results. *Journal of Dairy Research*, 72: 122-124.
27. Rosas, I.; Belmont, R.; Armienta, A.; Baez, A. 1999. Arsenic concentrations in water, soil, milk and forage in Comarca Lagunera, Mexico. *Water, Air and Soil Pollution*, 112: 1-2, 133-149.
28. Sager, R. *Agua de bebida de bovinos*. Reedición de la Serie técnica N° 126, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental San Luis, 2000.
29. SENASA, 2005. Plan CREHA. *Plan anual 2005 de Residuos y Toxinas en alimentos de origen animal*.
30. Sheppard S. 1992. Summary of phytotoxic levels of soil arsenic. *Water Air and Soil Pollution*, 64: 539-550.
31. Smedley, P. y Kinniburgh, D. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17: 517-568.
32. Smith, E., Naidu, R. y Alston, A. 1998. Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in Agronomy*, 64: 149-195.
33. Stevens, J. Disposition of toxic metals in the agricultural food chain. 1. Steady-state bovine milk biotransfer factors. *Environ. Sci. Technol.* 1991, 25:7, 1289-1294.
34. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, 2004. Desarrollos de niveles guía nacionales de calidad de agua ambiente correspondientes a arsénico, 35 pp.
35. Wilkins, C. y Salter, L. 2002. An arsenic

- accumulating fern in Cornwall. *Geo-Newsletter of the Royal Geological Society of Cornwall*, 19: 4-5.
36. Wilkins, C. y Salter, L. 2003. Arsenic hyperaccumulation in ferns: a review. Royal Society of Chemistry, *Environmental Chemistry Group Bulletin*, 8-10 pp.