

Biotransferencia y Bioacumulación de Arsénico en Vegetales, Frutos y Productos de Origen Animal en el Este Tucumano

González, Karina M.; Morán, Juana Albarracín de

Biotransfer and Bioaccumulation of Arsenic in Vegetables, Fruits and Products of Animal Origin in the East of Tucuman

Abstract

One branch of environmental biotechnology studies the problematic of toxics from his origin to his accumulation in alive organisms.

In the present work one tried to evaluate the biotransferencia of the arsenic, his bioaccumulation and his possible biomagnification in the food chain, on the basis of some food produced in the zone.

To such an purpose there were obtained water samples, milk of cow, eggs of hen and some vegetables in San Nicolás (Leales). The above mentioned samples were analyzed to determine the concentration of arsenic. The vegetable species studied were: *Punica granatum* (granate), *Prunus persica* (peach tree), *Anthemis nobile* (camomile), *Citrus fortune* (variety of mandarin), *Citrus aurantium* (variety of orange tree) and *Zea mays* (corn).

For the determinations there were applied semiquantitative technologies (kit Merck) and quantitative (visible spectroscopy, using as reagent silver dietilditiocarbamate)

It was detected biotransferencia in *Punica granatum*, *Citrus fortune*, and bovine milk. As for the bioaccumulation and biomagnification of the toxic, one might affirm that it appears in these two last ones. In the rest of the samples the concentrations of arsenic were despicable. In *Citrus fortune* was arsenic in flavedo, albedo, juice and leaves. The major concentration of the toxin was in the albedo, which might assume to the high proportion of pectin that contains this part of the fruit.

All the opposing values are inside the accepted ones for the Food Argentine Code. For *Citrus fortune* and the bovine milk overcome the limits tolerated by international organisms (organisations) (WHO).

Resumen

Una de las ramas de la **Biotecnología Ambiental** estudia la problemática de los tóxicos, desde su origen hasta su acumulación en los organismos vivos. En el presente trabajo se intentó evaluar la **biotransferencia** del arsénico su **bioacumulación** y su posible **biomagnificación** en la cadena trófica. A tal fin se obtuvieron muestras de agua, leche de vaca, huevos de gallina y algunos vegetales en San Nicolás (Comuna de los Sueldos y Quilmes, Leales).

Dichas muestras se analizaron para determinar la concentración de arsénico. La especies vegetales estudiadas fueron: granado (*Punica granatum*), duraznero (*Prunus persica*), mandarino (*Citrus fortune*), naranja (*Citrus aurantium*), maíz (*Zea mays*), manzanilla (*Anthemis nobilis*).

Se detectó biotransferencia en hojas de granado, mandarina y leche vacuna. En cuanto a la bioacumulación y biomagnificación del tóxico, podría afirmarse que se presenta en estos dos últimos. En el resto de las muestras las concentraciones de arsénico fueron despreciables.

En mandarina se encontró arsénico en flavedo, albedo, jugo y hojas. La mayor concentración del tóxico se encontró en el albedo, lo que podría atribuirse a la elevada proporción de pectina que contiene esta parte del fruto.

Todos los valores determinados se encuentran dentro de los valores aceptados por el código Alimentario Argentino, sin embargo en *Citrus fortune* y leche vacuna, superan ampliamente los límites tolerados por los organismos internacionales (OMS).

Palabras claves: Biotransferencia; Bioacumulación; Biomagnificación.

Fundamentos Biotecnológicos del Estudio

Los tóxicos en la biotecnología ambiental

Una de las ramas de la Biotecnología Ambiental estudia la problemática de los tóxicos, desde el origen de los mismos hasta su acumulación en los organismos vivos, para aportar soluciones basadas en técnicas biotecnológicas.

Mecanismos de Toxicidad

Metales indispensables para el normal funcionamiento de un organismo vivo pueden ser tóxicos a concentraciones muy superiores a la requerida por dicho organismo.

Existen otros mecanismos de toxicidad como el reemplazo de un elemento esencial por similitud electrónica, formación de complejos metal-proteína con inactivación de su función, o la inhibición enzimática de proteínas con grupos sulfhídricos.

Origen de los tóxicos

Algunos tóxicos pueden ser vertidos al medio como residuos procedentes de una serie de actividades como la minería, fundiciones galvanizadas y tareas agrícolas o ganaderas (residuos antropogénicos) (Tabla 1).

Estándares para el agua potable

Se han establecido estándares nacionales e internacionales para los niveles de metales en agua potable.

Biotransferencia y Bioacumulación de Tóxicos

Aun para bajos niveles de concentración de los metales tóxicos, éstos se pueden transferir a microorganismos, plantas y animales por el proceso conocido como **Biotransferencia** y los mismos se pueden acumular en estos organismos, proceso conocido como **Bioacumulación**.

| Metal | Estándares para agua potable (mg/l) |
|---------------|-------------------------------------|
| Cadmio (Cd) | 0,005 |
| Cromo (Cr) | 0,05 |
| Plomo (Pb) | 0,05 |
| Arsénico (As) | 0,05 |

Tabla 1. Niveles estándares de contaminación por metales.

Se define entonces como **biotransferencia** a la transferencia de los contaminantes a través de la cadena trófica de un eslabón a otro y como **bioacumulación** a la acumulación del mismo, esto se produce si la tasa de entrada del tóxico es mayor que la de salida dentro de un organismo.

La **Biomagnificación** o **Bioamplificación** es el aumento de la concentración de un compuesto al subir en la cadena trófica.

La persistencia de las moléculas orgánicas e inorgánicas en el ambiente tiene consecuencias indeseables, ya que ocasiona la exposición prolongada de los organismos al compuesto, incrementando así su efecto tóxico. Debido a las tasas de degradación o excreción muy bajas, los organismos tienden a acumular los elementos o compuestos tóxicos, ocasionando la biomagnificación.

En este proceso el primer organismo puede ser la presa de otro y como consecuencia la concentración del compuesto se incrementará en el segundo organismo, así un nivel muy bajo del compuesto en el ambiente puede ser magnificado a un alto nivel tóxico.

El Arsénico

El arsénico en las aguas naturales

En áreas geográficas como México, Chile, Argentina, y los Estados Unidos hay aguas naturales

superficiales y subterráneas de elevada concentración en arsénico, entre 1 y 2 mg/l. Se ha encontrado hasta 0,86 mg/l en el agua superficial en Antofagasta (Chile), y 0,3 mg/l en aguas de pozo de Bangladesh.

Toxicidad

El arsénico es venenoso en dosis significativamente mayores a 65 mg/l. El envenenamiento puede producirse por una única dosis alta, pero también por acumulación progresiva de pequeñas dosis repetidas, como por la inhalación de gases o polvo de arsénico. Este elemento no es detectable por sus caracteres organolépticos.

Puede ser orgánico, o inorgánico; siendo el orgánico menos tóxico. El grado de toxicidad del mismo en compuestos biológicos aumenta con el nivel de metilación (se puede encontrar mono, bi, tri o tetrametilado).

Fuentes Contaminantes

Las fuentes contaminantes de arsénico se pueden clasificar en:

Laborales: Industria del vidrio, cerámica, metalúrgica, fabricación y utilización de insecticidas, herbicidas y fungicidas, curtidos, etc.

Alimentarias: Agua y alimentos de origen vegetal o animal.

Medicamentosas: Compuestos de arsénico V (arsenobenzoles) utilizados en el tratamiento de parasitosis.

El Arsénico en el Organismo Humano

Los compuestos arsenicales se absorben a través de las vías digestiva, respiratoria y cutánea. Los compuestos orgánicos de arsénico se absorben mejor que los inorgánicos, y los pentavalentes más que los trivalentes.

En el organismo, el arsénico se fija preferentemente en el hígado, riñones, tracto digestivo, hueso, y piel. La vía principal de eliminación es la urinaria.

Los trastornos característicos debidos a la exposición crónica comienzan con el engrosamiento de las palmas y de las plantas de los pies (queratoderma, Fig. 1).

Otras alteraciones cutáneas son eritema, úlceras, hiperpigmentación (melanodermia) y epitelomas (espinocelulares y basocelulares).

Puede ocasionar alteraciones digestivas en forma de náuseas, vómitos, diarreas y dolores abdominales de tipo cólico, o causar lesiones degenerativas hepáticas y cirrosis. También es un cancerígeno hepático. Las alteraciones neurológicas se manifiestan en forma de una polineuropatía sensitivo-motora que afecta a las extremidades inferiores.

En algunos casos produce lesiones cardiacas y vasculopatías periféricas (de tipo gangrenoso). También puede ocasionar hipoplasia de tipo medular, causando disminución de glóbulos rojos y blancos.

Mecanismo de Acción

El arsénico inhibe el dihidroli-poato, cofactor necesario de la piruvato deshidrogenasa. Esta inhibición bloquea el ciclo de Krebs interrumpiendo la fosforilación oxidativa. También inhibe la transformación de la tiamina a acetil-CoA y succinil-CoA. Estudios recientes permitieron determinar que el arsénico produce, en los individuos que ingieren agua contaminada con este elemento, alteraciones en la proliferación de los linfocitos, actuando como agente inmunosupresor. Se han observado también efectos genotóxicos, demostrándose que el arsénico es un agente tanto clastogénico como aneuploidiógeno.

EL HACRE

El Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (H.A.C.R.E) es una patología producida por la ingestión continua de agua con elevada concentración de arsénico, de origen natural o antropogénico. El arsénico de suelos, aire, agua, no puede ser degradado.

El valor máximo permitido por la OMS (Organización Mundial de la Salud) para el agua de consumo es 0,01 mg/l

Se han descrito zonas endémicas de arsenicismo hídrico en la India, Canadá, EEUU, Alemania, Méjico y Argentina. El HACRE reviste una gran importancia en nuestro país

ya que el mismo ocupa el 2° lugar entre los países afectados, después de los Estados Unidos. La fuente natural de arsénico en los suelos es de origen volcánico. Existe una extensa zona rica en terrenos arseníferos que abarca la región central y norte del territorio argentino contaminando las napas de agua. La concentración de arsénico en suelos varía, siendo el rango aceptado de 1 a 40 mg/l.

En la provincia de Tucumán se han detectado altos contenidos de arsénico en las aguas subterráneas (napas freáticas) que oscilan desde valores de 10 a 100 µg/l donde las mayores concentraciones se encuentran en el este de la provincia.

Objetivos del Trabajo

Podríamos plantear ahora los objetivos de este trabajo:

- Determinar la **biotransferencia** del arsénico de agua y suelos a los productos de origen vegetal y animal.
- Cuantificar la **bioacumulación** en dichos productos.
- Evaluar la **biomagnificación** del arsénico en la cadena trófica correspondiente.

Para responder a estas preguntas la presente investigación se realizó en el paraje llamado San Nicolás (Comuna de los Sueldos y Quilmes, Departamento Leales, Provincia de Tucumán) que está

situada aproximadamente a 44 Km de la capital de la provincia.

As en Alimentos de Origen Vegetal según el Código Alimentario Argentino

En el Código alimentario Argentino, Capítulo III Art.156 (Res.1546 17/9/85) se resuelve: “En los alimentos en general con excepciones previstas en el presente código se tolera la presencia de elementos metálico y no metálicos estableciendo dentro de los límites a continuación”:

| | | |
|-----------|------------------------|-----------------|
| Sb | | 2 mg/Kg |
| As | en líquido..... | 0,1 mg/l |
| As | en sólido | 1 mg/Kg |
| Pb | | 2 mg/Kg |

Existen excepciones, por ejemplo en semillas o frutos de oleaginosas, se llega a aceptar como límite 3 mg/Kg.

Estos elementos tendrían que estar en el orden de los microgramos o nanogramos en cualquier tipo de alimento.

En frutos para exportación el As está como un elemento prohibido, conjuntamente con sus sales.

En la Unión Europea existe una legislación que fija valores máximos para metales pesados para la alimentación animal para materias primas y piensos, en referencia al arsénico es 2 mg/Kg.

Mientras que la Asociación Americana de Controladores

Oficiales de Alimentos (AAFCO) clasifica a los metales en altamente tóxicos, moderadamente tóxico, tóxicos, ligeramente tóxicos que son en general valores bastante elevados (400 mg/l de As en piensos).

Materiales y Métodos

Trabajo de Campo

Se realizó el trabajo de campo en el paraje denominado San Nicolás.

El acceso a las familias revistió en algunos casos cierta dificultad, porque algunos pobladores evidenciaron desconfianza hacia las personas ajenas a la región. En especial se observó en muchos casos resistencia a proporcionar o vender muestras de leche, aduciendo una serie de pretextos insólitos. Probablemente la causa de esta situación fue el temor a

que los análisis de las muestras fueran utilizados para controles bromatológicos que pudieran resultarles adversos.

Se seleccionaron dos familias que podían proveer muestras vegetales y de productos de origen animal, debido a que las mismas contaban con huertas familiares de las cuales se abastecían.

Toma de Muestras

Se obtuvo la primera muestra de agua de la vivienda de la familia Zamorano. En la misma se cuenta con agua de bomba y de red. En esta familia se ha detectado cáncer y patologías óseas.

La familia Juárez proporcionó generosamente la leche que se analizó en el presente trabajo. Otra familia proporcionó huevos de gallina, que



Figura 1.

son utilizados normalmente para su consumo personal.

Se recogieron también frutos de estación: mandarinas y naranjas y muestras de hojas y fruto de plantas de maíz.

Trabajo Experimental

La concentración de arsénico en las muestras se determinó mediante dos tipos de técnicas: una semicuantitativa (Kit Merck de varillas analíticas) y otra cuantitativa (espectrofotometría, usando como reactivo dietilditiocarbamato de plata en efedrina/cloroformo). El Test Merck se utilizó para efectuar determinaciones previas, que permitieron detectar las muestras con concentración de arsénico apreciable.

Uso del Kit Merck

En un tubo de ensayo especial se colocan 5 mL de la muestra. Se agrega cinc en polvo, de elevada pureza, mediante una cucharita dosificadora, y 10 gotas de HCl concentrado. Se tapa herméticamente con una tapa especial donde se coloca una tira reactiva.

Después de 30 minutos se compara el color de la tira con una escala especial que permite determinar rangos desde 0,1 a 2 mg/l

Estas técnicas se aplicaron en forma directa para las muestras de agua. Para las muestras de origen vegetal o animal se realizó previamente a la determinación, la desintegración de la materia orgánica por el método de Denigés.

Este método se basa en la acción oxidante del ácido nítrico en presencia de permanganato de potasio.

Método calorimétrico y espectrofotométrico

Los compuestos del arsénico en presencia de hidrogeno naciente y en medio ácido se reducen dando hidruros, estos a su vez forman con el dietilditiocarbamato de plata un compuesto rojo vino que puede ser valorado por espectrofotometría.

Método Espectrofotométrico

Para la determinación espectrofotométrica se realiza previamente la reducción del arsénico a arsina en el aparato de la figura 2.



Figura 2.

Procedimiento

Se introduce la muestra en el generador del aparato, se añade 5 ml de HCl concentrado, y 0,5 ml de solución de cloruro de estaño. Se deja en reposo 15 minutos a baño María.

Posteriormente se retira del baño y se coloca en una cápsula con hielo. Una vez fría se coloca 2 g de cinc por cada 50 ml de muestra e inmedia-

tamente se tapa con el frasco borboteador donde los vapores pasarán por el depurador que contiene acetato de plomo, y se recibe en un tubo que contiene solución de dietilditiocarbamato de plata que vira de color amarillo a rosado en presencia de arsénico.

Se espera hasta que la reacción se detenga y se lee la absorbancia a 520 nm.

Resultados

| Muestra | Origen | Profundidad (metros) | Localidad | Concentración (mg/l) |
|---------|--------|----------------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | Pozo | 10 | Las Mercedes | *nd |
| 2 | Bomba | 6 | San Nicolás (Flía. Zamorano) | nd |
| 3 | Bomba | 6 | San Nicolás (Flía. Villa) | 0,1 |
| 4 | Pozo | 5 | San Nicolás (Flía. Juarez) | nd |

*nd: no detectado

Tabla 2. Análisis de Arsénico en agua: Kit Merck

| Productos de origen animal | Concentración (mg/l) |
|----------------------------|----------------------|
| Huevo | nd |
| Leche vacuna | 0,1 |

Tabla 3. Resultados con el kit Merck. Productos de origen animal

| Especies vegetales | As (mg/l) Test Merck |
|-------------------------|----------------------|
| Durazno | nd |
| <i>Prunus pérsica</i> | |
| Mandarina | 0,1 |
| <i>Citrus fortune</i> | |
| Maíz | nd |
| <i>Zea mays</i> | |
| Naranja | nd |
| <i>Citrus aurantium</i> | |
| Manzanilla | nd |
| <i>Anthemis Mobilis</i> | |

Tabla 4. Resultados en hojas con el kit Merck

| Mandarina <i>C. fortune</i> | Concentración mg/l |
|--------------------------------|-----------------------|
| Flavado | 0,1 |
| Albedo | 0,1 |
| Jugo | 0,1 |

Tabla 5. Resultados en Mandarina con el kit Merck

| Naranja <i>Citrus aurantium</i> | Concentración (mg/l) |
|------------------------------------|-------------------------|
| Flavado | nd |
| Albedo | nd |
| Jugo | nd |

Tabla 6. Resultados en Naranja con el kit Merck

| Maíz (<i>Zea mays</i>) | Concentración (mg/l) |
|-----------------------------|-------------------------|
| Gramos de maíz | nd |

Tabla 7. Resultados en Maíz con el kit Merck

Resultados realizados con el método del dietilditiocarbamato de plata

| Familias | Concentración (mg/l) |
|------------------|----------------------|
| Villa (bomba) | 0,1395 |
| Zamorano (bomba) | 0,0404 |
| Juarez (pozo) | 0,0685 |

Tabla 8. Valores encontrados en agua con Ag DDTC

| Especie | Nº de determinaciones | Concentración promedio (mg/l) |
|--|-----------------------|-------------------------------|
| Granado (<i>Punica granatum L.</i>) | 6 | 0,0546 |
| Mandarina (<i>Citrus fortune</i>)-albedo | 6 | 0,1992 |
| <i>Citrus fortune</i> -flavado | 6 | 0,1745 |
| <i>Citrus fortune</i> -jugo | 6 | 0,1826 |
| <i>Citrus fortune</i> -hojas | 6 | 0,1322 |

Tabla 9. Valores encontrados en especies vegetales con AgDDTC

| Muestra | Nº de determinaciones | Concentración promedio (mg/l) |
|--------------|-----------------------|-------------------------------|
| Leche vacuna | 6 | 0,1001 |

Tabla 10. Valores encontrados en muestras de origen animal con AgDDTC

En especies vegetales *citrus aurantium*, *Zea mays*, *Anthemis mobilis*, *Prunus persica*, y en huevos de gallina por el Kit Merck no se detectó As y por el Método del AgDDTC los valores son inferiores a 0,01 mg/l.

Discusión

Valores encontrados en muestras de origen vegetal

A partir de los resultados obtenidos en las diversas determinaciones se puede afirmar que:

- Se detecta una bioacumulación de arsénico en la especie vegetal *Citrus fortune*, tanto en las hojas como en los frutos.
- Las hojas de *Punica granatum* (granado) l. presentan sólo trazas de As. (No fue posible estudiar los frutos debido a que en el año en que se realizó el trabajo, la especie vegetal no floreció).
- En *Citrus aurantium* (naranja) no se encontró cantidades detectables de As.
- Es importante destacar que ambos ejemplares de citrus (*Citrus fortune* y *Citrus aurantium*) tienen el mismo tiempo de permanencia en el lugar, y que sus raíces penetran a igual profundidad.
- Se presume que la bioacumulación de arsénico sea una característica de la especie *Citrus*

fortune (mandarina). Como se trata de un híbrido, puede presentar cualidades diferentes de las plantas de las cuales provienen.

- Las concentraciones de As encontradas en el albedo son más elevadas que en las otras partes del fruto, lo que puede guardar relación con el elevado contenido de pectina en el albedo, que absorbe grandes cantidades de agua, y por lo tanto mayor cantidad de solutos minerales, entre ellos el As.
- Lamentablemente no fue posible determinar el factor de bioconcentración para las especies estudiadas ya que por tener raíces profundas, para obtener los datos necesarios para el cálculo del factor de bioconcentración, hubiera sido preciso realizar una excavación de aproximadamente 2m X 2m X 2m, causando lógicamente un perjuicio a las respectivas familias.

Valores encontrados en leche

El alto potencial tóxico del arsénico muestra la necesidad de investigar acerca de las concentraciones de este elemento en los alimentos de origen animal.

Como se explicó anteriormente, una vaca puede llegar a consumir 70 litros de agua por día. por ello, la calidad del agua incide notablemente

en la calidad de la leche, como afirman Pérez Carrera y Fernández Cirelli (2004). La relación entre la concentración de arsénico en la leche y la del agua con la que el animal abreva es un factor para evaluar el nivel de biotransferencia.

Calculo del Factor de biotransferencia en Leche de San Nicolás

Concentración de As
en Agua:..... **0,0685 mg/l**
SD:.....**0,001267 mg/l**
Concentración de As
en leche:0,1002 mg/l

| |
|--|
| Factor de biotransferencia: 1,4628 0,01850 |
|--|

(El cálculo es el cociente de la concentración de As en leche y la concentración de arsénico en agua).

A nivel internacional se han calculado factores de biotransferencia de arsénico en leche bovina y son: $6,7 \cdot 10^{-4}$ y $1,1 \cdot 10^{-5}$.

Generalmente, para estos valores de arsénico en leche no se observan alteraciones aparentes en los vacunos, aunque hay manifestaciones subclínicas, como la mastitis, que ocasionan una disminución de calidad y cantidad en la producción de leche.

Hay que tener en cuenta que el arsénico o los metabolitos producidos por el organismo pueden acumularse en distintos tejidos vacunos,

incluyendo los de consumo humano, lo que significa un potencial riesgo para el consumidor.

A partir de los valores hallados en el agua de pozo y los encontrados en la leche analizada de los tambos de la familia Juárez se evidencia una **biotransferencia y bioacumulación** del tóxico. Sin embargo, los valores para la leche entran dentro de los aceptados a nivel nacional, 0,1 mg/l, no así en los estipulados internacionalmente 0,01 mg/l.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados encontrados podemos concluir que: **La biotransferencia hacia la cadena trófica quedó en evidencia**, en las muestras de *Citrus fortune*, *Punica granatum* (hojas) y en la leche vacuna.

- Podríamos inferir que en la especie *Citrus fortune* al tratarse de un híbrido pudiera tener propiedades diferentes a los demás especies de *Citrus*.
- La **bioacumulación del As** en las especies vegetales y en productos de origen animal se observa en, hojas de *Punica granatum*, *Citrus fortune* en hojas. Flavedo, albedo, y jugo. En los productos de origen animal solo en leche vacuna.
- El mayor valor encontrado en el albedo de la especie *Citrus*

fortune podría deberse a la gran concentración de la pectina en el albedo.

- Cabe destacar que en el albedo se encuentran grandes cantidades de pectina, lo que desde el punto de vista fisiológico es de gran importancia hasta el punto de formar una especie de canales de esta sustancia debido a que empuja a las células de la corteza. La pectina por ser un coloide tiene la propiedad de embeber agua en grandes cantidades por este motivo desempeña un papel fundamental en los frutos muy jóvenes.

La biomagnificación del arsénico en la cadena trófica se producen:

- No se analizó los frutos de la especie *Punica granatum* y los valores hallados en hojas son bajos por lo tanto no podemos afirmar que se produzca una biomagnificación en esta especie.
- En el caso de la especie *Citrus fortune* existe una biomagnificación pero los valores hallados se encuentran aun en los aceptados por el Código Alimentario Argentino (Capítulo III Art.156-Res. 1546).
- En la leche vacuna existe también biomagnificación del tóxico hacia la cadena trófica pues la concentración aumenta a medi-

da que asciende en la misma, pero aun así estos valores en la leche se encuentran dentro de los valores aceptados a nivel nacional no siendo así para los valores establecidos internacionalmente como máximos.

A partir de lo expuesto surge la importancia de continuar investigando sobre algunos aspectos relacionados con el tema.

Posibilidad de especiación

Sería conveniente conocer no sólo la cantidad de arsénico en cada alimento, sino también cuáles son las especies arsenicales presentes, dado que la toxicidad de este elemento depende de su estado de oxidación y de su nivel de metilación. Sin embargo, las técnicas analíticas empleadas para la especiación son sumamente complejas, p.e. el acoplamiento de la cromatografía de alta eficacia con la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (icp-ms).

La determinación de las especies en juego contribuiría al conocimiento del tipo de proteína que puede unirse al arsénico y la naturaleza de la unión.

Conocidas las especies, sería también importante determinar las eventuales transformaciones de las mismas y la estabilidad de las especies de arsénico en diferentes tipos de muestras.

Ingesta total de contaminantes tóxicos por la dieta

Se ha calculado en 13 por mil el riesgo de morir de cáncer de hígado, pulmón, riñón o vejiga si se consume durante toda la vida 1 litro de agua diario cuya concentración de arsénico corresponda al máximo permitido por muchos países (0,05 mg/l). Se trata evidentemente de un importante nivel de riesgo. (EPA, 2002)

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la ingesta de As se produce no sólo por beber agua contaminada, sino también por los alimentos, como la leche y los frutos estudiados.

La OMS ha establecido valores tolerables para la ingesta diaria total de tóxicos (TDI) basándose en estudios de toxicidad en animales de experimentación y aplicando factores de extrapolación a humanos. En 1985 la OMS estableció **como valor límite para el As 2,14 microgramos de As/Kg/día referido a As inorgánico**, lo que en un adulto vendría a ser entre **110 y 130 microgramos diarios**. Los valores que propuso la OMS en 1998 como tolerables se encontraban entre 1 a 4 pg (Picogramos) OMS/TEQ/día.

En 2002, la JEFCA (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) propuso un valor de 70 pg WHO-TEQ/Kg/mes para los contaminantes persistentes.

Es recomendable expresar los valores de concentración en tetraequivalentes tóxicos (TEQs) a partir de

los factores de tetraequivalencia (TEFs) propuestos por la OMS

En el SENASA, el arsénico (conjuntamente con sus sales) se encuentra en la lista de elementos prohibidos en los artículos de exportación; sin embargo está permitido para consumo nacional.

En un estudio realizado sobre la ingesta diaria de tóxicos en Huelva España se analizó leche correspondiente a dos marcas diferentes. Los valores encontrados, 0,0014 mg/l y 0,0009 mg/l, están muy alejados de los que se encontraron en la leche de San Nicolás (**0,1002 mg/l**), sin embargo, estos últimos son aceptables de acuerdo a la normativa nacional...

Consideramos que estas diferencias deben ser analizadas en profundidad, a la luz de los estudios de avanzada sobre toxicidad, y si es necesario debe reformularse la reglamentación nacional. Se hace necesario establecer normas sanitarias y nutricionales claras que protejan al consumidor y eviten los daños que causa el tóxico.

Ingesta Total de As en el Código Alimentario Argentino

No hay en Argentina un estudio realizado para la ingesta total de As, pero se propone lo siguiente:

Para calcular las necesidades humanas de As se dispone sólo de datos procedentes de estudios en animales. En pollos y ratas en creci-

miento alimentados con una dieta experimental que contenía 20 % de proteínas, 9 % de grasas, 60 % de carbohidratos y 11 % de fibras minerales y vitaminas se sugirió que las necesidades de As eran de 25 ng/g por lo tanto es posible que las necesidades del mineral se encuentren entre

6,25 y 12,5 $\mu\text{g}/1000 \text{ Kcal}$.

De estos datos puede deducirse que las necesidades de As de una persona que ingiere 2000 Kcal podrían ser de unos 12 a 25 $\mu\text{g}/\text{día}$. Lo más probable es que un límite superior inocuo de ingesta de As sea de 140 a 250 $\mu\text{g}/\text{día}$.

Bibliografía

1. APHA, AWWA, MPCF, (1991). Standard- Methods for examinations of water and wasterwater.
2. Barceló, J. Coll (1989). "Estrés vegetal inducido por metales pesados" 3, pp 314-376.
3. Biagini, R., *et al.* (1995). HACRE: Casos diagnosticados en el período 1972-1993 arch. Argent. Dermatol., 45: 47-52.
4. Pérez Carrera, A.; Fernández Cirelli, A. (2004). Niveles de arsénico y flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera (pcia de Córdoba, Argentina) X reunión Anual de As
5. Scragg, A. (1999) Biotecnología ambiental. Ed. Acribia, 5, pp 128-160.
6. Viapiano, José S. (1983) Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico, mapa contenidos de arsénico en Tucumán. Reunión de saneamiento ambiental, Salta.
7. Ziegler y Filer (1997). Conocimientos actuales sobre nutrición. Séptima edición pp 380.
8. Rowley. (1993). Standares de contaminación por metales. Octava edición pp 73.
9. van den Berg et al. (1998). Environ Health Perspect. 106 cap 12 pp 775.
10. Stevens, J. (1991). Homer D. Chapman: Leaf and soil analysis in Experimental Station. California citrus Orchards. E.U.A., manual 25.