



7<sup>mo</sup>  
Congreso de  
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM  
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

## ARSÉNICO Y MEDIO AMBIENTE: EFECTOS DEL RIEGO CON AGUAS CONTENIENDO AS SOBRE CULTIVOS HORTÍCOLAS

**Arsenic and environment: effect of irrigation with water containing arsenic on horticultural crops**

Luisina Franco <sup>a</sup>, Nadia Castillo <sup>a</sup>, María J González <sup>b,c\*</sup>, Juan M Santillán <sup>d</sup>, Mabel Vázquez <sup>a</sup>, Irma L Botto <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.  
[mvazquez@agro.unlp.edu.ar](mailto:mvazquez@agro.unlp.edu.ar), [nadiacastillo22@yahoo.com.ar](mailto:nadiacastillo22@yahoo.com.ar)

<sup>b</sup> CEQUINOR-CCT La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. [botto@quimica.unlp.edu.ar](mailto:botto@quimica.unlp.edu.ar)

<sup>c</sup> INREMI-Centro Asociado CICIPBA, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. [marijo@inremi.unlp.edu.ar](mailto:marijo@inremi.unlp.edu.ar)

<sup>d</sup> CIMA, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

\* Autor para correspondencia

---

*Palabras clave: arsénico en agua, riego, alcalinidad del agua, rendimiento vegetal*

*Keywords: arsenic in water, irrigation, effect on the crops,*

*Título abreviado: Riego con aguas contaminadas con arsénico*

**ABSTRACT**

Large areas of the Chaco Pampean plain have aquifers containing high values of As. The use of this water to irrigate horticultural species, in particular for fresh consumption, could have direct consequences on the human health as well as in the agricultural soils. The aim of this work was directed to the evaluation of the effect of the rich-arsenic water irrigation on the yield-crop of *Eruca sativa*. Likewise, the arsenic content in the vegetal and in the soil was analyzed. Assays with completely randomized block design and factorial arrangement (type of soil/alkalinity of water/level of As) were carried out with two type of soils of different texture (sandy loam and silty loam). The pots were kept at 90 % of field capacity, with a daily irrigation, by using waters of different alkalinity. Three concentrations of arsenic were used (100, 250 and 500  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Dry matter (from vegetal heated at 60 ° C) and the concentration of As in plant and in soils were the evaluated variables. The irrigation conditions affected the tenor of arsenic in plants as well as in soils, in particular in silty loam soils, according to literature. Although it is observed a trend to increase the arsenic concentration in plant through irrigation, it is not possible to establish a reliable relationship between the concentration of As in plant and performance. Moreover, the soil content increased slightly with irrigation, in particular in the silt-loam soil, without reaching hazard limits in the first sowing. While the concentration of As in fresh vegetable is below the limit established by the legislation, its use could mean a contribution to the daily intake of arsenic, which would add to the hazard caused by the drinking water with arsenic.

**RESUMEN**

Amplias zonas de la planicie Chaco-Pampeana poseen acuíferos conteniendo valores elevados de As. El empleo de este tipo de agua en el riego de especies hortícolas, particularmente de consumo fresco, podría tener consecuencias sanitarias directas sobre la población y contaminar el suelo de producción. Los objetivos del trabajo fueron dirigidos a la evaluación del contenido de As en la especie *Eruca sativa* y en el suelo de cultivo regado con aguas de diferente concentración de As y alcalinidad. Se realizó un ensayo con diseño DBCA y arreglo factorial (tipo de suelo/alcalinidad del agua/nivel As) empleando dos suelos texturalmente distintos (franco-arenoso y franco-limoso), con el desarrollo de 20 plantas/maceta. Las macetas se mantuvieron al 90% de la capacidad de campo (riegos diarios con dos aguas de diferente alcalinidad) y 3 concentraciones de

As (100, 250 y 500  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), empleando las aguas originales como testigo. Las variables evaluadas fueron materia seca vegetal (60 °C) y la concentración de As en planta y suelo. Las condiciones de riego modificaron el tenor de As en planta hasta niveles de toxicidad citados en la literatura, particularmente en el suelo franco-limoso. Si bien se observa una tendencia al aumento de la concentración de As en vegetal a través del riego, no es posible establecer una fehaciente relación entre la concentración de As en vegetal y el rendimiento. Por otra parte, el contenido en suelo aumentó ligeramente con el riego, observando los mayores niveles en el suelo franco-limoso, sin alcanzar límites de peligrosidad en una primera siembra. Si bien la concentración de As en vegetal fresco se encuentra dentro de los límites establecidos por la Legislación, su consumo podría significar un aporte a la ingesta diaria de As, que se sumaría a los perjuicios ocasionados por el agua de bebida.

## INTRODUCCIÓN

El arsénico (As) es un elemento tóxico de origen geogénico que se encuentra ampliamente distribuido en aguas subterráneas de nuestro país. Vastas zonas de la planicie Chaco-Pampeana poseen acuíferos conteniendo valores de As (Smedley & Kinniburgh, 2002) que superan el límite establecido en agua de consumo por la OMS (10  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), motivo por el cual se han desarrollado distintos tratamientos para alcanzar esa cifra. Sin embargo, el agua subterránea con As no sólo se emplea como fuente de consumo humano, sino que también es utilizada para el riego de vegetales comestibles y como bebida para el ganado. De esta forma la población podría estar expuesta a la contaminación también a través de la ingesta de alimentos de origen animal y vegetal. Generalmente, estos productos tienen un contenido de As relativamente bajo entre 0.1 y 0.9  $\text{mg kg}^{-1}$ , mientras que los alimentos de origen marino presentan un contenido mayor (Cervera & Montoro, 1994). Dado que los vegetales son una parte fundamental de la

dieta, resulta interesante el estudio de la cantidad de As que podría ingresar al organismo a través de su ingesta. Las plantas se ven expuestas al As a través del agua de riego o por captación desde el suelo. La acumulación de As en las mismas puede estar afectada por muchos factores, incluyendo las características de las especies vegetales, las condiciones del suelo y, adicionalmente, el empleo de productos sanitarios arsenicales y/o la aplicación de fertilizantes (Carbonell Barrachina *et al.*, 1995). Las concentraciones habituales de As en vegetales varían entre 0.08 y 2 mg kg<sup>-1</sup> (Warren & Alloway, 2003).

En nuestro país los estudios informados sobre el contenido de As en alimentos se han limitado a las determinaciones en soja (Bustingorri & Lavado, 2011), arroz (Soro *et al.*, 2011), leche y carne vacuna (Pérez Carrera & Fernández Cirelli, 2005; Pérez Carrera *et al.*, 2010). En relación a plantas hortícolas, Cao & Ma (2004) realizaron estudios en lechuga y zanahoria cultivadas en suelos con elevadas concentraciones de este elemento, informando un aumento en la acumulación del mismo en ambos vegetales, principalmente en zanahoria. Por su parte, Kim *et al.* (2002) observaron que los contenidos de As en las partes comestibles de zanahoria, lechuga y coliflor aumentan significativamente con el incremento de la concentración de As en el suelo. En relación a estudios evaluando la incidencia de la concentración de As (V) en agua de riego, Hüvely *et al.* (2011), demostraron que en cultivos hidropónicos de lechuga la concentración de As en la solución nutritiva aumenta el contenido de As en las distintas partes del vegetal alcanzando valores muy superiores en la raíz respecto a las hojas.

Los límites máximos permitidos para el contenido de As en frutas y vegetales informados por Mitchell & Barr (1995) es de 1.0 mg.kg<sup>-1</sup> en peso fresco, en

coincidencia con la legislación de nuestro país (Código Alimentario Argentino, Capítulo III, Artículo 156).

En el presente trabajo, se evalúa el efecto del riego con agua conteniendo valores elevados de As en el cultivo de la especie *Eruca Sativa* (Rúcula), en una primera siembra. La especie vegetal ha sido seleccionada dado su alto potencial de crecimiento denso y por lo tanto la elevada posibilidad extractiva de elementos de la solución edáfica, además del importante aumento del área productiva y consumo como producto fresco en los últimos años en nuestro país.

## **METODOLOGÍA**

Se evaluaron los efectos del riego en un único cultivo de la especie *Eruca sativa*.

Para los ensayos se seleccionaron 2 suelos de diferente textura: suelo franco-limoso (SL), obtenido de la Estación Experimental J. Hirschhorn, Los Hornos, La Plata (Serie Bombeador) y suelo franco-arenoso (SA), procedente de un campo de productores de la localidad de Norberto de la Riestra, 25 de Mayo (Serie Chacabuco). Las principales propiedades fisicoquímicas de los suelos se realizaron por metodología descrita en SAMLA (SAGPyA, 2004) y se observan en la Tabla 1.

Para el riego de las macetas se utilizaron 2 tipos de aguas: agua alcalina (AA), obtenida de un campo de productores hortícolas del partido de La Plata y agua de red de la

ciudad de La Plata (AR). Las características fisicoquímicas más importantes de las aguas se muestran en la Tabla 2. Se hizo uso de agua sin contenido de As, para regar las macetas consideradas testigo y modificada con distintas concentraciones de As (100, 250 y 500  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para el resto de los tratamientos.

**Tabla 1.** Propiedades de los suelos empleados en los ensayos.

**Table 1.** Soil properties used in the experiments.

Parámetro	SL			SA	
	Profundidad (cm)			Profundidad (cm)	
	0-14	14-25	25-40	0-20	20-40
pH agua (1:2.5)	5.1	5.1	5.5	5.4	5.9
Ct ( $\text{mg g}^{-1}$ )	13.9			26	
Nt ( $\text{mg g}^{-1}$ )	1.68			1.8	
CIC ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	14.3	14.3	19.7	14.9	12.7
Ca ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	12.1	11.3	14.2	7.8	6.6
Mg ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1.1	2.1	3.5	2.4	3.1
Na ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	0.1	0.1	1.0	0.2	0.2
K ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	1.2	1,2	0,9	1,6	1.4
Al int ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0.11			3.1	
P Bray y Kurtz ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	11.6			17.5	

SL: suelo franco-limoso                      SA: suelo franco-arenoso

El ensayo se realizó en invernáculo conducido a través de un diseño estadístico en bloques completos al azar con 3 repeticiones de cada tratamiento y arreglo factorial. Los tratamientos aplicados son combinaciones de los siguientes factores: agua de riego (8 niveles (2 niveles de alcalinidad y 4 niveles de As), suelos (2 niveles: SL y SA). En cada maceta se sembraron superficialmente (1-2 cm) 2 g de semilla. Se mantuvo el suelo a capacidad de campo en cada riego, provocando lixiviados quincenales, a los fines de simular el balance hidrológico de los sitios ensayados. Se condujeron las plantas en estado vegetativo por 60 días. Las plantas enteras (hoja y raíz) fueron cosechadas con un grado de desarrollo comparable a los cultivos comerciales, lavadas y

secadas en estufa a 60 °C hasta peso constante y finalmente molidas para la determinación de As.

El análisis de As total en el material vegetal seco se realizó mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros (Lab. CIMA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP). A tal efecto, 1 g de muestra vegetal molida fue tratada con 0.5 g de CaCO<sub>3</sub> en mufla siguiendo el siguiente programa de temperatura: 2 minutos a 25 °C, 30 minutos a 100 °C, 30 minutos a 150 °C, 30 minutos a 200 °C, 60 minutos a 400 °C, 30 minutos a 475 °C y 12 horas a 500 °C. Las cenizas blancas obtenidas se disolvieron con 25 ml de HCl (conc.) y tratadas con solución reductora de IK al 10 % (1.5 ml) y SnCl<sub>2</sub>. La solución fue filtrada (filtro de nylon de 0.45 µm) y finalmente se llevó a volumen de 50 ml con H<sub>2</sub>O.

**Tabla 2.** Propiedades fisicoquímicas principales de las aguas de riego.

**Table 2.** Main physicochemical properties of the irrigation waters.

Parámetro	AR	AA
pH	7.3	7.9
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	162	196
Alcalinidad total (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	99	404
Ca (mg L <sup>-1</sup> )	35	47
Mg (mg L <sup>-1</sup> )	18	19
Na (mg L <sup>-1</sup> )	145	116
K (mg L <sup>-1</sup> )	8	11
Carbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	No contiene	No contiene
Bicarbonatos (mg L <sup>-1</sup> )	121	492
Cloruros (mg L <sup>-1</sup> )	183	20
Sulfatos (mg L <sup>-1</sup> )	80	7
Nitratos (mg L <sup>-1</sup> )	7.8	45.2
Arsénico (mg L <sup>-1</sup> )	<0.01	0.02
AR: agua de red	AA: agua alcalina	

La determinación de As en los suelos se realizó empleando la técnica EPA 7010 previa digestión según el método EPA 3050B. Para cada condición, se homogenizaron las muestras de suelo de las 3 repeticiones.

Los resultados se analizaron mediante el análisis de variancia ANOVA y por comparaciones múltiples por el método del LSD ( $p < 0.05$ ) (INFOSTAT, 2011).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Efecto del riego en el rendimiento vegetal

En la Tabla 3 se presenta el análisis de la variancia (ANOVA) realizado sobre la variable rendimiento en materia seca. Dada la diferencia estadísticamente significativa de la interacción triple (Agua\*Suelo\*Dosis) ( $p < 0.05$ ), no pueden analizarse las interacciones dobles ni los efectos principales de estos factores. Por este motivo se realizó un análisis de comparación de medias por Diferencia Mínima Significativa ( $p < 0.05$ ) para cada combinación de los 3 factores involucrados en la experiencia. Sus resultados pueden verse en la Figura 1.

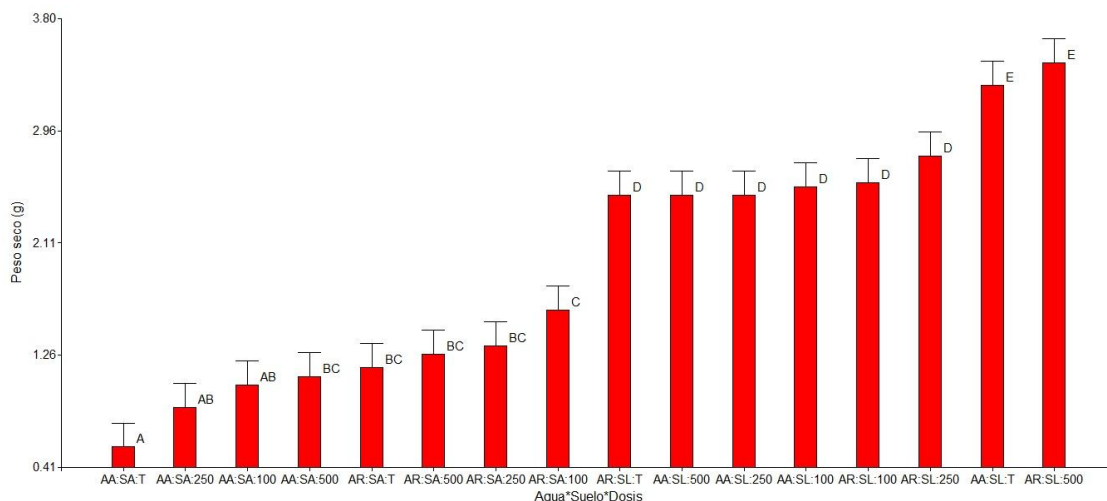
**Tabla 3.** Análisis ANOVA de rendimiento en materia seca.

**Table 3.** Performance on dry matter by ANOVA analysis.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37.62	15	2.51	5.19	<0.0001
Agua	0.99	1	0.99	9.96	0.0035
Suelo	32.18	1	32.18	323.12	<0.0001
Dosis	0.35	3	0.12	1.17	0.3372
Agua*Suelo	0.32	1	0.32	3.18	0.0839
Agua*Dosis	0.78	3	0.26	2.61	0.0682
Suelo*Dosis	1.03	3	0.34	3.44	0.0281
Agua*Suelo*Dosis	1.98	3	0.66	6.62	0.0013
Error	3.19	32	0.10		
Total	40.81	47			



En primer lugar, puede apreciarse que las plantas desarrolladas sobre el suelo SA tuvieron un rendimiento considerablemente menor que en SL, independientemente del nivel de As, resultado seguramente atribuido al efecto de otras variables que hacen a la fertilidad edáfica (capacidad de retención de nutrientes, tamaño de partícula, etc.). Resulta evidente que en el suelo limoso se produce el fenómeno de adsorción física y química facilitando la disponibilidad para la planta. En las macetas correspondientes al suelo SL se observó un rendimiento, en promedio, 1.6 veces mayor que el correspondiente al suelo SA, a igualdad de contenido de As, en discrepancia a lo planteado por Gutzl *et al.* (2005).



AA: agua alcalina; AR: agua de red; T: testigo; 100, 250 y 500: concentración de As en el agua en  $\mu\text{g L}^{-1}$ ; SA: suelo franco-arenoso; SL: suelo franco-limoso.

**Figura 1.** Resultados comparativos de materia seca de acuerdo a la alcalinidad del agua, su nivel de As y tipo de suelo utilizado.

**Figure 1.** Comparative results of the dry matter according to the alkalinity of the water, the As level and type of the soil used.

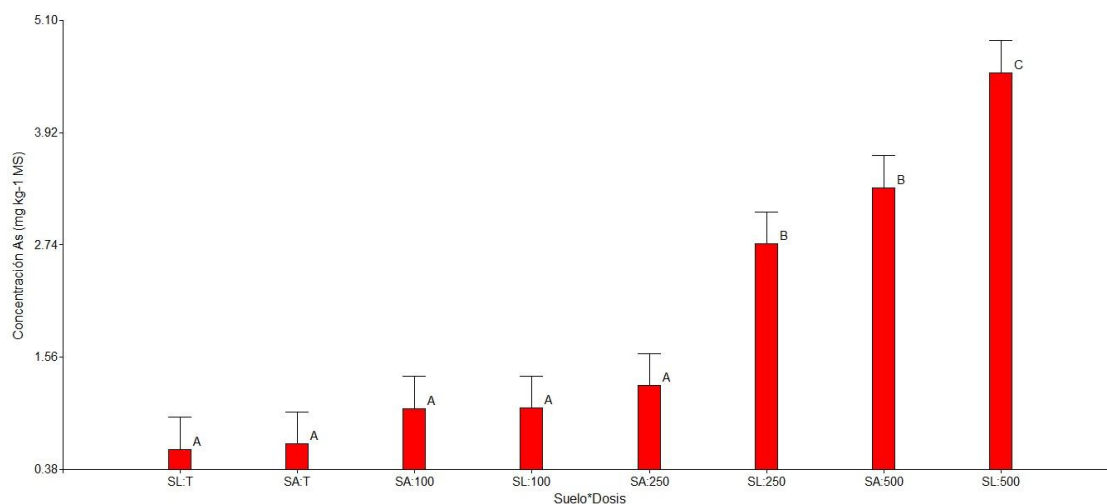
Por otra parte y dentro de los valores obtenidos para SA existiría una tendencia general al aumento del rendimiento respecto del testigo por el incremento de As, en particular cuando se emplea agua AR. Sin embargo, el efecto de la dosis aplicada es aleatorio. Las

diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) de rendimiento en este suelo se produjeron entre todas las dosis de AR y la de  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  de AA respecto del testigo. Adicionalmente, se observa que las plantas que crecieron en el suelo SA regadas con agua AR no muestran diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) de rendimiento a medida que aumenta la dosis de As en el agua de riego.

En el caso de aquellas plantas que crecieron en el suelo SL la dosis de  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  de As en AR, rindieron 1.4 veces más que el testigo, siendo este tratamiento estadísticamente diferente ( $p < 0.05$ ) a prácticamente todos los demás, mientras que en el AA todas las dosis fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) y menores que su respectivo testigo. En tal sentido, varios autores encontraron estimulaciones del crecimiento por adiciones de As (Carbonell Barrachina *et al.*, 1995).

### **Efecto del riego en la concentración de As en materia seca**

En la Figura 2 se muestran los valores de concentración de As en materia seca para las distintas condiciones de tratamiento, mientras que en la Tabla 4 se observan los resultados arrojados por el análisis ANOVA.



SA: suelo franco-arenoso; SL: suelo franco-limoso; T: testigo; 100, 250 y 500: concentración de As en el agua en  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

**Figura 2.** Resultados comparativos de concentración de As en materia seca de acuerdo al nivel de As en el agua y tipo de suelo utilizado.

**Figure 2.** Comparative results of As concentration in dry matter according to the level of As in water and type of soil used.

Existe diferencia estadísticamente significativa en la interacción doble Suelo\*Dosis, permitiendo evaluar el efecto principal del agua. Puede comprobarse ausencia de diferencia estadística ( $p < 0.05$ ) entre AR y AA.

**Tabla 4.** Análisis ANOVA de concentración de As en materia seca.

**Table 4.** ANOVA analysis of As concentration in dry matter.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	94.68	15	6.31	9.17	<0.0001
Agua	0.27	1	0.27	0.39	0.5389
Suelo	5.26	1	5.26	7.64	0.0094
Dosis	79.08	3	26.36	38.3	<0.0001
Agua*Suelo	1.87	1	1.87	2.71	0.1092
Agua*Dosis	0.78	3	0.26	0.38	0.7705
Suelo*Dosis	5.78	3	1.93	2.80	0.0559
Agua*Suelo*Dosis	1.65	3	0.55	0.80	0.5024
Error	22.03	32	0.69		
Total	116.71	47			

Se observa una tendencia al aumento en la concentración de As en vegetal con el aumento de la dosis de As en el agua de riego. Los valores obtenidos han sido acordes a los informados por varios autores que han realizado estudios en la especie *Lactuca sativa*. Asimismo, los resultados obtenidos en el presente trabajo muestran una amplia dispersión entre las repeticiones de la misma condición, en coincidencia con lo reportado por Hüvely *et al.* (2011). El valor más alto encontrado fue de  $5.97 \text{ mg kg}^{-1}$  para la tercera repetición de la condición SL regada con AR con  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  de As. En tal sentido, Warren and Alloway (2003) logran valores en materia seca de hasta  $13.78 \text{ mg kg}^{-1}$  para lechugas cultivadas en suelos con altos contenidos de As, mientras que Bunzl (2001) reportó valores de  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  en estudios realizados en lechugas cultivadas en suelos contaminados con escorias conteniendo As. Asimismo, Cao & Ma (2004) hallaron valores de  $32 \text{ mg kg}^{-1}$  en la porción comestible de la lechuga también cultivada en suelos con altos contenidos del elemento. Por su parte, Hüvely *et al.* (2011) en cultivo hidropónico con una concentración de As en el agua de  $400 \mu\text{g L}^{-1}$  encontraron un valor de  $2.67 \text{ mg kg}^{-1}$  en hojas de la misma especie y valores muy superiores en la raíz.

En el suelo SL la concentración de As en materia seca, aumentó de  $0.6 \text{ mg kg}^{-1}$  en el testigo a  $4.55 \text{ mg kg}^{-1}$  para una dosis del elemento en agua de  $500 \mu\text{g L}^{-1}$ , mientras que en el suelo SA, se observó una variación de  $0.65 \text{ mg kg}^{-1}$  en el testigo a  $3.34 \text{ mg kg}^{-1}$  en las mismas condiciones. Esto significa que las plantas que crecieron en el suelo SL regadas con la concentración más elevada acumularon 7.6 veces más As que aquellas regadas con el agua testigo, mientras que en el suelo SA las plantas regadas con la misma concentración acumularon 5 veces más As que las testigo. Asimismo, las plantas que crecieron en suelo SL con concentraciones de As de 250 y  $500 \mu\text{g L}^{-1}$  reportan

mayores valores del mismo y mayor rendimiento que aquellas que crecieron en suelo SA a iguales dosis, por lo que no puede establecerse una relación entre concentración de As en el vegetal y rendimiento.

### Efecto del riego sobre la concentración de As en suelo

Los contenidos de As en los suelos para cada condición se muestran en la Tabla 5. Es posible establecer que ambos suelos poseen bajos niveles de As, presentando el SA valores levemente menores que el suelo SL, atribuidos a la menor capacidad adsorptiva de los suelos de textura gruesa.

**Tabla 5.** Valores de As en suelos para los distintos tratamientos.

**Table 5.** Arsenic values in soils for different treatments.

Dosis de As ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	SA AA As ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	SA AR As ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	SL AA As ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	SL AR As ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
T	4.2	4.2	6.6	6.6
100	3.6	4.0	7.2	5.6
250	3.8	5.2	7.1	6.4
500	4.5	5.5	7.2	7.7

AA: agua alcalina; AR: agua de red; SA: suelo franco-arenoso; SL: suelo franco-limoso

Si bien se observa una tendencia al aumento de concentración de As en el suelo a medida que se incrementa la dosis en el agua de riego, es de destacar que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango de 0.1 a 40  $\text{mg kg}^{-1}$  (Litter *et al.*, 2008), citados para suelos no contaminados y por debajo del nivel guía según la Ley Nacional 24051 para suelos agrícolas (20  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Los resultados obtenidos en esta comunicación, basados en una única siembra durante un período de tiempo acotado, no han permitido evidenciar un efecto acumulativo de As

en el suelo. Es probable que el riego continuo con agua contaminada en campañas sucesivas eleve las concentraciones del mismo tal como ha sido reportado por Rahman & Naidu (2009).

### **Relación con los límites establecidos en la legislación**

En ninguna de las condiciones ensayadas las muestras de rúcula en peso fresco superaron el límite de referencia ( $1.0 \text{ mg kg}^{-1}$  según el Código Alimentario Argentino), dado que la mayor concentración de As en peso seco fue de  $5.97 \text{ mg kg}^{-1}$ , valor que corresponde a  $0.73 \text{ mg kg}^{-1}$  en materia verde (87.8 % de agua).

En referencia al aporte de As ocasionado por el consumo de rúcula, desde el punto de vista nutricional, es posible hacer referencia a la recomendación de la OMS de consumir 240 g de vegetales frescos por día por persona (Krarup, 2008). Si consideramos el mayor valor obtenido de As en peso fresco de  $0.73 \text{ mg kg}^{-1}$  y que toda la ingesta diaria vegetal proviene de esa condición, la cantidad de As consumida sería de 174  $\mu\text{g}$ . De acuerdo con el valor de Ingesta Diaria Tolerable Provisional (IDTP), para As inorgánico, de  $2 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$  de peso corporal fijado por la OMS y considerando un peso corporal de 70 kg, la ingesta diaria de As permitida sería de 140  $\mu\text{g}$ , por lo que el consumo de rúcula superaría el límite permisible. Sin embargo, hay que tener en cuenta, que el agua de riego de los cultivos hortícolas es también, en la mayoría de los casos, el agua de consumo, por lo que una persona que consume de 1 a 2 litros de agua por día en estas condiciones ( $500 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$ ) supera ampliamente los límites permitidos independientemente de la ingesta de cualquier otro alimento.

Es de señalar que en este trabajo se determinó As sobre toda la muestra vegetal sin diferenciar las raíces, que generalmente no son consumidas y presentan mayor contenido de As que las hojas (Woolson, 1973; Walsh & Keeney, 1975). Asimismo, se consideró que todo el As medido es de origen inorgánico sin tener en cuenta la posible metabolización vegetal a formas menos tóxicas.

## CONCLUSIONES

- El rendimiento en el suelo SL es comparativamente mayor que en el suelo SA. Existe una tendencia general al aumento del rendimiento en el suelo SA con el incremento de As en el agua de riego, particularmente con AR, mientras que en el suelo SL este efecto sólo se produce con AR y con la mayor dosis de As. Estos resultados de estímulo del crecimiento con el As son coincidentes con otros antecedentes bibliográficos.
- Existe una tendencia al aumento en la concentración de As en vegetal con el aumento de la dosis de este elemento en el agua de riego, no pudiéndose comprobar una relación estricta entre la concentración de As en vegetal y el rendimiento.
- Si bien se manifestó una tendencia al incremento de As en suelo con el aumento de la concentración de este elemento en el agua de riego, los umbrales alcanzados se encuentran por debajo de las concentraciones consideradas tóxicas.

- La concentración de As en vegetal se encuentra por debajo del límite permisible en el Código Alimentario Argentino. Sin embargo, puede sugerirse que el consumo de vegetales frescos en cultivos hortícolas en las condiciones del trabajo podrían significar un aumento en la ingesta diaria de As, que se sumaría a los perjuicios ocasionados por el consumo de agua de similares características.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó en el marco del PICT 2494.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bunzl K, Trautmannsheimer M, Schramel P & Reifenhauer W. 2001. Availability of Arsenic, Copper, Lead; Thallium and Zinc to various vegetables grown in slag-contaminated soils. *Journal of Environmental Quality*, 30: 934-939
- Bustingorri C & Lavado RS. 2011. Efecto del arsénico sobre el cultivo de soja. *1º Taller “El arsénico como factor limitante en la producción agrícola-ganadera”*. Capital Federal, Argentina. Resumen un CD.
- Cao X & Ma LQ. 2004. Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood. *Environmental Pollution*, 132: 435-442
- Carbonell Barrachina AA, Burló Carbonell FM & Mataix Beneyto JJ. 1995. *Arsénico en el sistema suelo-planta. Significado Ambiental*. Edición electrónica. Editorial Espagrafic. Universidad de Alicante, España. 139 p
- Cervera ML & Montoro R. 1994. Critical review of the atomic spectrometric analysis of arsenic in foods. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 348: 331-340



- Gultz PA, Gupta SK & Schulin R. 2005. Arsenic accumulation of common plants from contaminated soils. *Plant and Soil*, 272: 337–347
- Hüvely A, Buzás I, Borsné Petó J & Tóthné Taskovics Z. 2011. Examination of the arsenic accumulating capacity of lettuce growing in aggregate hydroponics under the influence of arsenic polluted nutrient solution. *Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment*, 3: 122-131
- Krarup, C. 2008. Evolución y proyección del destino de la horticultura. *Agronomía y Forestal*, 34: 32-35
- Kim W, Jung GB, Lee JS, Kim JH, Yun SG & Park RD. 2002. Effect of cadmium and arsenic in soils on growth and availability to vegetables. 17<sup>th</sup> WCSS, Thailand: Paper 1873
- Litter M, Pérez Carrera A, Morgada ME, Ramos O, Quintanilla J & Fernández-Cirelli A. 2008. Formas presentes de arsénico en agua y suelo. En: Bundschuh J, Pérez Carrera A & Litter M (eds), *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. Publicación CYTED, 2: 5-32
- Mitchell P & Barr D. 1995. The nature and significance of public exposure to arsenic: A review of its relevance to southwest England. *Environmental Geochemistry and Health*, 17: 57-82
- Pérez Carrera A & Fernández Cirelli A. 2005. Arsenic concentration in water and bovine milk in Cordoba, Argentina. Preliminary results. *Journal of Dairy Research*, 72: 122–124
- Pérez Carrera A, Pérez Gardiner ML & Fernández Cirelli A. 2010. Presencia de arsénico en tejidos de origen bovino en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *InVet*, 12(1): 59-67

- Rahman F & Naidu R. 2009. The influence of arsenic speciation (AsIII & AsV) and concentration on the growth, uptake and translocation of arsenic in vegetable crops (silverbeet and amaranth): greenhouse study. *Environmental Geochemistry and Health*, 31:115–124
- SAGPyA (Sec. Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación Nación Argentina). Dirección de Producción Agrícola 2004. Sistema de Apoyo Metodológico a los Laboratorios de Análisis de Suelos (SAMLA). Buenos Aires. Argentina.
- Smedley P & Kinniburgh D. 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied Geochemistry*, 17: 517-568
- Soro EM, Livore AB, Liberman CA, Cattaneo FD & Colazo JL. 2011. Determinación de arsénico en grano entero, industrializado y su persistencia luego de su cocción en muestras de arroz de la provincia de Entre Ríos, Corrientes y Santa Fe. 1º Taller “El arsénico como factor limitante en la producción agrícola-ganadera”. Capital Federal, Argentina. Resumen un CD
- Walsh LM & Keeney DR. 1975. Behaviour and phytotoxicity of inorganics arsenicals in soil. P 35-52 En: Woolson EA (ed), *Arsenical Pesticides*. American Chemical Society Symposium, Washington: Vol 7
- Warren GP & Alloway BJ. 2003. Reduction of Arsenic Uptake by Lettuce with Ferrous Sulfate Applied to Contaminated Soil. *Journal of Environmental Quality*, 32: 767–772
- Woolson EA. 1973. Effects of fertiliser materials and combinations on the phytotoxicity, availability and content of arsenic in corn. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 23: 1477-1481