

<http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/showToc>Volumen 5,
Número Especial
I: Aguas
AUGMDOMUS:29-41,
2013. Asociación
de Universidades
Grupo Montevideo
ISSN:1852-2181

Efecto del riego con aguas ricas en arsénico sobre un cultivo de rúcula (*Eruca sativa* L.)

Effects of irrigation with rich-arsenic water on an arugula (*Eruca sativa* L.) crop

Nadia Castillo ^a, María Luisina Franco ^a, María J González ^{b,c*}, Juan M Santillán ^a, Mabel Vázquez ^a, Irma L Botto ^b

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

Key words: arsenic
in water, water
alkalinity, crop yield

ABSTRACT

Large areas of Chaco Pampean plain have aquifers containing high arsenic values. The use of these waters to irrigate horticultural species, in particular, those for fresh consumption could have direct effects on human health as well as on agricultural soils. The aim of this work was to evaluate the arsenic content in the species *Eruca sativa* L (arugula) and also to evaluate the soil when applying irrigation with waters prepared in the laboratory with different arsenic concentration and alkalinity. An assay with DBCA design and factorial arrangement was performed (soil type/alkalinity/As level) employing two types of soils with different textures (sandy loam and silty loam), developing 20 plants per pot. Pots were kept at 90% of field capacity with daily irrigation using water of different alkalinity and arsenic concentration. Three concentrations of arsenic were used (100, 250 and 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$), employing the starting water (not modified by As) as witness. Variables evaluated were vegetal dry matter and arsenic concentration in plant and soil. Irrigation conditions affected the arsenic content in the plant reaching toxicity levels similar to those cited in the literature, particularly in silty loam soil. Although the increase of arsenic concentration is evident in vegetal, it is not possible to establish a reliable relation between the arsenic concentration in the vegetal and the plant yield. Moreover, the arsenic content in the soil also increased with the irrigation showing higher levels in silty loam soil without reaching hazard limits in the first sowing. It is possible to conclude that although the arsenic concentration in fresh vegetal is within limits established by the legislation, its consumption could contribute to the daily intake of arsenic which, in turn, could add to the hazard of drinking water with arsenic.

RESUMEN

Amplias zonas de la planicie Chaco-Pampeana presentan acuíferos de los que se extrae agua que contiene valores elevados de arsénico. 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 también afectar los suelos. Los objetivos del trabajo se encuentran dirigidos a la evaluación del contenido de As en la especie *Eruca sativa* L. (rúcula) y en el suelo de cultivo al aplicar riego con aguas preparadas en el laboratorio con diferente concentración de As y alcalinidad. Se realiza 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 por maceta. Las macetas se mantuvieron al 90% de la capacidad de campo (riegos diarios con dos tipos de agua de diferente alcalinidad) y 3 concentraciones de As (100, 250 y 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$), empleando agua sin modificar como testigo. Las variables evaluadas fueron materia seca vegetal y concentración de As en planta y suelo. Las condiciones de riego afectaron el tenor de As en planta alcanzando niveles de toxicidad similares a los citados en la literatura, particularmente en el suelo franco-limoso. Si bien es evidente el aumento de la concentración de As en vegetal, no es posible establecer una relación fehaciente entre la concentración de As en el vegetal y el rendimiento. El contenido de As en el suelo también aumentó con el riego, observándose mayores niveles en el suelo franco-limoso, sin alcanzar los límites de peligrosidad en una primera siembra. Puede concluirse que 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.

Recibido 19 de octubre de 2012; Aceptado 08 de agosto de 2013

^a Edafología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. mvazquez@agro.unlp.edu.ar, nadiacastillo22@yahoo.com.ar

^b CEQUINOR-CCT La Plata, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. botto@quimica.unlp.edu.ar

^c INREMI-Centro Asociado CICPBA, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Argentina. marijo@inremi.unlp.edu.ar

^a CIMA, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.

* Autor para correspondencia: +54 221 4225648. marijogonza@yahoo.com.ar

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 ($10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$), motivo por el cual se han desarrollado distintos tratamientos para alcanzar esta concentración. 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 también podría estar expuesta a la contaminación 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 $0.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 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 los tejidos de las plantas 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). Si bien, las concentraciones habituales de As en vegetales varían entre 0.08 y $2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Warren & Alloway, 2003), el límite máximo permitido para el contenido de As en frutas y vegetales informado por Mitchell & Barr (1995) es de $1.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en peso fresco, en coincidencia con nuestra legislación nacional (Código Alimentario Argentino, 1985).

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 como arseniato (estado de oxidación +5) 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.

Sobre la base de estudios reportados por distintos autores en regiones afectadas por hidroarsenicismo (Bundschuh & Bhattacharya, 2008; Neidhart et al., 2012), se plantearon los objetivos del presente trabajo dirigidos a analizar el efecto del riego con aguas conteniendo diferentes concentraciones de arsénico sobre el cultivo de la especie *Eruca sativa* L. Se procuró también evaluar la producción de materia seca de la especie hortícola y determinar la concentración de As en la planta y en los suelos donde se realizaron los cultivos.

METODOLOGÍA

La especie vegetal *Eruca sativa* L. (rúcula) ha sido seleccionada debido a su alto potencial de germinación e implantación que posibilita el manejo de un

alto número de plantas por maceta, elevando la posibilidad extractiva de elementos de la solución edáfica. Se trata, además, de una especie hortícola con un aumento importante del área productiva y consumo como producto fresco en los últimos años en nuestro país (Del Pino, 2011).

Los ensayos se efectuaron en suelos de texturas contrastantes, uno franco limoso (Serie Bombeador) al que denominaremos SL en el resto del texto, y otro franco arenoso (Serie Chacabuco) al que denominaremos SA. Los sitios de muestreo fueron seleccionados respectivamente en las localidades de Los Hornos (La Plata) y Norberto de la Riestra (25 de Mayo). Se colectó muestra del horizonte más superficial de cada suelo y se completaron macetas de 2 L de capacidad. La textura se determinó por el método del hidrómetro descrito en SAMLA (SAGPyA, 2004), realizando una dispersión química por calgón y otra física por medio de batidor. La suspensión obtenida se colocó en un

recipiente estandarizado y se realizaron lecturas con un hidrómetro a los 40 segundos para determinar limo y arcilla y a las 2 horas para determinar arcillas. El total de arenas se sacó por diferencia. Las principales propiedades fisicoquímicas de los suelos estudiados determinadas por la metodología descrita en SAMLA (SAGPyA, 2004), se presentan en la Tabla 1.

Para el riego de las macetas se utilizaron 2 tipos de aguas: agua alcalina (AA) colectada en un pozo situado en un establecimiento destinado a producciones hortícolas del partido de La Plata y agua de red (AR) abastecida por la planta potabilizadora de la ciudad de La Plata y obtenida de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP. Ambas aguas son utilizadas con fines de riego en huertas suburbanas de esta localidad. Las determinaciones analíticas se efectuaron en el Laboratorio Habilitado SPA-Reg. N° 017 Res. 640/02 y las características

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
C _t (mg.g ⁻¹)	13.9			26	
N _t (mg.g ⁻¹)	1.68			1.8	
CIC (cmol _c .kg ⁻¹)	14.3	14.3	19.7	14.9	12.7
Ca (cmol _c .kg ⁻¹)	12.1	11.3	14.2	7.8	6.6
Mg (cmol _c .kg ⁻¹)	1.1	2.1	3.5	2.4	3.1
Na (cmol _c .kg ⁻¹)	0.1	0.1	1.0	0.2	0.2
K (cmol _c .kg ⁻¹)	1.2	1.2	0.9	1.6	1.4
Al _{ht} (mg.kg ⁻¹)	0.11			3.1	
P _{Bray & Kurtz} (mg.kg ⁻¹)	11.6			17.5	

Tabla 1. Propiedades de los suelos empleados en ensayos con plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.) regadas con dos aguas diferentes. SL: suelo franco-limoso; SA: suelo franco-arenoso.

Table 1. Soil properties used in *Eruca sativa* L. assays irrigated with two different types of water. SL: silt- loam soil; SA: sandy- loam soil.

hidroquímicas más importantes se muestran en la Tabla 2. La concentración inicial de As fue de $20 \mu\text{g.L}^{-1}$ en la muestra de agua AA y $< 10 \mu\text{g.L}^{-1}$ para AR.

Se hizo uso de las aguas naturales AR y AA sin modificación química para regar las macetas testigo (T). En tanto que, para analizar el efecto del riego con aguas contaminadas, se agregó a las aguas AA y AR la cantidad necesaria de As hasta alcanzar concentraciones de 100, 250 y $500 \mu\text{g.L}^{-1}$ utilizando con esta finalidad solución patrón de $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Cabe aclarar que las concentraciones empleadas en los ensayos son acordes a las encontradas en la región Chacopampeana (Smedley & Kinniburgh, 2002).

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 (6 niveles: 2 niveles de alcalinidad y 4 niveles de As), suelos (2 niveles: SL y SA). Cada condición (T, 100, 250 y $500 \mu\text{g.L}^{-1}$) se realizó por triplicado, es decir se prepararon y regaron 3 macetas por cada tratamiento (en total 24 macetas con agua AA y 24 macetas con agua AR). 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. Para lograr esto último, se realizaba el riego superando la capacidad de campo del suelo en cada maceta, dejando una película de agua por encima del mismo de tal manera que el agua que no era retenida por el suelo se colectaba luego en bandejas de plástico ubicadas por debajo de las macetas. La capacidad de campo de los suelos fue determinada en una olla de Richards siguiendo la metodología de Richards & Weaver (1944).

Parámetro	Límite de cuantificación	AA	AR
pH	0.1	7.9	7.3
Dureza ($\text{mg}_{\text{CaCO}_3} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	196	162
Alcalinidad Total ($\text{mg}_{\text{CaCO}_3} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	404	99
Calcio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	47	35
Magnesio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	19	18
Sodio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	116	145
Potasio ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	11	8
Carbonatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	No contiene	No contiene
Bicarbonatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	492	121
Cloruros ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	20	183
Sulfatos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	1	7	80
Nitratos ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.5	45.2	7.8
Arsénico ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	10	20	<10

Tabla 2. Principales propiedades fisicoquímicas de las aguas originales sin agregado de arsénico. AA: agua alcalina de pozo de un campo de producción hortícola del partido de La Plata. AR: Agua de red de la planta potabilizadora de la ciudad de La Plata.

Table 2. Main physicochemical properties of original irrigation water without arsenic. AA: alkaline groundwater from an horticultural farm in La Plata county. AR: tap water from La Plata city.

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 en Laboratorio CIMA, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP (error $\pm 1 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$). A tal efecto, 1 g de muestra vegetal molida fue tratada con 0.5 g de CaCO_3 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_2 . La solución fue filtrada (filtro de nylon de 0.45 μm) y finalmente se llevó a volumen de 50 ml con H_2O . Merece destacarse que en este trabajo se determinó As sobre toda la muestra vegetal sin diferenciar las raíces, las 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 orgánicas menos tóxicas.

La determinación de As en los suelos luego de la cosecha, se realizó empleando la técnica de absorción atómica con horno de grafito GFAA (EPA, 2007), previa digestión según el método EPA 3050B (Edgell, 1988) (error $\pm 0.1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Para cada condición, se homogenizaron las muestras de suelo de las 3 repeticiones.

Los resultados se evaluaron mediante el análisis de varianza ANOVA y por comparaciones múltiples por el método

del LSD o Diferencia Significativa Mínima ($p < 0.05$) (INFOSTAT, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto del riego en el rendimiento vegetal

En la Tabla 3 se presenta el análisis de la varianza (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.

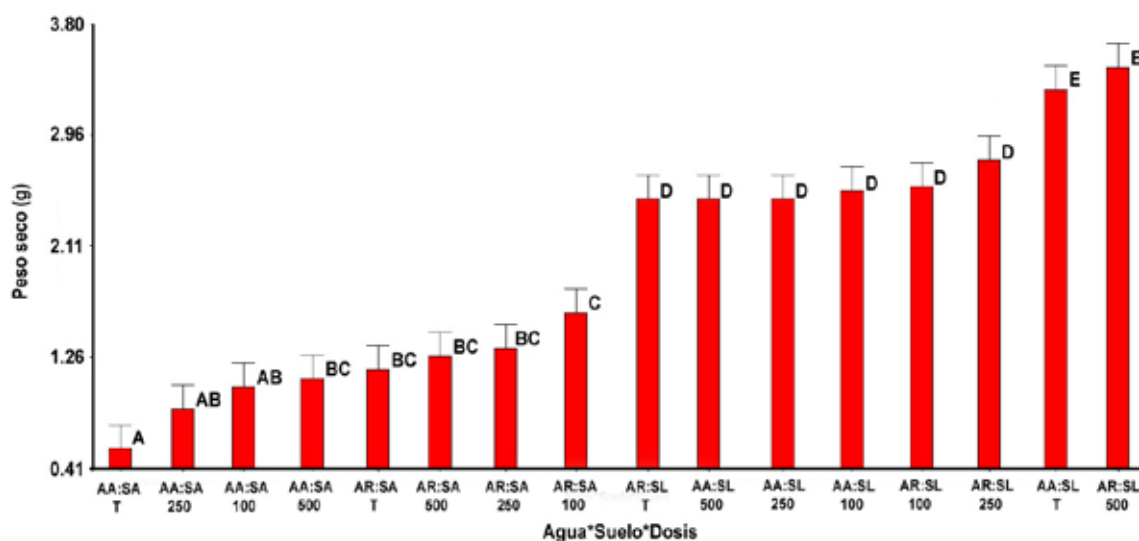
En primer lugar, pudo observarse que las plantas desarrolladas sobre el suelo SA tuvieron un rendimiento considerablemente menor que en SL, independientemente del tipo de agua y la dosis de As aplicada, resultado seguramente atribuido al efecto de otras variables que hacen a la fertilidad edáfica (capacidad de retención de nutrientes, tamaño de partícula, etc.). El tamaño de partículas más finas en el suelo limoso determina una mayor disponibilidad de nutrientes respecto al suelo arenoso, a raíz de una mayor capacidad de adsorción en el primero. A igualdad de contenido de As, el SL mostró un rendimiento promedio 1.6 veces superior al SA. Estos resultados discrepan con lo planteado por Gutlz *et al.* (2005), quienes observaron mayores rendimientos en suelos franco arenosos. Es de destacar que la lámina de riego aplicada y el intervalo de riego fueron ajustados a cada tipo de suelo de acuerdo a su textura. Por

	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			

F.V.: parámetro; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrados mínimos; F: estadístico; p-valor: probabilidad

Tabla 3. Análisis ANVA sobre la variable rendimiento en materia seca para ensayos con plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.) creciendo en dos suelos diferentes y utilizando dos aguas de riego con distinto contenido de As y alcalinidad.

Table 3. ANOVA analysis of dry matter yield for *Eruca sativa* L. assays in two different types of soil irrigated with two types of water with different As content and alkalinity.



AA: agua alcalina, AR: agua de red, SA: suelo arenoso, SL: suelo limoso. Concentración de As en agua de riego: T: testigo, AR <10 µg.L⁻¹, AA 20 µg.L⁻¹; 100: 100 µg.L⁻¹; 250: 250 µg.L⁻¹; 500: 500 µg.L⁻¹

Figura 1. Peso seco (g) al final del ensayo de plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.) que crecieron en dos suelos de textura distinta, regadas con agua de diferente alcalinidad y contenidos de As, con un nivel de significancia p<0.05 según test LSD.

Figure 1. End of assay dry weight (g) of *Eruca sativa* plants grown in two different textured soils irrigated with water with different As content and alkalinity. LSD test for p<0.05.

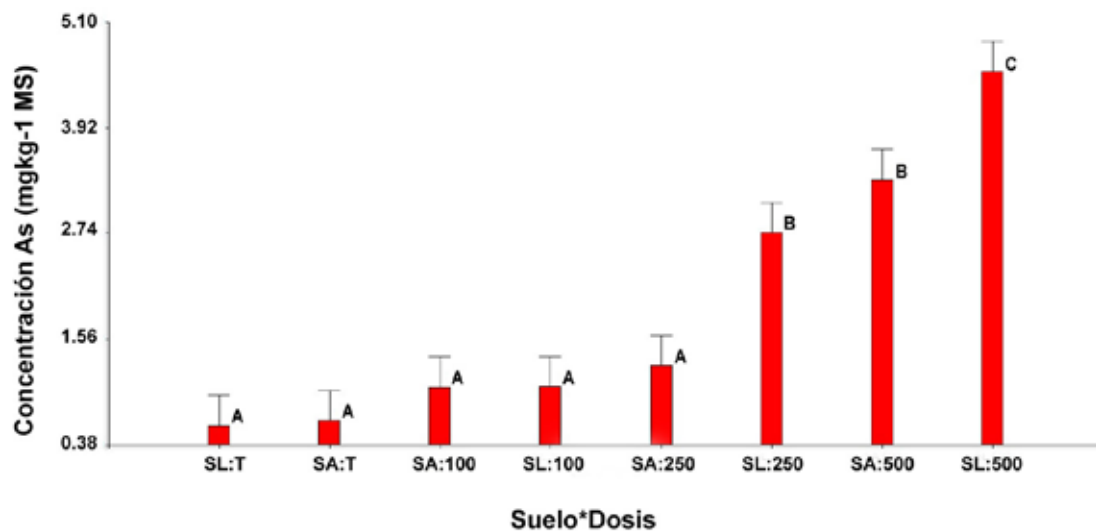
otra parte, para el SA existió una tendencia general al aumento del rendimiento respecto del testigo por el incremento de As, en particular cuando se emplea agua AR. Sin embargo, el efecto de la dosis aplicada es aleatorio. Las diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) de rendimiento en 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

Los valores de concentración de As en materia seca para las distintas condiciones de tratamiento se presentan en la Figura 2, en tanto la Tabla 4 muestra los resultados del análisis ANOVA. 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.



SA: suelo arenoso, SL: suelo limoso. Concentración de As en agua de riego: T: testigo, AR $< 10 \mu\text{g.L}^{-1}$, AA $20 \mu\text{g.L}^{-1}$; 100: $100 \mu\text{g.L}^{-1}$; 250: $250 \mu\text{g.L}^{-1}$; 500: $500 \mu\text{g.L}^{-1}$

Figura 2. Concentración de As (mg.kg^{-1}) en base a peso seco (PS) de plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.) regadas con diferentes concentraciones de As en el agua de riego, con un nivel de significancia $p < 0.05$ según test LSD.

Figure 2. As concentration (mg.kg^{-1}) in dry matter (PS) for *Eruca sativa* L. plants, irrigated with water containing different concentration of arsenic (LSD test for $p < 0.05$).

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			

F.V.: parámetro; SC: suma de cuadrados; gl: grados de libertad; CM: cuadrados mínimos; F: estadístico; p-valor: probabilidad.

Tabla 4. Análisis ANVA sobre la variable concentración de As en materia seca para ensayos con plantas de rúcula (*Eruca sativa* L.) creciendo en dos suelos diferentes y utilizando dos aguas de riego con distinto contenido de As y alcalinidad.

Table 4. ANOVA analysis of As concentration in dry matter for rúcula (*Eruca sativa* L.) assays in two different types of soil using two types of irrigation water with different As content and alkalinity.

Nuestros resultados concuerdan con los hallados por Cao & Ma (2004) y por Kim *et al.* (2002) para la especie *Lactuca sativa* (lechuga) y evidencian una tendencia creciente en la concentración de As en los tejidos vegetales a medida que se incrementa la concentración de As disponible en el agua. No obstante, merece destacarse que estos autores evaluaron el efecto de los suelos contaminados regando con aguas sin arsénico. Asimismo, se comprobó una amplia dispersión de valores entre las repeticiones de la misma condición hallándose el valor más elevado (5.97 mg.kg⁻¹) para la tercera repetición de la condición SL regada con AR con 500 µg.L⁻¹ de As. Estos resultados son coincidentes con Hüvely *et al.* (2011) quienes utilizaron aguas con concentraciones de As en un rango de 25 a 600 µg.L⁻¹ comparables a las empleadas en esta investigación.

Existen diferencias conocidas en cuanto a las concentraciones de As entre los distintos cultivos hortícolas. En estudios realizados en lechugas cultivadas en suelos con alto contenido de As, diferentes autores reportaron valores de 13.78 mg.kg⁻¹ de As en material seca (Warren & Alloway, 2003), 11 mg.kg⁻¹ (Bunzl, 2001) y 32 mg.kg⁻¹ (Cao & Ma, 2004). Por su parte, Hüvely *et al.* (2011) trabajando en cultivo hidropónico de lechuga con una concentración de As en el agua de 400 µg.L⁻¹, encontraron un valor de 2.67 mg.kg⁻¹ en hojas de la misma especie y valores muy superiores en la raíz.

Para el SL se registró un incremento de materia seca de 0.6 mg.kg⁻¹ en el testigo hasta 4.55 mg.kg⁻¹ para dosis de 500 µg.L⁻¹ de As, mientras que para el SA en las mismas condiciones se observó una variación en el rango de 0.65 mg.kg⁻¹ en el testigo a 3.34 mg.kg⁻¹ en los tratamientos

de 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de As. Se demostró así 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 biodisponible en el suelo

Los resultados obtenidos del análisis de As en los suelos para los testigos y los distintos tratamientos luego de la cosecha de las plantas 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

adsortiva de los suelos de textura gruesa.

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 mg.kg^{-1} (Litter *et al.*, 2008), citados para suelos no contaminados y por debajo del nivel guía de 20 mg.kg^{-1} para suelos agrícolas según la Ley Nacional 24051 (SAyDS, 1993).

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 mg.kg^{-1} según el Código Alimentario Argentino),

Concentración de As en agua de riego ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	Tipo de suelo			
	SA		SL	
	Tipo de agua			
	AA	AR	AA	AR
	Concentración de As (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; T: testigo (As AR: $<10 \mu\text{g.L}^{-1}$; As AA: $20 \mu\text{g.L}^{-1}$)

Tabla 5. Valores de As en suelos de diferente textura regados con aguas de diferente alcalinidad y concentración de As (Testigo, 100, 250 y 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de As).

Table 5. Arsenic values in different textured soils irrigated with water with different As content and alkalinity (Control, 100, 250 and 500 $\mu\text{g.L}^{-1}$ As).

dado que la mayor concentración de As en peso seco fue de 5.97 mg.kg^{-1} , valor que corresponde a 0.73 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 mg.kg^{-1} y que toda la ingesta diaria vegetal proviene de esa condición, la cantidad de As consumida sería de 174 μg . De acuerdo con el valor de Ingesta Diaria Tolerable Provisional (IDTP) (Código Alimentario Argentino, 1985), para As inorgánico, de $2 \mu\text{g.kg}^{-1}$ de peso corporal fijado por la OMS y considerando un peso corporal de 70 kg, la ingesta diaria de As permitida sería de 140 μg , 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 ($500 \mu\text{g.L}^{-1}$) supera ampliamente los límites permitidos independientemente de la ingesta de cualquier otro alimento. No obstante, si bien el agua de bebida continua siendo la mayor fuente de ingesta de As por parte del ser humano, su presencia excesiva en los alimentos agravaría esta situación.

CONCLUSIONES

El rendimiento de la especie *Eruca sativa* L. en el suelo franco limoso es comparativamente mayor que en el suelo franco arenoso. Esta diferencia puede asociarse a las características texturales del suelo franco limoso, su menor tamaño de partícula y consecuentemente mayor

capacidad de adsorción de nutrientes aumentan la disponibilidad de los nutrientes. Existe una tendencia general al aumento del rendimiento en el suelo franco arenoso con el incremento de As en el agua de riego, particularmente con agua de red. En el suelo franco limoso este efecto sólo se observa con agua de red y a la mayor dosis de arsénico. Se observa que la concentración de As en vegetal se incrementa 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 el vegetal y el rendimiento. Por otra parte el leve incremento de la concentración de As en suelo en función del aumento de este elemento en el agua de riego no supera las concentraciones consideradas tóxicas. Finalmente, 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 podría 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

- Bundschuh J & Bhattacharya P. 2008. As in soil, plants and food chain issues. P 319-396 En: Bundschuh J & Bhattacharya J (ed) *Natural Arsenic in Groundwater of Latin American*. CRC Press, EEUU
- 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
- Código Alimentario Argentino (CAA). 1985. Productos alimenticios. Artículo 156. En: http://www.anmat.gov.ar/alimentos/codigoo/Capitulo_III.pdf [consultada 13/03/12].
- Del Pino M. 2011. La resistencia sistémica adquirida en el patosistema rúcula (*Eruca sativa*)- Peronospora (*Hyaloperonospora parasitica*). Tesis de Maestría de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo: 128 p
- Edgell K. 1988. USEPA Method Study 37 - SW-846 Method 3050B Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. EPA Contract No. 68-03-3254, November 1988
- 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. *17th WCSS*, Thailand: Paper 1873
- SAyDS (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Argentina). 1993. Ley 24051. En: http://www2.medioambiente.gov.ar/mlegal/residuos/dec831/dec831_anxII_t9.htm [consultada 13/02/12].
- 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 (ed). *Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana*. Publicación CYTED, 2: 5-32
- EPA. 2007. Método EPA 7010. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/7010.pdf>
- 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
- Neidhart H, Norra S, Guo H & Stuben D. 2012. Impact of irrigation with high arsenic burdened groundwater on the soil-plant system: results from a case study in the Inner Mongolia, Cina. *Environmental Pollution*, 163: 8-13
- 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
- Richards L & Weaver LR. 1944. Moisture retention by some irrigated soils as related to soil moisture tension. *Journal of Agricultural Research*, 69: 215-235
- 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

INFOSTAT. 2011. Software INFOSTAT www.infostat.com.ar

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 en 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, American Chemical Society. Washington, Volume 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