

## EFFECTO DEL ARSÉNICO EN EL AGUA DE RIEGO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE PLANTAS DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) EN CONDICIONES DE SUSTRATO E INVERNADERO.

Fidel René Díaz Serrano<sup>1</sup>; Luis Felipe Ramírez Santoyo<sup>1</sup>; Manuel E. Romero Valdez<sup>1</sup>; Irene Cano Rodríguez<sup>2</sup>; Oscar A. Martínez Jaime<sup>1</sup>; Luis A. Parra Negrete<sup>1</sup>; Armando Rucoba García<sup>1</sup>, J. Martín González Elías<sup>1</sup>; Enrique López Rocha<sup>1</sup>; Eduardo García Aguilera<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Profesores del Departamento de Agronomía. División de Ciencias de la Vida. Campus Irapuato-Salamanca. Universidad de Guanajuato. <sup>2</sup>Profesora del Departamento de Ingeniería Química. División de Ciencias Naturales y Exactas. Campus Guanajuato. Universidad de Guanajuato.

### RESUMEN

Se estableció un experimento para determinar el efecto del Arsénico (As) presente en el agua de riego sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa en un sistema con sustrato de lana de roca en condiciones de invernadero. Los tratamientos fueron: T1- solución con agua con As y T2-solución con agua sin arsénico (As). Las plantas de fresa utilizadas fueron de la variedad Camino Real (Día Corto). Las concentraciones de As en el agua de riego a la cual estuvieron expuestas las plantas de fresa en el T1 oscilaron entre 22 y 55  $\mu\text{g l}^{-1}$ , mientras que en el tratamiento T2 oscilaron entre 6 y 11  $\mu\text{g l}^{-1}$ . De acuerdo con las concentraciones de As determinadas en los diversos órganos de las plantas de fresa el orden de acumulación de As fue raíz, corona y hoja. No se detectó As en los frutos de fresa en ninguno de los dos tratamientos. Las pruebas de t indican que las medias de las variables en peso fresco cuantificadas para determinar el crecimiento fueron estadísticamente diferentes. Los pesos frescos de los diversos órganos de las plantas de fresa en el T1 se vieron afectadas entre un 35 y un 49 %. En relación al rendimiento, se efectuaron 18 cortes de fresa y en todos, el T2 mostró mayores rendimientos. El rendimiento total expresado en  $\text{ton ha}^{-1}$  en el T2 fue de 16,369.61  $\text{ton ha}^{-1}$ , mientras que el rendimiento total obtenido en el T1 fue de 9,283.10  $\text{ton ha}^{-1}$ , habiendo una diferencia de 7,082.51  $\text{ton ha}^{-1}$ , representando un 46.23 % menos de rendimiento en el T1.

### INTRODUCCIÓN

En la región del Bajío se tienen algunos pozos de agua para riego con concentraciones de As mayores a las recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el agua para beber, que es de 10  $\mu\text{g l}^{-1}$ . La NOM-127-SSAI-2000, establece una concentración máxima permisible en aguas para riego de 0.025  $\text{mg l}^{-1}$ . Las plantas toman el As en forma de arsenato por medio de un transportador de fosfatos (Tripathi *et al.*, 2007). Una vez que el arsénico penetra al citoplasma, al ser análogo al fosfato, el arsénico reemplaza al fosfato en el ATP, formando complejos inestables ADP-As lo que trae como consecuencia una interrupción en el flujo de energía en las células (Meharg, 1994). Estudios sobre la toxicidad del As en plantas muestran que sufren un estrés considerable cuando se exponen al As, presentando síntomas desde reducción en la tasa fotosintética (Estoeva, 2003/4) e inhibición del crecimiento de la raíz hasta la muerte (Poliouris and Huntchinson, 1991).

En algunos cultivos al utilizar agua de riego con As, algunas partes comestibles de las plantas pueden llegar a acumular concentraciones de As que pueden causar daño a la salud humana, especialmente los cultivos que se consumen por su raíz (Remolacha y rábano por ejemplo). En segundo lugar las espinacas y hierbas y en tercer término las semillas y frutos que contienen los valores más bajos de As (Woolson *et al.*, 1973; Walsh, 1975). En el caso de los

cultivos que se consumen por sus frutos el problema es diferente debido a que en general estos no llegan a acumular concentraciones de As que puedan dañar la salud humana, sin embargo, su efecto es sobre el crecimiento y el rendimiento de los mismos. Se tiene información para el caso de jitomate que concentraciones de As que alcancen 4.5 ppm ( $\text{mg kg}^{-1}$  peso seco) en la planta completa y 0.7 ppm en el fruto disminuyen el rendimiento hasta un 50 %, de tal manera que de antemano el cultivo puede llegar a no ser negocio para el agricultor (Woolson, 1973).

Se conoce que existen diferencias en la absorción de As dependiendo de la especie vegetal, existiendo también una diferencia entre cultivos de invierno y de verano, aún con los mismos niveles de As disponibles para ser absorbidos (Johnson y Hiltbolt, 1969).

El problema de toxicidad de As en el agua de riego es más drástico en el caso de cultivos que se desarrollan en sistemas hidropónicos, que éstos mismos cuando crecen en condiciones de suelo, debido a que el suelo adsorbe ciertas cantidades de As haciéndolo menos disponible para que las raíces de las plantas lo puedan absorber. De acuerdo con Sheppard (1992), el As inorgánico es 5 veces más tóxico en suelos arenosos y limosos (límite  $40 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que en suelos arcillosos (media geométrica  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ ). El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del As en el agua de riego sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo de fresa.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo durante el periodo del 16 de octubre de 2014 al 3 de marzo de 2015, en un invernadero de  $1,000 \text{ m}^2$  ( $24.0 \times 41.6 \text{ m}$ ), con un área útil de  $788.4 \text{ m}^2$ , ocupando un área de  $262.8 \text{ m}^2$  para el tratamiento con arsénico (una nave) y de  $240.9 \text{ m}^2$  (dos naves) para el tratamiento de agua sin arsénico. El invernadero pertenece al Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato, ubicado en la comunidad de "El Copal" en el municipio de Irapuato, Gto., en el km 9 de la carretera Irapuato-León.

El sustrato utilizado fue lana de roca (Agrolan) en su presentación de bolis con cubierta plástica blanca, de dimensiones de  $1.0 \times 0.20 \times 0.07 \text{ m}$ , con un volumen total de 14 litros, colocados sobre bases de polipropileno de color blanco y canaleta plástica para coleccionar los drenajes y sacarlos al exterior del invernadero.

Los bolis se colocaron en una disposición de 12 líneas por nave, en grupos de 3 bolis dejando espacios para pasillos. Se trasplantaron 5 plantas de fresa con raíz desnuda en cada boli a una distancia de 20 cm en una disposición de 3 bolillo, obteniendo una densidad de plantas de 82,191 por ha. Para el riego se instaló un sistema de riego con piquetas con capacidad de entregar 1 l por hora. Las plantas de fresa fueron de la variedad Camino Real (Día Corto).

El equipo de tratamiento para la disminución de la concentración de As en el agua de riego constó de un tanque-filtro de 100 L de capacidad con arena y un tanque-filtro de 100 l de material denominado Titansorb con base en óxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ). El agua del pozo con As primeramente se almacenó en un tanque de 5,000 l. De aquí, por medio de una bomba de 1 HP se pasó por el tanque-filtro de arena y por el tanque-filtro con el material Titansorb. El agua que salió del tanque con bajas concentraciones de As se almacenó en dos tanques de 5,000 l, teniendo una disposición diaria de aproximadamente 10,000 l. Con esta agua se prepararon las soluciones nutritivas madre en el tratamiento de solución nutritiva con agua sin As y se diluyeron con la misma agua para obtener la solución nutritiva final. Para suministrar las soluciones nutritivas a los respectivos tratamientos se tuvieron dos sistemas de fertirrigación; uno para la solución nutritiva con agua con arsénico y el otro para la solución nutritiva con agua sin As, ambos sistemas con 4 tanques de 1,000 l para preparar las soluciones nutritivas madre.

El riego de las plantas de fresa se manejó con el control del pH y la conductividad eléctrica del drenaje, estableciendo una unidad arriba en cada caso para realizar un lavado del sustrato. En general el pH de las soluciones nutritivas suministradas a las plantas de fresa fluctuaron entre 5.0 y 5.5 y una conductividad eléctrica no mayor a  $1 \text{ dS m}^{-1}$ . La frecuencia de los riegos fue entre 30 y 60 minutos por dos minutos, aplicando aproximadamente 30 ml de solución nutritiva por piqueta. El número de riegos fluctuó entre 14 y 16 riegos diarios.

Durante la etapa vegetativa del cultivo se maneja una solución nutritiva base con una relación nitrato : amonio de 60 : 40 en porcentaje y en meq por litro de  $7.2 \text{ NO}_3$ ,  $1.0 \text{ H}_2\text{PO}_4$ , y  $6.8$  de  $\text{SO}_4$ ,  $4.2$  de K,  $4$  de Ca,  $2$  de Mg y  $4.8$  de  $\text{NH}_4$ . y para la solución en la etapa de producción se preparó con una relación en porcentaje de 75 : 25 y en meq  $\text{l}^{-1}$   $6.75$ ,  $1.5 \text{ H}_2\text{PO}_4$ ,  $10.50$  de  $\text{SO}_4$ ,  $12$  de K,  $2.50$  de Ca,  $2.0$  de Mg y  $2.25$  de  $\text{NH}_4$ , utilizando nitrato de calcio, nitrato de potasio, fosfato monopotásico, sulfato de magnesio y sulfato de amonio. Los micronutrientes en ambas soluciones se manejaron en ppm con  $2.8$  ppm Fe (EDTA),  $0.5$  ppm de Mn ( $\text{MnSO}_4$ ),  $0.045$  de Cu ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ),  $0.05$  ppm de Zn ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ),  $0.5$  de B ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) y  $0.001$  de Mo ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

Cada mes durante los meses de Octubre de 2014 a febrero de 2015 se tomaron muestras del agua del pozo y del agua del filtro de Titansorb para determinar las concentraciones de As a las cuales estuvieron expuestas las plantas de fresa. Se determinaron las concentraciones de As en los fertilizantes usados para la preparación de las soluciones nutritivas disolviendo  $1 \text{ g}$  de cada fertilizante en  $1 \text{ l}$  de agua sin arsénico. A partir del mes de diciembre y cada mes durante el experimento se tomaron al azar 20 plantas de fresa para determinar las siguientes variables de crecimiento: peso fresco total de planta, peso fresco de raíces, peso fresco de parte aérea, peso fresco de corona, peso fresco de hojas y peso fresco de frutos por planta. Se determinaron las concentraciones de As en muestras compuestas de raíz, corona, hojas y frutos de las 20 plantas tomadas para cuantificar las variables de crecimiento. La cuantificación de As se hizo en un espectrofotómetro de absorción atómica de flama, Marca Perkin Elmer Analyst 100, acoplado a un generador de hidruros (Perkin Elmer).

En las variables de crecimiento se aplicaron pruebas de "t" para determinar la igualdad o no igualdad entre las medias. Los rendimientos de fresa se cuantificaron en cada uno de los 18 cortes de fresa realizados durante el periodo del experimento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de As en el agua de riego y en fertilizantes.

En el cuadro 1, se presentan los resultados de las concentraciones de As determinadas en las aguas para regar las plantas de fresa en los dos tratamientos en las 5 fechas programadas.

Cuadro 1. Concentración de As en agua con arsénico y agua sin arsénico utilizada para regar plantas de fresa.

Concentración de As ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )		
Fecha de muestreo	T1	T2

Saltillo, Coahuila, México

28, 29 y 30 de Octubre

16/10/2014	55	6
16/11/2014	28	8
16/12/2014	37	11
16/01/2015	22	11
16/02/2015	29	11
Promedio	34.2	9.4

Las concentraciones de As en el agua del pozo, variaron entre 55  $\mu\text{g l}^{-1}$  en octubre de 2014 y 22  $\mu\text{g l}^{-1}$  en enero de 2015, con un promedio de 34.2  $\mu\text{g l}^{-1}$ . El agua que pasó a través del filtro de Titansorb presentó valores entre 6 y 11  $\mu\text{g l}^{-1}$ , con un promedio de 9.4  $\mu\text{g l}^{-1}$ . Por otro lado, las concentraciones de As en tres de los los fertilizantes utilizados para preparar las soluciones nutritivas fueron muy bajas y se presentan en el cuadro 2. En el fosfato monopotásico, el sulfato de magnesio y el sulfato de amonio no se detecto As.

Cuadro 2. Concentraciones de As en algunos fertilizantes usados para preparar las soluciones nutritivas.

Fecha de toma de muestra	Fertilizante	Concentración As ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	Concentración real ( $\mu\text{g l}^{-1}$ )
16/02/2015	H <sub>2</sub> O*	8	0
16/02/2015	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	12	4
16/02/2015	KNO <sub>3</sub>	12	4
16/02/2015	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11	3

\* Agua sin As obtenida del tratamiento de agua del filtro de Titansorb.

Tomando como base la solución nutritiva utilizada en la etapa de producción de las plantas de fresa, en las soluciones madre preparadas en los tanques de 1000 l se adicionaron 2.950 kg de nitrato de calcio, 4.292 kg de nitrato de potasio y 5.44 kg de sulfato de potasio cada uno con una concentración de 4, 4 y 3  $\mu\text{g l}^{-1}$  de As al disolver 1 g de cada fertilizante en 1 l, por lo tanto se aportarían 11800, 17168 y 16320  $\mu\text{g l}^{-1}$  de As respectivamente. Realizando cálculos y sumando las concentraciones de As que cada fertilizante aportó a la solución nutritiva final que recibieron las

plantas de fresa no llegó a representar ni  $1 \mu\text{g l}^{-1}$ , por lo que se concluye que las concentraciones de As en los fertilizantes no influyeron en el crecimiento ni en el rendimiento de las plantas de fresa.

#### Cuantificación de arsénico en plantas.

En el cuadro 3, se presentan las concentraciones de As determinadas en los órganos de las plantas de fresa que crecieron en las soluciones nutritivas con As y sin As.

No se detectó la presencia de As en los ninguno de los órganos de las plantas de fresa antes del trasplante. El orden de acumulación de As en las plantas de fresa en la solución con As pudiera presentarse de la siguiente manera: raíz, corona y hojas de acuerdo con los datos presentados, especialmente si tomamos en consideración los datos correspondientes a la fecha del 16/02/2015. No se detectó As en los frutos de fresa en ninguno de los dos tratamientos. Para el caso del tratamiento de la solución con agua con As en donde se presentaron altas concentraciones de As en raíz y corona principalmente y en hojas en menor concentración, pero no en frutos. Lo anterior indica que no hay translocación o suficiente movimiento del As de las raíces, corona, hojas hacia los frutos de fresa. La planta evita de alguna manera que sus frutos o futuros hijos contengan As que es tóxico, asegurando su supervivencia. Como resultado de este trabajo, se puede establecer que los frutos de fresa tienen baja probabilidad de contener As en concentraciones suficientes para causar problemas de salud en los seres humanos. El U.S. Public Health Service establece que la concentración límite de As para partes comestibles como frutos, cultivos y vegetales, es de  $2.6 \text{ mg kg}^{-1}$  con base en peso fresco. En china se consideran  $0.5 \text{ mg kg}^{-1}$  de As con base en peso fresco como límite de Tolerancia de Arsénico en Alimentos (TLAFC).

Cuadro 3. Concentraciones de As encontradas en los órganos de las plantas de fresa creciendo en solución nutritiva de agua con As (T1) y agua sin As (T2).

Órgano	16/12/2014		16/01/2015		16/02/2014	
	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T1	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T2	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T1	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T2	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T1	As ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). T2
Raíz	2.71	3.30	33.56	2.77	34.02	n.d.
Corona	19.94	n.d.	27.53	n.d.	24.92	n.d.
Hoja	4.88	n.d.	2.98	n.d.	6.72	n.d.

Frutos	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
<b>Total</b>	<b>27.53</b>	<b>3.30</b>	<b>64.07</b>	<b>2.77</b>	<b>65.66</b>	<b>0.00</b>

n.d. = no detectado

Partiendo de un promedio de  $34.2 \mu\text{g l}^{-1}$  de As en el agua de riego en el T1 y tomando en consideración la concentración total de As en las plantas completas de fresa en fecha del 16/02/2015 que fue de  $65.66 \text{ mg kg}^{-1}$  se calcula que la acumulación de As en las plantas de fresa fue de aproximadamente 1919 veces la concentración de As promedio presente en el agua de riego, lo que se puede traducir en una tasa diaria promedio de absorción de As de  $15.99 \mu\text{g l}^{-1}$ , tomando en consideración 120 días transcurridos desde el trasplante hasta el día 16/02/2015, resultando este valor casi la mitad de la concentración promedio de As en el agua de riego.

En los órganos de las plantas de fresa que crecieron en el T2, se observó en general que las concentraciones de As fueron bastante bajas o no se detectaron.

Tomando como referencia los datos de las concentraciones de As en las plantas de fresa en la fecha del 16/02/2015, los porcentajes de acumulación de As en las plantas de fresa fueron de 51.81 % en las raíces, 37.93 % en la corona, 10.23 % en las hojas.

Variables de crecimiento en plantas de fresa.

En el cuadro 4, se presentan los valores promedio del peso fresco de cada uno de los órganos de las plantas de fresa para los dos tratamientos. Desde el primer mes después del trasplante, visualmente hubo una diferencia muy notoria entre los dos tratamientos, mostrando un mayor crecimiento las plantas en el T2. Sin embargo, es necesario señalar que una vez que las plantas comenzaron a florear y se hizo el cambio de la solución nutritiva de la etapa vegetativa a la etapa de producción, las plantas de fresa en el T1 tuvieron un cambio repentino y positivo en su crecimiento. Se encontró información en relación a que el ión arseniato ( $\text{H}_2\text{AsO}_4$ )<sup>-1</sup> compite con el ión fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ )<sup>-1</sup> como sustrato en el sistema de absorción de la especie vegetal *Holcus lanatus*. Se indica que el fosfato es un fuerte inhibidor en la absorción de arseniato, indicando que ambos iones pudieran ser introducidos al interior de la raíz por el mismo transportador, sin embargo, se menciona que se tiene más afinidad por el fosfato que por el arseniato (Meharg y Macnair, 1990). Las pruebas de t muestran que con excepción de las medias de las variables peso fresco de frutos en el mes de enero y febrero, todas las demás medias de las demás variables en los tratamientos de solución con As y solución sin As, fueron diferentes, teniendo mayor peso fresco las medias de las variables en las plantas que crecieron en la solución sin As. Al final del experimento las diferencias en peso fresco expresadas en porcentaje entre los dos tratamientos fueron de: 36.59 % para peso fresco total de planta, 42.5 % para peso fresco de raíces, 35.1 para peso fresco de parte aérea, 39.5 % para peso fresco de corona, 43.35 % para peso fresco hojas y 20.84 % para peso fresco de hojas. Burlo *et al.*, (1999), señalan que las plantas de jitomate acumulan As principalmente en sus raíces (85 % del total de As en la planta), el 14 % en brotes y el 1 % en frutos. La planta de fresa está considerada como moderadamente tolerante al arsénico, así también como el maíz, la remolacha y calabaza. (Walsh *et al.*, 1977) o con una sensibilidad media al As en un grupo junto con la manzana, cereza, algodón, papa, rábano y arándano (Sheppard, 1992).

Cuadro 4. Medias de las variables de crecimiento en peso fresco, valores de t y p >0.05.

		PFTP	PFR	PFFA	PFC	PFH	PFF
Diciembre	T1	29.0	5.59	23.40	2.4	12.71	6.27
	T2	56.22	12.01	43.92	5.05	19.58	12.66
	t	-4.5823	-4.09698	-4.5583	-4.4094	-3.7842	-2.6314
	p>	0.00004	0.0003759	0.00005	0.000082	0.00053	0.012323
Enero	T1			42.68	3.74	10.78	23.37
	T2			58.58	8.24	21.58	22.06
	t			-3.2039	-4.8492	-4.8777	0.3816
	p>			0.00274	0.000052	0.000019	0.704878
Febrero	T1	76.95	13.93	63.03	5.39	20.83	29.89
	T2	121.38	24.25	97.13	8.91	36.78	37.765
	t	-2.7534	-3.993	-2.281	-2.83525	-3.3215	-0.814632
	p>	0.00899	0.0002883	0.02822	0.008103	0.002518	0.420359

PFTP= peso fresco total de planta; PFR = peso fresco de raíz; PFFA = peso fresco de parte aérea; PFC = pesos fresco de corona; PFH = peso fresco de hojas; PFF = peso fresco de frutos.

Rendimiento de frutos de fresa.

En la figura 1, se presentan los rendimientos de frutos de fresa expresados en kg ha<sup>-1</sup>. En todos los cortes de fresa los rendimientos en el T1 fueron menores a los correspondientes del tratamiento 2. Uno de los efectos del As sobre las plantas de fresa en el T1 fue el retraso de 10 días para realizar el primer corte en relación con el primer corte realizado en el T2. El rendimiento

total de frutos de fresa en el T1 fue de 9287.10 kg ha<sup>-1</sup> mientras que el T2 presentó un rendimiento total de 16,369.61 kg ha<sup>-1</sup>, teniendo una diferencia en rendimiento de 7082.51 kg ha<sup>-1</sup> lo que representa un 43.26 % menos rendimiento en el T1 con respecto al T2. Se tiene información para el caso de jitomate que concentraciones de As que alcancen 4.5 ppm (mg kg<sup>-1</sup> peso seco) disminuyen el rendimiento hasta un 50 %, de tal manera que de antemano el cultivo puede llegar a no ser negocio para el agricultor (Woolson, 1973). Es importante mencionar que a diferencia de la planta de jitomate, la planta de fresa tiene la corona muy cercana a la raíz, órgano que funciona como tallo en las plantas de fresa, presentando entre la raíz y la corona un porcentaje de acumulación de As de 91.91 %, hecho que sin duda influyó en el crecimiento y en el rendimiento de las plantas de fresa. En las plantas de fresa las concentraciones de As en la planta completa fueron muy superiores a las reportadas para jitomate para producir una disminución del rendimiento de 50 %. Para jitomate se reportan 4.6 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que en fresa se llegaron a cuantificar concentraciones totales en planta entre 45.66 y 66.46 mg kg<sup>-1</sup> con base en peso seco, siendo aproximadamente 14 veces superior la concentración de As encontrada en las plantas de fresa que las reportadas para el caso del jitomate.

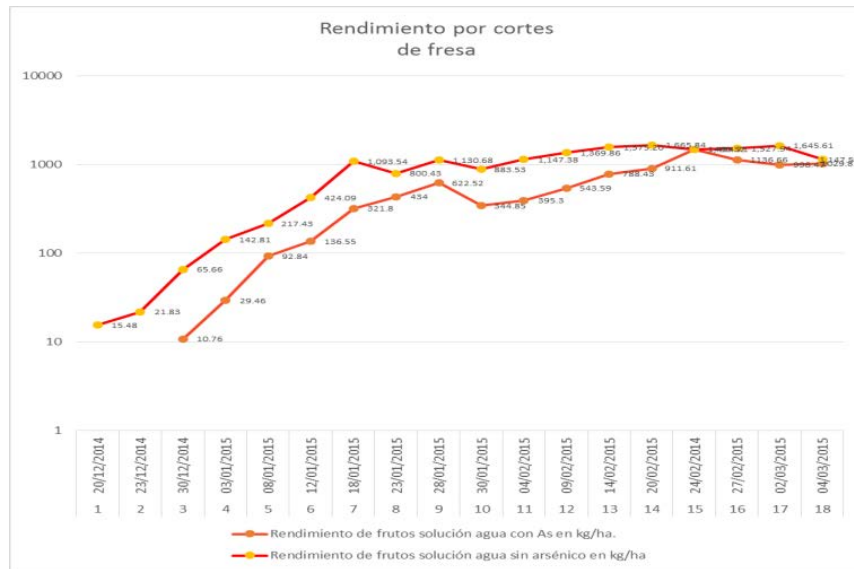


Figura 1. Rendimiento de fresa en 18 cortes.

## CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de As cuantificadas en el agua para riego directa del pozo fluctuaron entre 22 y 55 µg l<sup>-1</sup>.
2. El agua de riego utilizada para preparar las soluciones nutritivas en el tratamiento de agua sin arsénico fluctuó entre 6 y 11 µg l<sup>-1</sup>.
3. Los fertilizantes utilizados para preparar las soluciones nutritivas para las plantas de fresa no aportaron concentraciones significativas de As a las mismas.



4. Las plantas de fresa que crecieron en la solución preparado con agua con As acumularon una concentración total de  $65.66 \text{ mg l}^{-1}$ , mientras que las que crecieron en la solución preparada con agua con bajas concentraciones de As acumularon concentraciones muy bajas de arsénico o no fueron detectadas.
5. Los porcentajes de acumulación de As en las plantas de fresa fueron de 51.81 % en las raíces, 37.93 % en la corona, 10.23 % en las hojas.
6. Al final del experimento las diferencias en peso fresco expresadas en porcentaje entre los dos tratamientos fueron de: 36.59 % para peso fresco total de planta, 42.5 % para peso fresco de raíces, 35.1 para peso fresco de parte aérea, 39.5 % para peso fresco de corona, 43.35 % para peso fresco hojas y 20.84 % para peso fresco de hojas.
7. T1 fue de  $9287.10 \text{ kg ha}^{-1}$  mientras que el T2 presentó un rendimiento total de  $16,369.61 \text{ kg ha}^{-1}$ , teniendo una diferencia en rendimiento de  $7082.51 \text{ kg ha}^{-1}$  lo que representa un 43.26 % menos rendimiento en el T1 con respecto al T2

### Literatura citada

- Meharg, A. A. and Macnair, M.R. (1990). An altered phosphate uptake system in arsenate-tolerant *Holcus lanatus* L. New Phytologist. 116. 29-35.
- Sheppard, S.C. 1992. Summary of phytotoxic levels of soil arsenic. Water, Air and Soil Pollution. 64: 539-550.
- Walsh, L.M., Summer, M. E., and Keeney, D. R. Environmental Health Perspectives. 19: 67-71.