

EFFECTOS DEL As EN EL COMPORTAMIENTO VEGETAL DE *LYCOPERSICUM ESCULENTUM* MILL. RELACION DEL As EN HOJAS Y FRUTOS CON PARAMETROS FISICOS

F. Burló, A. Carbonell y J. Mataix

*Dpto. de Agroquímica, Bioquímica y Química Analítica. Facultad de Ciencias.
Universidad de Alicante. Apto. 99. 03080. Alicante.*

RESUMEN

En el presente trabajo hemos estudiado los procesos de absorción, distribución y acumulación del As en hojas y frutos de *Lycopersicum esculentum* Mill, variedad Marmande, a lo largo de su crecimiento, fructificación y maduración.

Para su desarrollo se eligió el cultivo hidropónico, por permitir optimizar las condiciones nutricionales. Se trabajó con 3 niveles de As en disolución 2, 5 y 10 mg L⁻¹ (adicionados como arsenito sódico) y las correspondientes plantas de referencia.

Los resultados obtenidos demuestran que: 1) El nivel de 10 mg L⁻¹ de As en disolución es claramente tóxico, 2) La concentración de As en hojas parece ser un fiel reflejo de la actividad radicular, 3) Los niveles de As en fruto responden a los niveles foliares de dicho elemento, 4) Tanto los valores de los parámetros físicos como la producción son función de la concentración de As en la parte aérea de la planta (hojas y frutos).

Palabras clave: Arsénico. Arsenito. Tomate. Hidropónico. Toxicidad y contaminación.

SUMMARY

EFFECTS OF As IN THE VEGETAL BEHAVIOUR OF *LYCOPERSICUM ESCULENTUM* MILL. RELATIONSHIP BETWEEN As IN LEAVES AND FRUITS AND PHYSICAL PARAMETERS

In this work, we studied the different processes of absorption, distribution and accumulation of As in *Lycopersicum esculentum* Mill's leaves and fruits, Marmande variety, throughout their growth, yielding and maturing.

For its development, we chosen hydroponic culture, since it allowed us to optimize nutritional conditions. We have worked with three levels of arsenic in solution: 2, 5 and 10 mg L⁻¹ (added as sodic arsenite) and the plants mentioned.

The results show that: 1) The level of 10 ppm As solution is clearly toxic, 2) The As concentration in the leaves is a faithful reflection of root activity, 3) The As level in the fruits clearly respond to the foliar levels of such element, 4) Both physical parameter figures and production are a function of As concentration in the above ground part of the plant (leaves and fruits).

Key words: Arsenic. Arsenite. Tomato. Hydroponic. Toxicity and contamination.

INTRODUCCION

Los derivados orgánicos del arsénico han sido utilizados recientemente como fungicidas e insecticidas. Desde el punto de vista de su toxicidad, los compuestos arsenicales más importantes son los trivalentes (AsO_2^-) y sus derivados (Eichiro, 1985). Es precisamente en función de esta toxicidad como se plantea el empleo del Arsenito Sódico como plaguicida.

Todos los arsenicales son fuertemente adsorbidos a la superficie radicular. El transporte de arsenito desde las raíces está limitado por su alta toxicidad para las membranas radiculares (Sachs y Michaels, 1971), pues reacciona con los grupos sulfhidrúlicos de las proteínas (Speer, 1973; Webb, 1966) causando disrupción de las funciones de la raíz si la aplicación es vía suelo (Isensee *et al.*, 1971; Orwick *et al.*, 1976) o necrosis foliar si la aplicación es vía foliar.

Existen diferencias en la toma de As y en la variación de las concentraciones de dicho elemento en planta, según la especie vegetal e incluso según se trate de cultivos de invierno o de verano (Johnson y Hiltbold, 1969).

En el suelo, un nivel de As extraíble de 5 mg kg^{-1} es tóxico para plantas sensibles, mientras que uno de

50 mg kg^{-1} , en plantas menos sensibles, puede reducir el crecimiento en más de un 50 % (Lepp, 1981). Siendo para dicha reducción los niveles de este elemento de 0.7 mg kg^{-1} en frutos de tomate, 10 mg kg^{-1} en hojas de espinaca y más de 76 mg kg^{-1} en rábanos (Woolson y Kearney, 1973).

Parece que los niveles de arsénico más altos en planta se encuentran en las raíces, con valores intermedios en las partes altas vegetativas, conteniendo los niveles más bajos los frutos y semillas comestibles (Walsh y Keeney, 1975).

Para *Lycopersicum esculentum* Mill, los niveles de As en cada órgano de la planta varían dentro de los siguientes límites (Lederer y Fensterheim, 1983):

—En suelos sin contaminar: hojas entre 0.1 y 7 mg kg^{-1} (peso seco), alrededor de 0.3 mg kg^{-1} en raíces y entre 0.01 y 3 mg kg^{-1} en frutos.

—Y en suelos contaminados: hojas entre 6 y 330 mg kg^{-1} , raíces entre 13 y 1700 mg kg^{-1} y en frutos entre 0.2 y 1.4 mg kg^{-1} .

El límite para el contenido de As en frutos y vegetales según el U. S. Public Health Service es de 2.6 mg kg^{-1} en peso fresco.

MATERIAL Y METODOS

En primer lugar, se prepararon los semilleros, en forma de cultivo hidropónico (bandejas). Se sembró un número de semillas suficiente para que al realizarse el trasplante, todas

las plántulas fuesen similares en cuanto a tamaño.

Una vez las plántulas alcanzaron una altura adecuada, aproximadamente 15 cm , se trasplantaron a

tiestos hidropónicos de base cuadrada de 20 cm de lado y 21 cm de altura, los cuales poseen un vertedor superior y una ventana en la parte inferior, que permite controlar el nivel de la disolución. Como sustrato inerte se utilizó lava volcánica.

Se dispusieron un total de 24 tiestos y 2 plantas por tiesto (48 plantas en total). Se trabajó con cuatro grupos de 12 plantas cada uno. Estos grupos se corresponden con tres niveles de As: 2, 5 y 10 mg L⁻¹ (adicionado a la disolución en forma de arsenito sódico), y un conjunto de plantas de referencia (Blancos).

La renovación de la disolución nutritiva se realizó semanalmente.

El muestreo se realizó en tres momentos fenológicos de la planta de suma relevancia: inicio de floración, inicio de fructificación y maduración de los frutos.

Por cada nivel se eligieron 4 plantas, cada una de las cuales se separó en raíz, tallo y ramas, hojas, y frutos; tratándose independientemente cada una de las cuatro fracciones anteriores.

El procedimiento seguido para cada fracción fue: lavado, secado, pulverización y mineralización por vía seca (calcinación en mufla).

La determinación de As se llevó a

cabo mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con generación de hidruros. El espectrofotómetro utilizado fue un Perkin Elmer (PE) Mod. 2100, dotado con un accesorio generador de hidruros (PE) MHS-10.

En la citada técnica existen dos factores de suma importancia (Cervera, 1990): la concentración del ácido en disolución y la reducción del As (V) a As (III). Para optimizar ambos parámetros se realizaron una serie de ensayos previos cuyos resultados nos mostraron que la concentración de ácido (HCl) que nos proporcionaba una mayor lectura y un mayor rango de linealidad era de 0.6 N; y que para que la reducción del arsénico pentavalente al trivalente (paso necesario previamente a la formación de la arsina) se realizase completamente era necesario adicionar 1 mL de KI al 2 %, dejando transcurrir un tiempo de reacción de al menos 5 minutos.

Para la transformación de absorbancias a concentraciones se utilizó la altura de pico.

Las condiciones experimentales de trabajo fueron las siguientes: longitud de onda 193.7 nm, rendija 0.7 H, llama aire-acetileno con caudales de 8.0 y 2.5 L min⁻¹ respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSION

Hojas

En la Tabla 1, aparecen concentraciones de As expresadas en mg kg⁻¹ materia seca. Siendo los valores, media de cuatro plantas distintas (lo cual justifica algunos valores relativamente altos de la desviación es-

tándar), de cada una de las cuales se han realizado tres repeticiones.

De la tabla anteriormente citada, podemos extraer una serie de observaciones que se resumen a continuación:

—En primer lugar, observando la

TABLA 1

Evolución de la concentración de arsénico en hoja.

	1. ^a TOMA		2. ^a TOMA		3. ^a TOMA	
	C _{As}	S	C _{As}	S	C _{As}	S
BLANCOS	1.67	0.01	0.89	0.01	1.49	0.05
2 mg L ⁻¹	2.15	0.17	2.85	0.07	24.29	1.56
5 mg L ⁻¹	5.72	0.12	23.13	1.13	27.08	0.08
10 mg L ⁻¹	6.91	0.52	15.95	0.01	18.37	0.20

C_{As}: Concentración de As en mg kg⁻¹ materia seca.

S: Desviación estándar.

evolución con el tiempo de un mismo nivel, se detecta un aumento continuado en la concentración de As en todos los niveles (excepto en el caso de los blancos, pero eso puede deberse a un efecto de "dilución" en el periodo comprendido entre la 1.^a y la 2.^a toma).

—Si definimos el término acumulación como la diferencia entre las concentraciones de As en dos tomas consecutivas, podemos decir que a mayor concentración de arsénico en disolución se necesita un tiempo menor para alcanzar una "acumulación máxima".

—Analizando cada toma individualmente, se observa que la primera sigue un orden lógico, es decir, a mayor concentración de As en disolución, mayor concentración de dicho elemento en hojas. Mientras que en las dos tomas restantes, el citado orden se cumple hasta alcanzar el nivel de 10 mg L⁻¹ de As donde la secuencia se invierte.

Las anteriores observaciones y los

resultados obtenidos demuestran que:

El nivel de As en hojas parece ser un fiel reflejo de la actividad radicular. Esta afirmación anterior se fundamenta en el hecho de que el transporte de arsenito desde las raíces está limitado por su alta toxicidad para las membranas radiculares (Lederer y Fensterheim, 1983). Por tanto, mientras que el nivel de arsenito en las raíces no es excesivamente alto (tóxico), se da un transporte hacia las hojas, de forma que el nivel foliar va aumentando con el tiempo de cultivo. Pero una vez alcanzado un nivel realmente tóxico para la raíz, los daños se generalizan a todas las células radiculares, causando disrupciones en sus funciones y por tanto, el transporte hacia las hojas se restringe grandemente, de forma que los niveles de As foliares se estabilizan; e incluso puede llegar a disminuir si el balance entre la translocación hacia las hojas y la retranslocación hacia las raíces (posterior exudación a la disolución nutritiva) es favorable al segundo proceso.

Este fenómeno ha sido observado entre otros autores por Wauchope y Street (1987).

Basándonos en los anteriores resultados podemos afirmar que el nivel de 10 mg L^{-1} de As en la disolución nutritiva, es claramente tóxico para nuestras plantas. Este hecho se refleja en la clara limitación de la translocación de As hacia las hojas.

En cuanto al tiempo necesario para que se alcance ese nivel altamente tóxico para las raíces, es evidente que este tiempo disminuye al aumentar la concentración de As en disolución, es decir, depende básicamente de la disponibilidad de As para la planta.

Frutos

En la Tabla 2 aparecen concentraciones de As expresadas en mg kg^{-1} materia seca. Siendo los valores, media de cuatro plantas, de cada una de las cuales se ha realizado tres repeticiones.

Observando la anterior tabla y su homóloga para hojas, nos damos cuenta de que la evolución de las

concentraciones de As son completamente equivalentes. Por tanto, podemos concluir diciendo que los niveles de As en frutos responden claramente a los niveles de As en hojas.

Una observación que cabe realizar, es que los niveles de As finales en fruto son bastante similares, y este hecho parece indicar que la concentración de As en frutos maduros es independiente de la cantidad de As en disolución, siempre y cuando la cantidad de As en disolución sea suficientemente grande como para alcanzar ese nivel. Aunque este hecho no conlleva que la producción y calidad de los frutos sea similar.

Relación entre las concentraciones de arsénico y los parámetros físicos

Hemos observado una clara relación entre la evolución de los diversos parámetros físicos estudiados y el nivel de As en la disolución nutritiva.

En la figura 1 se observa claramente como al aumentar la concentración de As en disolución se

TABLA 2

Evolución de la concentración de arsénico en fruto.

	2. ^a TOMA		3. ^a TOMA	
	C _{As}	S	C _{As}	S
BLANCOS	0.065	0.002	0.177	0.033
2 mg L ⁻¹	0.138	0.010	0.474	0.037
5 mg L ⁻¹	0.452	0.028	0.496	0.002
10 mg L ⁻¹	0.341	0.001	0.428	0.003

C_{As}: Concentración de As en mg kg^{-1} materia seca.

S: Desviación estándar.

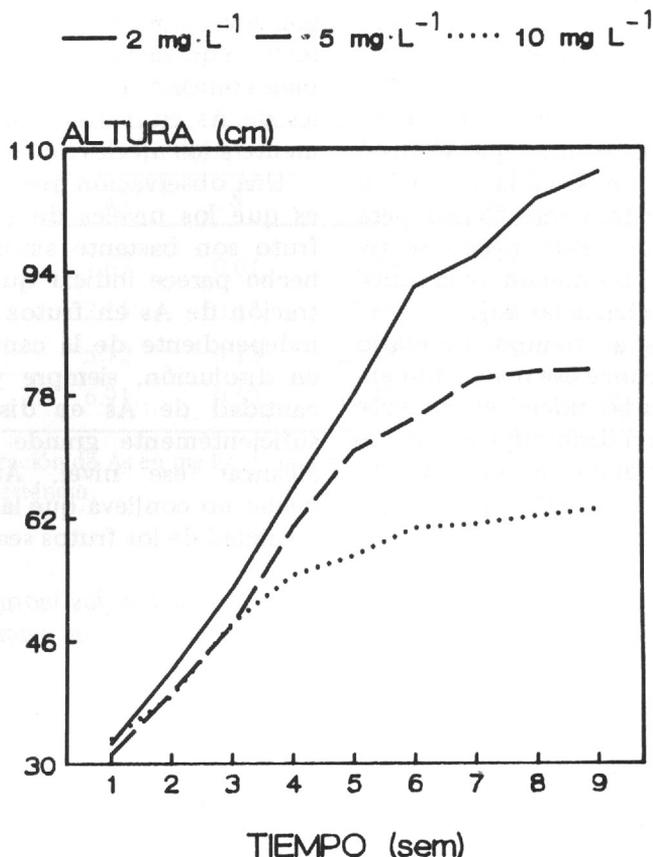


FIG. 1.—Evolución de la altura (cm) con el tiempo de cultivo (semanas).

produce un menor crecimiento de las plantas y además el tiempo necesario para que la altura de la planta se estabilice (detención del crecimiento) disminuye. El tiempo necesario para que las alturas de las plantas correspondientes al nivel de 10 mg L⁻¹ se estabilice es de aproximadamente 4 semanas, pasando a 7 para el nivel de 5 mg L⁻¹ y a 9 para las plantas de 2 mg L⁻¹.

Se ha apreciado que al aumentar la concentración de As en la parte aérea de la planta (hojas y frutos),

disminuyen los valores de los parámetros físicos. Esta afirmación es válida para las plantas de 0, 2 y 5 mg L⁻¹ de As en disolución. Mientras que para el nivel de 10 mg L⁻¹, el factor limitante de los parámetros físicos es su alta toxicidad para las raíces y la restricción en la translocación de algunos nutrientes que dicha toxicidad conlleva. Por tanto, las plantas correspondientes a este nivel poseen parámetros físicos bastante inferiores a las plantas del resto de niveles.

El hecho de que el factor limitante, en el último nivel (10 mg L^{-1} de As), pase a ser la toxicidad para la raíz, no indica que los niveles foliares de As no influyan, sino que sus efectos pasan a un segundo plano al ser enmascarados por los mayores efectos del citado fenómeno.

En las figuras 2 y 3 hemos representado la evolución con el tiempo del peso húmedo de hojas y de frutos, respectivamente. En ellas se aprecia con gran claridad, el efecto negativo del aumento en el nivel de As en la disolución del suelo sobre el desarrollo de la planta. La masa fo-

liar sufre una reducción máxima del 76.8 % (respecto de la correspondiente a los blancos) en el nivel máximo de arsénico de la 3.^a toma. Además, en la producción representada por el peso húmedo de frutos, ocurre un fenómeno similar, siendo en este caso el descenso de un 79.6 % en el mismo nivel y toma. Esta disminución en el rendimiento puede explicarse analizando la Tabla 1 (evolución de la concentración de As en hojas con el tiempo), y más concretamente la columna correspondiente a la primera toma (inicio de la floración), donde se observa que al aumen-

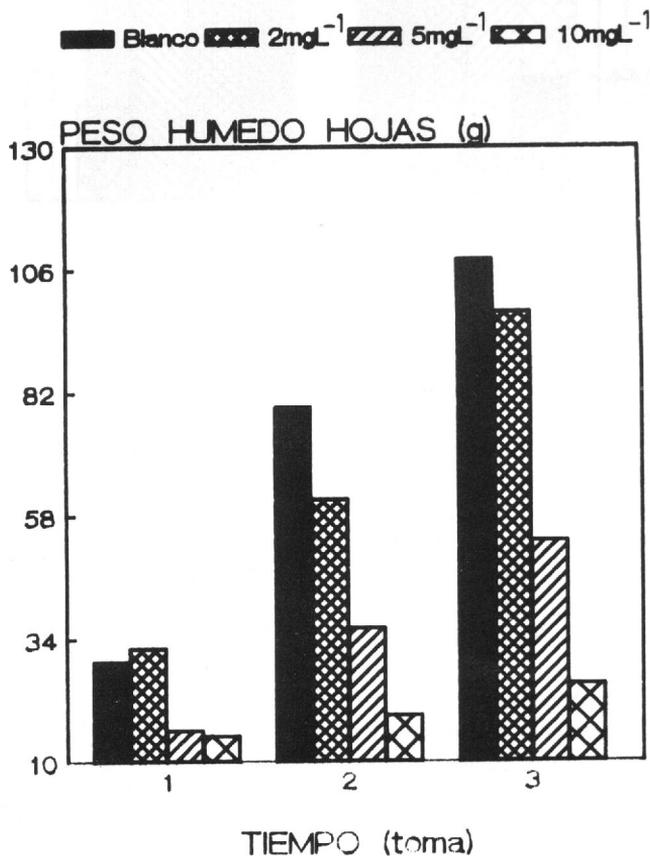


FIG. 2.—Evolución del peso húmedo de hojas (g) con el tiempo de cultivo (tomas).

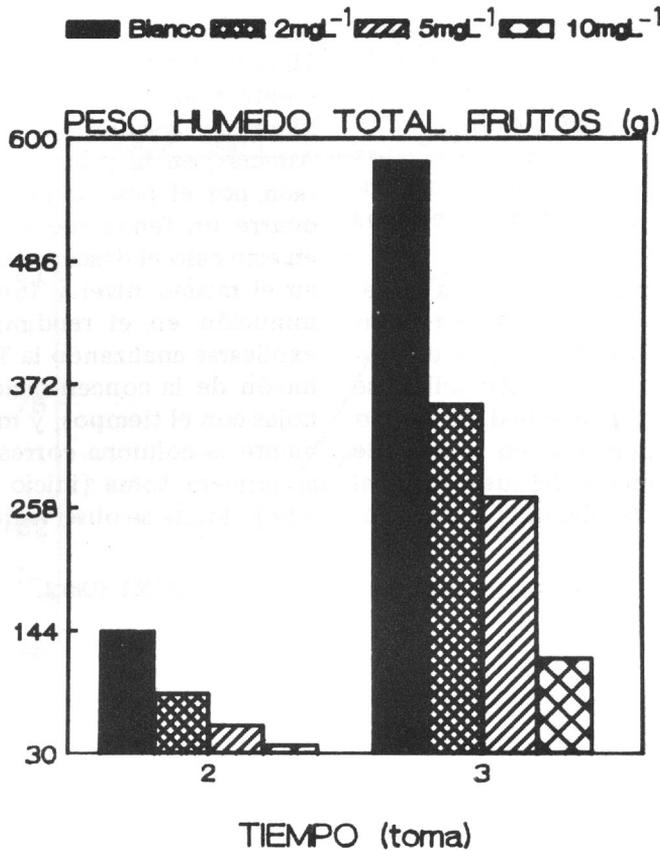


FIG. 3.—Evolución del peso húmedo total de frutos (g) con el tiempo de cultivo (tomadas).

tar la concentración inicial de As en disolución aumenta la concentración de dicho elemento en hoja, y por tanto, es de esperar un aumento en la esterilización de las plantas/flores (Richard *et al.*, 1981). Dicho fenómeno explica el ya citado descenso en la producción.

Un parámetro que se relaciona con la calidad del fruto es el peso medio húmedo de fruto (peso total frutos/número de frutos), que ha sido representada en la figura 4 frente al tiempo, apreciándose diferencias menos acusadas, que las correspondientes a los parámetros anteriores,

entre los distintos niveles. Siendo la reducción en la calidad del nivel de 10 mg L⁻¹ de As en la 3.^a toma de un 33.8 % respecto de las plantas de referencia.

Esta mayor similitud en la calidad del fruto (niveles de 2, 5 y 10 mg L⁻¹ de As) puede deberse a las reducidas diferencias que se aprecian en las concentraciones de As en los frutos correspondientes a esos mismos niveles en la última toma (Tabla 2).

Otros parámetros estudiados han sido: diámetro del tallo, longitud del tallo, longitud de las ramas, peso hú-

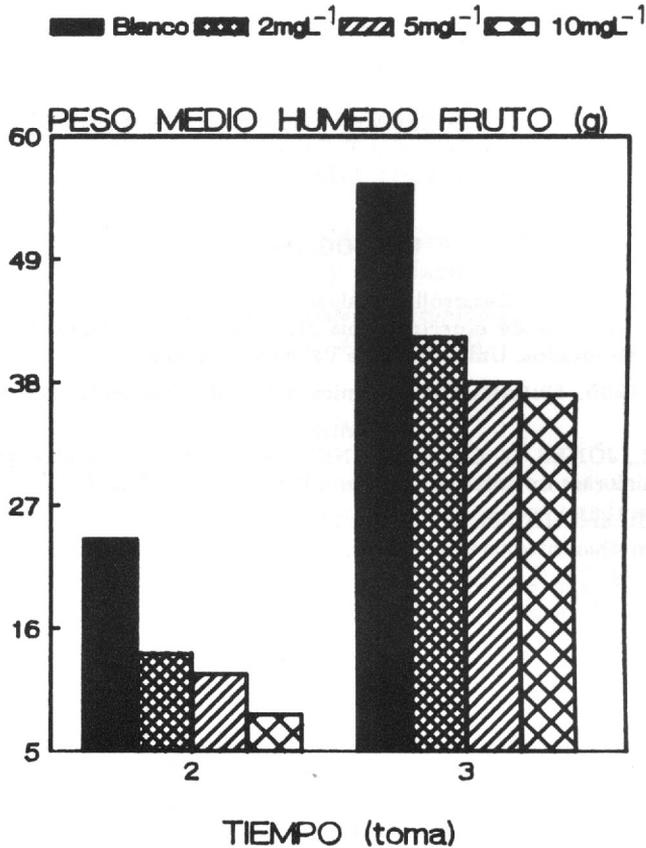


FIG. 4.—Evolución del peso medio húmedo de fruto (g) con el tiempo de cultivo (tomos).

medo y seco de tallos y ramas (conjuntamente), número de frutos, diámetros longitudinales y transversales

de los frutos; habiéndose observado evoluciones similares a las arriba mencionadas.

CONCLUSIONES

El nivel de 10 mg L⁻¹ de As en la disolución nutritiva es claramente tóxico para las plantas estudiadas; ya que produce considerables deterioros en la raíz, restringiendo de esta forma la translocación de As hacia las hojas.

En segundo lugar, se observa que el nivel de As en hojas parece ser función de la actividad radicular, de modo que si aumenta la toxicidad de dicho elemento para la raíz, se restringe su translocación hacia las hojas, y por tanto se estabilizan sus

niveles foliares. Además, los niveles de As en frutos responden a los niveles foliares.

Por último, apreciamos como un

aumento en el contenido de As en la parte aérea de la planta, reduce tanto los valores de los parámetros físicos como la producción.

BIBLIOGRAFIA

- CERVERA, M. L., 1990. Desarrollo, evaluación y aplicación de metodologías analíticas mediante técnicas de espectroscopia atómica para la determinación de arsénico en alimentos elaborados. Universidad de Valencia. Valencia.
- EICHIRO, O., 1985. Química Bioinorgánica del medio ambiente. Ed. Reverté. Barcelona.
- ISENSEE, A. R., JONES, G. E. and TURNER, B. C., 1971. Root absorption and translocation of picloram by oats and soybeans. *Weed Sci.*, 19: 727-731.
- JOHNSON, L. R. and HILTBOLD, A. E., 1969. Arsenic content of soil and crops following use of methanearsonate herbicides. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33: 279-282.
- LEDERER, W. H. and FENSTERHEIM, R. J., 1983. Arsenic: Industrial, Biomedical, Environmental Perspectives. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series. New York. Cincinnati. Toronto. London. Melbourne.
- LEPP, N. W., 1981. Effect of heavy metals. Pollution on Plants. Vol. I. Effects of trace metal on Plant Function. Applied Science Publishers. London and New Jersey.
- ORWICK, P. L., SCHRIEBER, M. M. and HODGES, T. K., 1976. Adsorption and efflux of chloro-s-triazines by *Setaria* roots. *Weed Res.*, 16: 139-144.
- RICHARD, E. P., HURST, H. R. and WAUCHOPE, R. D., 1981. Effects of Simulated MSMA Drift Rice (*Oryza sativa*) Growth and Yield. *Weed Science*, 22, 3: 303-308.
- SACHS, R. M. and MICHAELS, J. L., 1971. Comparative phytotoxicity among four arsenical herbicides. Webb, 1958. *Enzymes*. Academic Press. New York.
- SPEER, H. L., 1973. The effect of arsenate and other inhibitors on early events during the germination of lettuce seeds (*Lactuca sativa* L.). *Plant Physiol.*, 52: 129-133.
- WALSH, L. M. and KEENEY, D. R., 1975. Behaviour and phytotoxicity of inorganics arsenicals in soil. In: *Arsenical Pesticides* (E. A. Woolson (Ed.)). American Chemical Society Symposium Vol 7. American Chemical Society. Washington. 35-52.
- WAUCHOPE, R. D. and STREET, J. E., 1987. Fate of a Watersoluble Herbicide Spray on Foliage. Part II. Absorption and Dissipation of Foliar MSMA Deposits: Mathematical Modelling. *Pest. Sci.*, 19: 253-263.
- WEBB, J. L., 1966. *Enzymes and Metabolic Inhibitor*, III. Academic Press. New York. N. Y.
- WOOLSON, E. A. and KEARNEY, P. C., 1973. Persistence and reactions of ¹⁴C-cacodylic acid in soils. *Environ. Sci. Technol.*, 7: 47-50.

Recibido: 2-3-92.
Aceptado: 13-7-92.