

Empleo de aguas contaminadas en cobre  
y cadmio para riego de trigo, bajo condiciones de  
invernadero

Sergio P. González M.  
Ing. Agrónomo M.Sc.

El uso de aguas contaminadas en riego representa, en la actualidad un factor de real riesgo para la actividad agrícola tanto por potenciales efectos depresivos sobre la producción como por la posibilidad de obtener alimentos contaminados, dañinos para la salud humana.

Entre la gran diversidad de agentes contaminantes susceptibles de ser incorporados a las aguas de riego, los metales pesados representan un grupo importante debido principalmente a que su toxicidad se manifiesta a concentraciones relativamente bajas, de difícil detección bajo técnicas normales de laboratorio. Esto último, en consecuencia, hace difícil las tareas de control.

Para el presente trabajo, se eligieron dos metales pesados, cobre y cadmio, que grafican dos situaciones extremas dentro del grupo de los metales pesados. En primer lugar, el Cd es un metal no esencial para plantas y animales, en tanto que el cobre ha sido definido como esencial para vida (Allaway, 1968; Antonovics, et al, 1971; Purves, 1975); en segundo término, en soluciones acuosas, el cadmio actúa como un catión "perfecto" presentándose como  $Cd^{2+}$ ,  $CdCl^+$  y  $CdOH^+$ , dependiendo de la concentración de  $Cl^-$  y el pH (Cavallaro y McBride, 1978), en tanto que el cobre tiende a formar cationes de mayor tamaño y complejidad como el  $Cu(H_2O)_n^{2+}$  (McBride, 1976; Velghe et al, 1977); por último, estos

caciones son típicos representantes de determinadas actividades económicas: el cobre de la actividad minera e industrial y el cadmio, de la industria metalúrgica y electrónica.

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- a) Establecer algunas relaciones básicas en la dinámica de los metales pesados en el medio ambiente, específicamente entre parámetros tales como concentración en aguas de riego, contenido en suelos y en plantas.
- b) Absorción y traslocación de estos elementos en plantas de trigo, y
- c) Efecto de la absorción de elementos pesados sobre el estatus nutritivo del trigo, específicamente, sobre Ca, Mg y K.

### Materiales y Métodos

El experimento fue llevado a cabo en 1979 en el Departamento de Suelos de la Universidad de Reading (Inglaterra) y contó con la asesoría de la Dra. Angela A. Jones.

Las plantas de trigo se desarrollaron entre Abril y Julio, bajo condiciones de invernadero, sin control de temperatura y humedad. Las plantas se sembraron en macetas, llenadas con suelo proveniente del horizonte superficial del suelo Rowland, aluvial arenoso, cuyas características esenciales son : pH (1:1 en agua) = 6.14,  $CiC_{pH\ 4.0} = 6.25$  meq/100 g y 41.81% de saturación básica,  $CiC_{pH\ 7.0} = 11.33$  meq/100 g y 23.52% de saturación básica, y materia orgánica = 3.06%.

Previo a la siembra, las macetas fueron regadas con una solución nutritiva balanceada para evitar interferencia provenientes de

una posible baja fertilidad del suelo empleado. Al final del experimento, las plantas se cosecharon y se dividieron en raíces y parte aérea, se lavaron dos veces con agua desionizada, se secaron en estufa a 50°C, se molieron en molino manual de material sintético y se almacenaron en envases de plástico. El contenido total de Cu, Cd, Ca, Mg y K en trigo fue determinado por absorción atómica, previa digestión húmeda.

El contenido de Cu y Cd en el suelo, soluble y adsorbido fue determinado antes y después del experimento por absorción atómica, en extracto obtenido al lavar 3 veces el suelo con agua destilada y solución acuosa de  $\text{NH}_4\text{OAc}$  0.5 N, respectivamente.

Durante el experimento, las macetas fueron regadas semanalmente con agua destilada conteniendo diferentes concentraciones de los metales pesados. Los tratamientos fueron :

- a) Testigo, agua destilada solamente
- b) 0.1 meq/l  $\text{Cd}^{2+}$  en solución con agua destilada
- c) 0.2 meq/l  $\text{Cd}^{2+}$  en solución con agua destilada
- d) 0.5 meq/l  $\text{Cd}^{2+}$  en solución con agua destilada
- e) 1.0 meq/l  $\text{Cd}^{2+}$  en solución con agua destilada
- f) 2.0 meq/l  $\text{Cd}^{2+}$  en solución con agua destilada
- g) 0.1 meq/l  $\text{Cu}^{2+}$  en solución con agua destilada
- h) 0.2 meq/l  $\text{Cu}^{2+}$  en solución con agua destilada
- i) 0.8 meq/l  $\text{Cu}^{2+}$  en solución con agua destilada
- j) 1.0 meq/l  $\text{Cu}^{2+}$  en solución con agua destilada
- k) 2.0 meq/l  $\text{Cu}^{2+}$  en solución con agua destilada

## Resultados

### 1. Producción de biomasa:

Durante el experimento, que se llevó a cabo hasta la etapa de espigadura, no se observaron ni se detectaron anomalías en el crecimiento vegetativo, en ningún tratamiento, e incluso la producción de biomasa fue similar en todos ellos. Es probable, entonces, que no se hayan alcanzado los niveles de concentración que depriman los rendimientos, o que se haya requerido un tiempo mayor para manifestarse.

Sin embargo, las plantas desarrolladas en un ambiente contaminado deben, necesariamente, reflejar en alguna medida estas condiciones específicas y este punto es el que se analizará a continuación.

### 2. Cadmio :

El Cuadro 1 presenta los contenidos finales de Cd soluble o adsorbido en el suelo. Como se desprende de él, existe una estrecha relación entre los parámetros involucrados (concentración de Cd en agua de riego, Cd adsorbido y Cd soluble) con coeficientes de regresión y correlación significativos al 0,5%. Ello significa que cualquiera de estos tres parámetros podría ser usado como indicador de un proceso contaminante por Cd, ya que este elemento manifiesta una conducta catiónica típica llegando rápidamente a un equilibrio en el suelo.

El Cuadro 2 presenta los datos de absorción de Cd por las plantas y la acumulación final en raíces y parte aérea. Aunque no se observaron síntomas de toxicidad, incluso al tratamiento máximo, lo que se contrapone con algunos datos (Allaway, 1968; Davis et al, 1978), y las plantas crecieron vigorosas, la absorción de Cd por las raíces produjo una acumulación total en las plantas en cantidad tal que podría ser dañina para la vida humana, sobre todo bajo ingestión prolongada de ali-

mentos en estas condiciones (Venugopal y Luckey, 1975).

Es obvio que la acumulación preferencial de Cd en las raíces, mecanismo natural protector ya conocido (Lonrigan, 1975), tiende a disminuir los efectos derivados de la toxicidad de Cd. Sin embargo, dos hechos deben ser considerados: 1) no se discriminó entre los diferentes órganos aéreos por falta de material vegetal para análisis y 2) aún con este mecanismo protector, se alcanzaron 100 ppm en la parte aérea, nivel absolutamente tóxico para la vida humana.

El uso de concentración de Cd en las aguas y la concentración de Cd soluble parecen ser parámetros igualmente satisfactorios para predecir los contenidos del elemento tanto en las raíces como en las partes aéreas ya que el análisis estadístico entregó significaciones al 0.5%. El Cd adsorbido se correlacionó con igual significación estadística con el Cd en la parte aérea de la planta, mientras que tuvo una significación al 2.5% con el Cd en las raíces, lo que evidentemente disminuye su utilidad diagnóstica. Otro hecho interesante es que la correlación entre el Cd en las raíces y el de la parte aérea fue relativamente pobre, indicando que la traslocación interna no depende exclusivamente de su absorción por las raíces, hecho ya demostrado previamente (Pettersson, 1976).

### 3. Cobre :

El Cuadro 3 presenta los contenidos de Cu acumulado en los suelos después de los distintos tratamientos.

Se manifiesta, igualmente, una estrecha relación entre el Cu en las aguas de riego y el remanente en el suelo, ya sea soluble o adsorbido (0.5% y 1.0% nivel de significación estadística, respectivamente), lo que indudablemente indica la utilidad de ellos como indicado

res de contaminación. Sin embargo, existe una baja correlación entre Cu soluble y adsorbido (5%), indicativo probablemente de una conducta química en el suelo diferente del Cu, con respecto al Cd, por su tendencia a complejarse con el agua.

El Cuadro 4 presenta los contenidos finales de Cu en las raíces y parte aérea de las plantas. Se destacan dos hechos relevantes: a) se manifiesta un incremento en los contenidos de Cu en las plantas proporcional al contenido de Cu aportado en las aguas de riego y b) se observa una tendencia a una acumulación en las raíces, similar al caso del Cadmio.

Con respecto al primer hecho, cabe hacer notar que el parámetro de mayor utilidad productiva del contenido final de Cu en las plantas parece ser el contenido en las aguas, cuyos coeficientes de regresión con los contenidos en las plantas fueron significativos al 0.5% en tanto que los parámetros del suelo (Cu soluble y adsorbido) tuvieron coeficientes menores (Cu adsorbido vs Cu raíces = 0.5%, Cu ads. vs Cu parte aérea = 1%; Cu soluble = 5% en ambos casos). En cuanto al segundo hecho, al mayor correlación entre Cu en raíces y parte aérea, con respecto al Cd, parece indicar que la traslocación interna del Cu está regulada mayormente por la absorción en las raíces que en el caso del Cd (Pettersson, 1976).

#### 4. Contenidos de Ca, Mg, K

El Cuadro 5 presenta los contenidos de Ca, Mg y K en raíces y partes aéreas de las plantas de trigo sometidas a los diferentes tratamientos. No obstante su calidad de datos preliminares y la necesidad de ahondar en este tipo de estudios, se observó una disminución en los

contenidos de Ca, la cual, en todo caso, no es proporcional al aporte de metales pesados en las aguas de riego.

El K y el Mg presentan datos altamente aleatorios y no fue posible llegar a alguna conclusión confiable.

De todas formas, persiste la impresión que la presencia de metales pesados pueda influir negativamente sobre el valor nutritivo de los productos agrícolas, aparte de la absorción directa de aspectos contaminantes, lo que puede traducirse en la fuente de riesgo para la salud humana y también desde el punto de vista económico.

contenidos de Ca, la cual, en todo caso, no es proporcional al aporte de metales pesados en las aguas de riego.

El K y el Mg presentan datos altamente aleatorios y no fue posible llegar a alguna conclusión confiable.

De todas formas, persiste la impresión que la presencia de metales pesados pueda influir negativamente sobre el valor nutritivo de los productos agrícolas, aparte de la absorción directa de aspectos contaminantes, lo que puede traducirse en la fuente de riesgo para la salud humana y también desde el punto de vista económico.

BIBLIOGRAFIA

- ALLAWAY, W.M. 1968. Adv. in Agronomy 20:235-274.
- ANTONOVICS J. BRADSHAW, A.D. y TURNER, R.G. 1971. Adv. in Ecological Research 7: 2-85.
- CAVALLARO, N. y Mc. BRIDE, M.B. 1978. Soil Sc. Soc. Am. j. 42:550-556.
- DAVIS. R.D. BECKETT, P.H.T. y WOLLAN E. 1978. Plant and soil 49:395-408
- LONGRAGAN.J.F. 1975. In Nicholas. D.J.D. and Egan, A.R. Trace elements in soil-plant-animal systems. Academic Press, New York. pp. 109-134.
- Mc BRIDE, M.B. 1976. Soil Sc. Soc. Am., J. 40:452-456.
- PETTERSON O. 1976. Plant and soil 45: 445-459
- PURVES D. 1977. Trace-element contamination of the environment oxford, E! sevier. 260 pp.
- VELGHE F., SCHOONHEYDT, R.A. y VYTTERHOEVEN, J. 1977. Clays and clays Minerals 25:376-380.
- VENUGOPAL B. y LUCKEY, T.D. 1975. In Luckey. T.D. Venugopal B. y Hutcheson, D. Heavy metal toxicity safety and hormology. vol. I. Academic Press, New York. pp. 4-73.

Cuadro 1. Concentración de Cd en el suelo después de riego con aguas contaminadas con este elemento.

Cont.de Cad en aguas de riego	Cad absorbido(nH4OAc)			Cd aciluble(agua destilada)		
	meq/l	ppm	meq/100 g	ppm	meq/100 g	ppm
Testigo	-	ND	ND	ND	ND	ND
0.1	5.6	0.001	0.56	0.003	1.69	
0.2	11.2	0.006	3.37	0.007	3.93	
0.5	28.1	0.004	2.25	0.015	8.43	
1.0	56.2	0.009	5.06	0.024	13.49	
2.0	112.4	0.037	20.79	0.098	55.08	

Cuadro 2. Contenidos finales de Cd en raíces y partes aéreas de plantas de trigo, regarlas con aguas contaminadas en Cd.

Cont. de Cd. en aguas de riego	Contenido de Cd. raíces							
	Meq/l	ppm	meq/100 g	ppm	parte aérea meq/100g	ppm	t o t a l meq/100 g	ppm
Testigo	-	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0.1	5.6	0.1	56.2	0.01	5.6	0.11	61.8	
0.2	11.2	0.28	157.4	0.02	11.2	0.30	168.6	
0.5	28.1	0.56	314.7	0.01	5.6	0.57	320.3	
1.0	56.2	0.97	545.4	0.05	28.1	1.02	573.5	
2.0	112.4	1.59	893.6	0.19	106.8	1.78	1.000,4	

CUADRO 3. Concentración de Cu en el suelo,  
después de riego con aguas contaminadas con este elemento

Contenido de Cu en aguas de riego		Cu adsorb. (NH <sub>4</sub> OAc)		Cu soluble (agua destilada)	
meq/l	ppm	meq/100 g	ppm	meq/110	ppm
Testigo		ND	ND	ND	ND
0.1	3.2	0.001	0.3	0.019	5.0
0.2	6.3	0.001	0.3	0.025	7.9
0.5	15.9	0.001	0.3	0.042	13.3
1.0	31.8	0.004	1.3	0.065	20.6
2.0	63.5	0.006	1.0	0.107	34.0

CUADRO 4. Contenido final de Cu en plantas  
de trigo, regadas con aguas contaminadas con este elemento

Contenido de Cu en aguas de riego		Raíces		Contenido de Cobre Parte aérea		Total	
meq/l	ppm	meq/100 g	ppm	meq/100g	ppm	meq/100 gr	ppm
Testigo		ND	ND	ND	ND	ND	ND
0.1	3.2	0.130	41.3	0.020	6.3	0.150	47.6
0.2	6.2	0.170	53.9	0.040	12.7	0.210	66.6
0.5	15.9	0.410	130.2	0.020	6.3	0.430	136.5
1.0	31.8	0.760	241.3	0.050	15.9	0.810	257.2
2.0	63.5	1.600	508.0	0.120	38.1	1.720	546.1

CUADRO 5. Contenido de Ca, Mg y K en plantas de trigo regadas con aguas contaminadas con Cd y Cu

Contenido Metal pesado en agua de riego (meq/l)	Raíces			Parte aérea		
	Ca	Mg (meq/100 gr)	K	Ca	Mg (meq/100 g)	K
Testigo	3.86	5.43	58.57	22.24	7.86	83.75
Cd 0.0	1.10	5.51	21.01	8.21	6.52	61.76
Cd 1.0	1.24	4.58	30.18	5.49	3.65	73.59
Cd 2.0	1.30	5.24	52.25	1.98	5.34	74.02
Cu 0.2	0.57	5.41	42.65	1.64	5.70	67.98
Cu 1.0	2.47	5.15	34.14	13.46	6.44	44.22
Cu 2.0	4.76	5.30	51.22	8.66	6.23	73.70