

CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELOS Y DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

MERCURIO

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE.....	1
1.1. FUENTES	1
1.2. NIVELES NATURALES	1
2. MERCURIO EN RIEGO	1
2.1. EFECTOS.....	1
2.2. FITOTOXICIDAD DEL MERCURIO	2
2.3. CRITERIO DE LITERATURA	3
2.4. CRITERIO RECOMENDADO.....	4
2.5. RAZONES.....	4
3. REFERENCIAS	5

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

El mercurio no es un elemento esencial para las plantas y nutrición de los animales. El mercurio se presenta en tres estados de oxidación en el ambiente, el estado elemental (Hg), estado mercurioso (Hg^+) y estado mercúrico (Hg^{++}). La naturaleza de la especie y su abundancia depende de varios factores, entre estos el pH, el potencial redox, la naturaleza y concentración de los aniones que forman complejos estables con el mercurio. En aguas bien aireadas, las especies de mercurio predominarán, mientras que el mercurio elemental y complejos de sulfuro de mercurio prevalecerán bajo condiciones de reducción.

1.1. Fuentes

La corteza de la tierra contiene aproximadamente $0,05 \mu\text{g/g}$ de Hg , principalmente como sulfuro. El contenido de mercurio, sin embargo, varía con el tipo de roca. En general, las rocas sedimentarias ($0,005$ a $3,25 \mu\text{g/g}$ de Hg) tienden a contener más mercurio que las rocas ígneas ($0,005$ a $0,25 \mu\text{g/g}$ de Hg). El mercurio también es encontrado en el carbón, fosfato marino y en la vecindad del oro, molibdeno y depósitos de metal base. Las áreas de alto contenido de mercurio sobre el planeta se localizan en cinturones y generalmente corresponde a zonas de inestabilidad y actividad volcánica y térmica. Sin embargo, hay áreas de alto contenido de mercurio que caen fuera de las estas zonas.

El mercurio está relacionado naturalmente en el ambiente con actividades volcánicas y geotermales, resistencia de las rocas y desgasificación desde el agua a la superficie de la tierra. El mercurio en el aire es redepositado en los entornos terrestre y acuático a través de precipitación, caída de nieve y sedimentación de partículas de polvo. Se asume generalmente que el mercurio puede permanecer en la atmósfera por grandes periodos

El mercurio metálico es ampliamente utilizado en la industria manufacturera de químicos, compuestos de mercurio, equipos científicos, generación de energía, amalgamas dentales y oro metalúrgico.

1.2. Niveles Naturales

El mercurio también está asociado con fracciones de sedimento orgánico y suspendido y como resultado, se establece en el fondo de la columna de agua. Debido a estas características y la volatilidad de algunos compuestos de mercurio, la concentración de mercurio es generalmente baja. Las concentraciones naturales de mercurio en océanos y playas pueden tomar rangos desde $< 0,001$ a $0,005 \mu\text{g/L}$.

2. MERCURIO EN RIEGO

2.1. Efectos

El Mercurio y sus componentes son absorbidos por las plantas principalmente a través de sus raíces. En general, hay una tendencia a que el mercurio se acumule en las raíces con limitado intercambio entre el suelo y la parte aérea de la planta (Hogg et al., 1978 a, b; Gracey and Stewart, 1974 a,b; Beauford et al., 1977; Fang, 1978). Sin embargo, hay excepciones.

Los suelos tratados con $10 \mu\text{g/g}$ de Hg , causaron altas concentraciones de mercurio en los tallos y las hojas de las papas ($1,045 \mu\text{g/g}$ peso puro), tomates ($0,341 \mu\text{g/g}$ peso puro) y en las

porciones comestibles de las zanahorias (0,279 $\mu\text{g/g}$ peso puro), papas (0,327 $\mu\text{g/g}$ peso puro) y cebollas (1,044 $\mu\text{g/g}$ peso puro) (Bache et al., 1973). Los champiñones crecidos en suelos que contienen 0,3 $\mu\text{g/g}$ registraron concentraciones de mercurio de 4 a 10 $\mu\text{g/g}$ en peso seco (Stijve and Cesson, 1979). Siegel et al, 1987 notaron que factores ambientales locales específicos influenciaron fuertemente la acumulación de mercurio incluso cuando las concentraciones en el suelo son la misma.

En estudios de distribución de mercurio en los tejidos de plantas ubicadas alrededor de una planta alcalina de cloro, Shaw and Panigrahi (1986) notaron una correlación significativa entre la concentración en el suelo y los tejidos de la planta, especialmente cuando la concentración de mercurio en el suelo era baja o limitante. La acumulación en las hojas fue la más alta, seguida por el tallo y la raíz. La concentración de mercurio en el suelo y en las hojas de *Croton sparsilafflorus*, *Jatropha gossypifolia* y *Argemone mexicana* crecidas en estos suelos presentan rangos desde 2,13 a 660 $\mu\text{g/g}$ en peso seco y 0,51 a 7,7 $\mu\text{g/g}$ en peso puro, respectivamente. Shaw y Panigrahi también encontraron que las ovejas y cabras que pastaban de estas plantas acumularon muy altos niveles de mercurio en sus hígados (46,3 y 51,5 $\mu\text{g/g}$ en peso húmedo, respectivamente) y en los músculos (2,91 y 2,86 $\mu\text{g/g}$ en peso húmedo, respectivamente).

Beyer et al (1985) encontró que agregando metilmercurio al suelo a una tasa de 1,3 $\mu\text{g/g}$ de Hg (peso húmedo) resultó una concentración de mercurio de 27 $\mu\text{g/g}$ de Hg (peso húmedo) en gusanos de tierra (*Eisenia foetida*). Esta concentración de mercurio en el suelo no fue encontrada tóxica para los gusanos de tierra. Sin embargo, los predadores que comen estos gusanos que contienen tan altos niveles de mercurio pueden ser perjudicados.

La disponibilidad y estabilidad del mercurio y compuestos de mercurio en sistemas suelo-planta-agua están en función del pH, texturas que incluyen tipo arcilla, contenido de materia orgánica, contenido de humedad del suelo, potencial óxido-reducción, y la forma del mercurio (Adriano, 1986). Alto pH, contenido de arcilla y contenido de materia orgánica favorecen la sorción del mercurio por suelos. Sin embargo, la materia orgánica es el más efectivo sorbente natural para el mercurio en suelos ácidos ($\text{pH} < 4$), considerando que óxidos de hierro y minerales arcillosos podrían llegar a ser más efectivos sorbentes a altos pH ($> 5,5$) (Anderson, 1979).

2.2. Fitotoxicidad del Mercurio

La concentración de mercurio en el sistema suelo-planta-agua y su toxicidad para las plantas se encuentra resumida en la Tabla 1. El mercurio metálico y compuestos de mercurio en los suelos han producido retardo en el crecimiento de plantas (Boor, 1951).

En experimentos de cultivo en arenas, Davis et al (1978) encontraron que el nivel crítico de mercurio en el tejido de materia seca de cebada fue de 3 $\mu\text{g/g}$ (peso seco). Mientras que el nivel crítico de concentración de mercurio en solución fue 4000 $\mu\text{g/L}$. Para plantas de arroz, Chino (1981) reportó que la concentración crítica de mercurio fue 0,5 $\mu\text{g/g}$ (peso húmedo) en el tallo y las hojas, y 1000 $\mu\text{g/g}$ (peso húmedo) en las raíces.

Beauford et al (1977) encontró que 5000 $\mu\text{g/L}$ de mercurio como HgCl_2 , inhibió el crecimiento de la mayoría de las plantas (*Pisum sativum* y *Mentha spicata*) y afectó procesos fisiológicos y biológicos en las plantas. Más recientemente, plantas jóvenes de *Pennisetum typhoideum* (cultivo de cereal), *Medicago sativa* (cultivo de pasto) y *abelmoschus esculentus* (cultivo de

verduras) mostraron toxicidad al mercurio a 10 µg/L de Hg, como HgCl₂ en un cultivo de nutrientes (Marte and Chaphekar, 1984)

Tabla 1
Toxicidad del Mercurio en Plantas

Cultivo	Forma y Concentración de Mercurio *		Efecto Observado	Referencia
Cebollas	Mercurio Metálico	110 µg/g (suelo)	Sin efecto sobre la brotes de la planta	Booer (1951)
Zanahorias y Lechugas	Compuestos de Mercurio	50 µg/g (suelo)	Severas pérdidas de los brotes	Booer (1951)
Porotos	Acetato Mercúrico Fenol	110 µg/L (solución de nutriente)	50% de reducción de biomasa de alimento	Pickard y Martin (1959)
Pastizales	Hg orgánico	450 µg/g (suelo)	Sin efecto	Estes et al (1973)
Pisum sativum y Mentha spicata	Cloruro mercúrico	5000 µg/L (solución de nutriente)	Afectó procesos de crecimiento, fisiológicos y bioquímicos	Beauford et al (1977)
Cebada	Cloruro mercúrico	3,0 µg/g (tejido de la planta) y 4000 µg/L (solución de nutriente)	Amarilleo de hojas y presencia de tallos rojizos	Davis et al (1978)
Arroz	?	0,5 µg/g (tallos y hojas) y 1000 µg/g (raíces)	Nivel Crítico	Chino (1981)
Lucerna, Raska, Okra	Cloruro Mercúrico	10,0 µg/L (Solución Nutrientes)	Redujo capacidad y contenidos de clorofila	Mhatre and Chaphekar (1984)

* Las concentraciones en suelos y tejidos de plantas están sobre bases de peso seco

2.3. Criterio de Literatura

La Anglian Water Authority (1983) recomendó 95 y 99% de 1,3 y 2,0 µg/L, respectivamente para mercurio en aguas usadas para riego por aspersión de terrenos de cultivo. Los criterios para mercurio en aguas de riego de otras jurisdicciones, incluidas Canadá y Estados Unidos de América, no fueron encontrados en la literatura.

2.4. Criterio Recomendado

Se recomienda que la máxima concentración de mercurio total en aguas de riego no debe exceder los 2,0 µg/g.

2.5. Razones

Dos factores fueron considerados en el establecimiento de criterios para el mercurio en aguas de riego:

- Toxicidad del mercurio para cultivos
- Acumulación de mercurio en porciones comestibles de la planta usada para consumo humano y animal.

Los datos relacionados con la toxicidad de mercurio a plantas para la concentración de mercurio en suelo, plantas y agua están limitados en números y pruebas de campo. También, las percepciones de la toxicidad del mercurio basado en pruebas de laboratorio no están de acuerdo con los resultados de datos de campo, donde altos niveles de tolerancia al mercurio son reportados (Siegel et al, 1978).

Basado en la entrada diaria de mercurio desde el aire y polvo, ingesta de pescado y otras comidas e ingesta del suelo, la concentración aceptable de mercurio en suelo fue calculada para ser 12 µg/g en peso seco. (Bashor and Turry, 1986). Sin embargo, a los 10 µg/g de mercurio en el suelo (peso seco), ciertos cultivos vegetales como las cebollas acumulan mercurio sobre dos veces la concentración máxima permitida de 0,5 µg/g en peso húmedo para comida de consumo humano o diez veces el valor (0,1 µg/g en peso húmedo de Hg en pescado) recomendado para grandes cantidades de consumo humano de pescado en sus dietas. Por lo tanto, es deseable que la concentración de mercurio en verduras y cereales sea mucho más baja que 0,1 µg/g en peso húmedo. Un contenido de mercurio de 0,03 µg/g de alimento seco (grano) fue utilizado para derivar el criterio para abastecimiento de agua para ganado. Recientemente, Beyer et al, 1985 encontraron que suelos que contienen cerca de 2,0 µg/g en peso seco resultan en niveles no deseados de mercurio en gusanos de tierra (27 µg/g en peso húmedo) los que podrían causar efectos perjudiciales para la fauna y otros predadores. Gracey and Stewart (1974b) observaron que el crecimiento de avena en suelos que contienen 0,012 a 0,06 µg/g de Hg (con un valor medio de 0,023 µg/g en peso seco) acumularon 0,004 a 0,019 µg/g de Hg en peso seco en sus granos. Obviamente, para que las plantas no acumulen niveles indeseables de mercurio en sus tejidos, es deseable una concentración entre 0,023 y 2,0 µg/g en peso seco en suelos.

La concentración máxima permitida de mercurio total en suelos fue colocado en 1,0 µg/g en peso seco. Esta concentración de mercurio es mayor que la concentración promedio de mercurio en suelos canadienses no contaminados de cerca de 0,08 µg/g (McKeague and Kloosterman, 1974), 0,023 µg/g (Gracey and Stewart, 1974b) y 0,44 µg/g (Moore, 1977), pero mucho menor que estos en áreas contaminadas y mineralizadas. Asumiendo que:

- La tasa máxima de riego es de 1,0 m³/m²/año
- La densidad volumétrica del suelo cultivado es de 1500 Kg/m³
- El mercurio en agua de riego es absorbido dentro de los 0,15 m de superficie de suelo

Tomará sobre 100 años para un suelo cultivado para acumular 1,0 µg/g de Hg en peso seco utilizando agua de riego que contienen 2,0 µg/L de Hg, como se muestra a continuación.

$$\text{Acumulación Anual de Hg} = \frac{2,0[\mu\text{g Hg} / \text{L}] \times 1,0[\text{m}^3 / \text{m}^2 / \text{año}]}{1500[\text{Kg suelo} / \text{m}^3] \times 0,15[\text{m suelo}]}$$

$$\text{Acumulación Anual de Hg} = 0,0089[\mu\text{g Hg} / \text{g de suelo}]$$

El periodo de tiempo para acumular 1,0 µg/g de Hg es:

$$\frac{1,0[\mu\text{g Hg} / \text{g de suelo}]}{0,0089[\mu\text{g Hg} / \text{g de suelo}]} = 112,3 \text{ años}$$

Estos cálculos asumen que no habría pérdida de mercurio desde el suelo por absorción y remoción del cultivo y volatilización. De esta forma es una estimación bastante conservativa del tiempo necesitado para alcanzar 1,0 µg/g de Hg en peso seco.

Por lo tanto, es recomendado que la concentración de mercurio total en aguas de riego no exceda 2,0 µg/L.

3. REFERENCIAS

- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Ambient Water Quality Criteria for Mercury. 1989.
- Guidelines for the Interpretation of the Biological Effects of Selected Constituents in Biota, Water, and Sediment. 1998.