

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

## PLOMO

<b>1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE.....</b>	<b>1</b>
1.1. FUENTES .....	1
<b>2. PLOMO EN RIEGO .....</b>	<b>1</b>
2.1. EFECTOS .....	1
2.2. CRITERIO DE LITERATURA .....	2
2.3. CRITERIO RECOMENDADO.....	4
2.4. RAZONES.....	5
<b>3. REFERENCIAS .....</b>	<b>6</b>

## **1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE**

El plomo no es un elemento esencial para las plantas, los animales y la nutrición de los seres humanos. El plomo (Pb) se encuentra naturalmente en tres estados de oxidación, metal,  $Pb^{2+}$  y  $Pb^{4+}$ . El  $Pb^{4+}$  sólo puede existir bajo condiciones extremas de pH y potencial de óxido - reducción. Sin embargo, los compuestos de  $Pb^{4+}$  son producidos artificialmente y son descargados al medio ambiente. Uno de tales compuestos, plomo tetraetílico, es ampliamente utilizado como un agente antidetonante en la gasolina. Las emisiones de plomo desde la gasolina y los desechos de la combustión del aceite son las principales fuentes antropogénicas de plomo.

### **1.1. Fuentes**

Los minerales más comunes del plomo son los minerales de óxidos, carbonatos y sulfatos. En general, el Pb se encuentra en todas las rocas de la corteza terrestre. El contenido de plomo de las rocas ígneas está en rangos desde 8 mg/Kg a 20 mg/Kg y niveles similares fueron encontrados en rocas sedimentarias, desde 7 mg/Kg a 20 mg/Kg. La concentración promedio en la litósfera es del orden de 16 mg/Kg. Los suelos tienden a ser más ricos en plomo que las rocas. El rango usual del contenido de plomo en los suelos ha sido estimado entre 2 a 200 mg/Kg, con un valor promedio entre 10 a 25 mg/Kg.

La precipitación atmosférica que se origina desde actividades tales como: (a) la minería del plomo, (b) la fundición y refinamiento de plomo primario y secundario, (c) la manufactura de químicos de plomo, baterías y otros productos, (d) la producción de otros metales, cemento y combustión de combustible fósil, (e) consumo de productos de plomo, gasolina con plomo e (f) incineración de desechos y residuos que contienen cantidades trazas de plomo, son la mayor fuente de contaminación antropogénica de plomo en los cursos de agua.

## **2. PLOMO EN RIEGO**

### **2.1. Efectos**

El plomo no es un elemento esencial para el crecimiento de la planta. Sin embargo, esta omnipresente en los sistemas suelo agua de las plantas. En general, el plomo se mantiene fuertemente en los suelos ya sea por sorción y/o formando complejos con componentes inorgánicos y orgánicos del suelo. Como resultado, sólo una pequeña cantidad del contenido total del plomo está disponible para las plantas. Un estudio llevado a cabo en la Universidad de Guelph (Ontario) mostró que el primer cultivo de pasto centeno removió sólo 0,004 a 0,017 kg Pb/ha de un suelo provisto con 1,5 a 116 kg Pb/ha a través de una aplicación de un fango residual (Bates et al., 1975). En British Columbia, la proporción de plomo entre la lechuga y el suelo que sostenía el cultivo era de 0,015; la concentración de plomo en la lechuga fue de 3 mg/kg, mientras en el suelo era de 200 mg/kg (John, 1975). Wilson y Cline (1966) estimaban que solamente 0,003 a 0,005 del total de plomo en el suelo era tomado por las plantas de cebada. Ya que el plomo tiende a acumularse cerca de la superficie del suelo, los cultivos con raíces poco profundas están expuestos a concentraciones relativamente más altas que los cultivos con raíces más profundas (Walsh et al., 1975; John, 1975).

El plomo puede entrar a la planta a través del sistema de la raíz o de las hojas. Además la forma y concentración del metal en el ambiente, varios factores relacionados al suelo (pH, capacidad de intercambio de iones, textura, temperatura, contenido de humedad, contenido de

materia orgánica, etc), cultivo (especies, profundidad de la raíz, anatomía, etc), y clima (precipitación, temperatura, etc) determinan el plomo consumido por las plantas.

Las diferentes partes de las plantas acumulan el plomo en diferentes grados. En general, las partes del fruto y de la flor acumulan las cantidades más pequeñas de plomo. En un experimento en un invernadero, Motto et al. (1970) notaron que las partes comestibles de zanahorias, tomates, maíz, lechugas y papas cultivadas en suelos que contenían 76 a 164 mg Pb/kg tenían niveles de plomo de 1,3 (masorca de maíz) a 16 mg/kg (zanahorias). Las concentraciones de plomo eran relativamente más altas en las hojas (más de 74 mg/kg en las hojas del maíz) que en otras partes de estas plantas.

Cuando los mismos experimentos fueron conducidos con arenas que contenían de 1 a 4 mg Pb/kg, las partes comestibles de estas plantas contenían niveles de plomo de 0,6 a 21 mg/kg. Sin embargo, los máximos niveles de plomo (sobre 764 mg/kg) fueron asociados con las raíces de las plantas de tomate, papas y lechugas. Similares observaciones fueron hechas por Jones et al. (1973) mientras trabajaba con pasto centeno perenne en soluciones que contenían 1 mg Pb/L como  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ; las plantas removieron 95% del plomo de la solución de nutriente, y las raíces contenían 57% a 80% del plomo agregado.

La toxicidad del plomo en las plantas difiere con las especies de plantas. Los porotos cultivados en suelos que contenían 820 mg Pb/kg (peso seco) mostraron un pobre crecimiento y una decoloración manchada, mientras que los manís no fueron afectados (Berg, 1970). Una diferencia significativa en la producción de avenas y trébol rojo cultivadas en maceteros ocurrió en concentración de suelo con plomo sobre 50 mg/kg (Von Hodenberg and Finck, 1975); sin embargo, John and Van Laerhoven (1972) informaron que no hubo efectos en la producción de avenas en respuesta a un agregado de 1000 mg Pb/kg como  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{PbCl}_2$ , o  $\text{PbCO}_3$ . Las concentraciones de cloruro de plomo de  $\geq 125$  mg Pb/kg han sido informadas que decrecen el consumo de Ca, Mg, K y P en las plantas de maíz y reducen su cultivo en experimentos de invernadero (Walker et al., 1977).

Cole (1977) informó que los compuestos de plomo agregados al suelo modificaban la actividad biológica del suelo; una reducción en la síntesis de la amilasa fue iniciada en concentraciones  $\geq 450$  mg Pb/kg (como  $\text{PbCl}_2$  y  $\text{PbS}$ ) del suelo. Debosz et al. (1985) notó que el agregado de 500 o 1000 mg Pb/kg a suelos naturales o arreglados con arcilla no tenían efectos adversos apreciables en la extensión de mineralización del carbón después de 16 días de incubación.

## **2.2. Criterio de Literatura**

La Tabla 1 muestra diversos criterios para proteger los cultivos de los efectos dañinos del plomo en aguas de riego. Los límites para el plomo en aguas de riego son similares en magnitud entre la mayoría de los casos. Esta similitud en los criterios del plomo sugiere una fuente común y quizás una falta de nueva información en relación a la toxicidad del plomo en los sistemas de agua – planta – suelo.

**Tabla 1**  
**Criterios sobre contenido de Pb en agua de riego.**

<b>Criterios</b>	<b>Valores (µg Pb/L)</b>	<b>Jurisdicción</b>	<b>Fecha</b>	<b>Referencia</b>
Concentraciones máximas de plomo recomendadas en aguas de riego son: 5,0 mg/L para uso continuo en todos los suelos; 10,0 mg/L para un período de 20 años o en suelos neutros y alcalinos de textura fina	5.000 10.000	U.S. EPA	1972	U.S. EPA (1972)*
Nivel de trabajo recomendado para el plomo en agua de riego = 5,0 mg/L	5.000	Australia	1974	Hart (1974)
Concentraciones máximas de plomo recomendadas para agua de riego: usadas continuamente en todos los suelos = 5,0 mg/L; para más de 20 años en suelos de textura fina de pH 6,0 a 8,0 = 10,0 mg/L	5.000 10.000	Ontario	1984	OME (1984)*
Concentraciones máximas de plomo recomendadas en aguas de riego: para uso continuo = 5,0 mg/L; para uso intermitente = 10,0 mg/L	5.000 10.000	Inland Waters Directorate	1980	Demayo et al. (1986)
Concentración promedio máxima para el período normal de riego = 2 mg/L	2.000	U.K.	1984	Mance et al. (1986)
Concentración máxima aceptable de plomo total en agua de riego = 10,0 mg/L	10.000	Manitoba	1983	MDEWSH++ (1983)
Concentración de plomo total en el agua de riego no debería exceder 0,2 mg/L para uso continuo en todos los suelos, y 2,0 mg/L para uso en suelos neutros y alcalinos de textura fina por más de 20 años	200 2.000	CCREM	1987	CCREM# (1987)

\* U.S. Environmental Protection Agency

+ Ontario Ministry of Environment

++ Manitoba Department of Environment and Workplace Safety and Health

# Canadian Council of Resource and Environment Ministers

Las normas de calidad del agua en Canadá (CCREM, 1987) y el Reino Unido (Mance et al., 1984) recomiendan niveles de plomo mucho más bajos en agua de riego. Ambas guías apuntan a limitar la acumulación de plomo en suelos agrícolas a niveles aceptables. Las normas del Reino Unido asumen una tasa de riego de 500 mm anualmente por 50 años, mientras la

CCREM basa sus cálculos en una tasa de riego de 1000 mm/año por 100 años. Asumiendo una densidad volumétrica del suelo de 1500 kg/m<sup>3</sup> y una profundidad de acumulación para plomo aplicado de 0,15 m, las normas Canadienses permiten una acumulación en suelos agrícolas de aproximadamente 100 (en suelos ácidos) hasta 200 mg/kg (en suelos neutros y alcalinos), y las normas del Reino Unido permiten una acumulación de 225 mg/kg (peso seco) en suelos agrícolas. Parecería que las normas Canadienses (CCREM) son mucho más conservadoras que todas las otras jurisdicciones mostradas en la Tabla 1.

La justificación para niveles de plomo seguro de 5 mg/L y 10 mg/L en aguas de riego recomendada por la Inland Waters Directorate (IWD), esta basada en la acumulación de plomo agregado en los primeros 10 cm de un suelo con una densidad volumétrica de 1500 kg/m<sup>3</sup>. Se asume que 1,0 m<sup>3</sup> de agua se necesitan para regar 1,0 m<sup>2</sup> de tierra agrícola en un año, y que las pérdidas de plomo debido al consumo o traspaso de la planta a través del perfil son insignificantes. Basado en estas suposiciones, Demayo et al. (1980, IWD) concluyeron que la máxima concentración de plomo de 5 mg/L en agua de riego aumentaría el contenido de plomo del suelo por 3,3 mg/kg/año. Sin embargo, este aumento está en un error, y en cambio debería ser 33,3 mg/kg/año como se muestra a continuación.

Masa de 1 m<sup>2</sup> de 10 cm de profundidad del suelo = 1,0 m<sup>2</sup> x 0,1 m x 1500 kg/m<sup>3</sup> = 150 kg

Cantidad de Pb agregado al suelo (1,0 m<sup>2</sup> x 0,1 m) por Agua de riego (5 mg Pb/L) a 1,0 m<sup>3</sup>/año

= 5 mg Pb/L x 1,0 m<sup>3</sup>/año x 10<sup>3</sup> L/m<sup>3</sup> x 1/150 kg suelo

= 33,3 mg Pb/kg/año

La Tabla 2 muestra antecedentes sobre los efectos del plomo en el uso de agua de riego.

**Tabla 2**  
**Efectos del Plomo en los Usos del Agua de Riego**

<b>Usos de Agua de Riego</b>	<b>Efectos</b>
Aplicación a cultivos comerciales.	El rendimiento de cultivo es afectado por la sensibilidad del cultivo al plomo consumido a través de las raíces de la planta.  La calidad del cultivo es determinada por la toxicidad del plomo a los consumidores.
Aplicación para mantener sustentabilidad del suelo regado.	Acumulación en el suelo a concentraciones donde cualquier rendimiento o calidad del cultivo es afectado.
Mantenimiento de equipos de riego.	Efectos desconocidos.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

### 2.3. Criterio Recomendado

La literatura especializada recomienda que (a) para suelos neutros y alcalinos de textura fina, la concentración de plomo máxima en agua de riego no debería exceder 400 µg Pb/L en ninguna ocasión; (b) la concentración total de plomo en aguas de riego para uso continuo en todos los otros suelos no debería exceder 200 µg/L en ninguna ocasión.

La Tabla 3 muestra los efectos del plomo usado en aguas de riego sobre el rendimiento del cultivo y sustentabilidad del suelo.

**Tabla 3**  
**Efectos del Plomo en Rendimiento de Cultivos y Sustentabilidad del Suelo**

Rango de Concentración (mg/L)	Efectos en Rendimiento y Sustentabilidad
Rango de calidad de aguas objetivo < 0,2	La aplicación de una tasa de 1 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /año para 100 años resultaría en una acumulación de plomo de 89 mg/Kg en los primeros 150 mm de suelo. Pocas plantas parecen ser afectadas a este nivel.  La reducción y fallas del cultivo son los principales efectos de suelos contaminados con plomo. Generalmente el plomo no se acumula en las partes comestibles de las plantas a niveles nocivos para los consumidores (sin embargo, papas, lechuga y heno mostraron plomo concentrado)
0,2 – 2,0	Concentración máxima aceptable para suelos neutros a alcalinos de textura fina.
> 2,0	Aceptable para riego sólo en cortos tiempos en base a un sitio específico.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

#### 2.4. Razones

Los criterios para proteger la vegetación de los efectos adversos del plomo en el agua de riego están basados en la información presentada en CCREM (1987), Motto et al. (1970), y Tornabene et al. (1977). Experimentos de laboratorio sugieren que el efecto nocivo del plomo sobre las plantas puede ocurrir en concentraciones de plomo bajo 100 mg/kg (Van Hodenberg and Finck, 1975). Por otra parte se ha sugerido que una concentración de a lo menos 1000 mg Pb/kg de peso seco debe estar presente en los suelos (excepto suelos arenosos) antes que cualquier efecto del plomo pueda ser observado (Tornabene et al., 1977). Como promedio el plomo en porciones comestibles de plantas, excluyendo raíces, y en pastizales cultivados en suelos que contienen ≤ 1000 mg Pb/kg (peso seco) es 24,3 y 15,7 mg/kg (materia seca), respectivamente (valores similares de plomo en la alimentación de animales fueron usados al establecer un criterio sobre el plomo en el abastecimiento de agua para el ganado).

Las arenas que contienen niveles más bajo de plomo (1,0 a 4,0 mg/kg) tienden a contribuir con bastante plomo a las partes comestibles de las verduras cultivadas en ellos como suelos que contienen niveles más altos de plomo (76 a 164 mg/kg; Motto et al., 1970). Esto puede haber sido la consecuencia de la capacidad de intercambio más baja (CEC) de los suelos arenosos comparados a aquella de los suelos de textura fina. En vista de estos hechos, el nivel crítico de plomo en los suelos arenosos debe ser reducido al menos por un factor de 3. Una reducción posterior en el nivel de plomo del suelo puede ser deseable en suelos arenosos ácidos ya que el consumo de plomo por las plantas aumenta a bajos pH's. Los efectos de los factores pH y CEC sugieren que la concentración segura de plomo en el suelo (que no cause efectos adversos) debería ser menos de 300 mg/kg oponiéndose a los 1000 mg/kg sugeridos por Tornabene et al. (1977) vistos más arriba.

En las guías de calidad de agua Canadiense (CCREM, 1987), los niveles de plomo de 100 mg Pb/kg (peso seco) para suelos ácidos y de 200 mg Pb/kg (peso seco) para suelos agrícolas neutros y alcalinos son considerados como niveles seguros. Sin embargo el período de riego de 20 años para suelos neutros y alcalinos fue considerado demasiado corto para proporcionar protección de largo plazo a los suelos. En cambio el criterio para suelos neutros y alcalinos fue derivado para un largo plazo (100 años) o uso continuo de tierra basado en presunciones especificadas en la CCREM (1987). Consecuentemente los criterios recomendados son los mismos o son consistentes con las guías de la CCREM (1987).

Un ejemplo de los cálculos involucrados en estos criterios se muestra a continuación.

Dada una densidad de volumen de un suelo de  $1500 \text{ kg/m}^3$ , la concentración de plomo en aguas de riego de  $400 \text{ } \mu\text{g/L}$ , la tasa de riego de  $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{año}$ . El plomo en agua de riego para quedar retenido en los primeros 15 cm del suelo, plomo se acumulará a una tasa de:

$$0,4 \frac{\text{mgPb}}{\text{L}} \times 1,0 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{año}} \times \frac{1}{0,15\text{m}} \times \frac{\text{m}^3}{1500\text{kg suelo}} \times 1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3} = 1,8 \frac{\text{mgPb}}{\text{kg} - \text{suelo} \cdot \text{año}}$$

En la condición de que no haya pérdida de plomo del suelo, tomará 100 años para un suelo alcalino de textura fina acumular plomo a esta tasa, al nivel de seguridad recomendado de 200 mg/kg.

En la práctica, niveles de plomo de esta magnitud son poco probables de ser encontrados en agua de riego y para la mayoría de los casos los criterios más bajos para la protección de la vida acuática se aplicarán para las aguas que serán usadas en riego.

### 3. REFERENCIAS

- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Water Quality Criteria for Lead. 1987.
- South African Water Quality Guidelines. 1996.