

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

COBRE

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE..... 1

1.1. FUENTES 1

2. COBRE EN RIEGO..... 1

2.1. EFECTOS 1

2.2. CRITERIO DE LITERATURA 2

2.3. CRITERIO RECOMENDADO..... 4

2.4. RAZONES..... 5

3. REFERENCIAS 5

1. OCURRENCIA EN EL MEDIO AMBIENTE

El cobre es un micronutriente esencial para la vida, aunque en cantidades excesivas puede provocar un sabor desagradable en el agua para consumo y causar daños al hígado en el ser humano y otros animales. Los organismos acuáticos son particularmente sensibles a los niveles excesivos de cobre en el agua.

1.1. Fuentes

Los depósitos de cobre natural en la forma de calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S), bornita (Cu_5FeS_4) y minerales carbonatos tales como la malaquita [$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$] y azurita [$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$] son encontrados en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Las rocas ígneas contienen la mayor concentración promedio (55 mg/Kg) de cobre seguidas por las rocas sedimentarias (5 a 45 mg/Kg). El cobre puede estar relacionado a estas rocas por desgaste y oxidación. Sin embargo, hay una pequeña porción de cobre disuelta en el agua que es de origen natural, debido a que la mayoría de los minerales de cobre son insolubles bajo condiciones normales. En términos de cobre total, se estimó que 40 a 67% de la entrada total anual al medio ambiente es de desgaste natural.

De acuerdo a McNeely et al (1979), la elevada concentración de cobre en el medio ambiente acuático está usualmente relacionada con las fuentes antropogénicas más que con las fuentes naturales. Las fuentes industriales de cobre incluyen la minería, refinamiento de petróleo, trabajo de metales y fundición.

2. COBRE EN RIEGO

2.1. Efectos

El cobre es un elemento esencial para la vida de la planta, pero de acuerdo a la US EPA, concentraciones de 100 a 1000 $\mu\text{g/L}$ en soluciones de nutrientes han sido encontradas tóxicas para un gran número de plantas.

Los efectos del cobre sobre las plantas han sido recientemente revisados por la Inland Waters Directorate. Uno de los aspectos revisados fue la disponibilidad de cobre en el suelo para las plantas. De acuerdo a Murphy (1972), Cu^+ y Cu^{2+} son las formas de cobre que pueden ser absorbidas por las plantas. La disponibilidad de cobre para las plantas es dependiente de un número de factores que incluyen el tipo de suelo, su composición y textura, la actividad microbiana del suelo, pH, potencial óxido reducción, humedad, aguas lluvias y la especie de la planta. En general, el cobre está menos disponible para las plantas en el suelo con un alto contenido orgánico o alto pH. Delas (1963) informó que la concentración de cobre normal en suelos descontaminados de un número de países está en un rango de 20 a 50 $\mu\text{g/g}$.

Niveles tan altos como 2190 $\mu\text{g/g}$ han sido registrados en la capa superficial de suelo en una granja cerca de una fundición de cobalto – níquel. El cobre también tiende a acumularse en suelos de huerto como resultado del tratamiento con fungicidas de cobre. De acuerdo a Delas, el cobre tiende a permanecer en la superficie de suelo donde está fuertemente complejo con la materia orgánica y no disponible para un rápido consumo por las plantas.

Demayo and Taylor (1981) notaron que el cobre no parece acumularse en el tejido de las plantas en el mismo grado que otros elementos. El rango normal de cobre en el tejido de las plantas ha sido informado que es de 1 a 50 $\mu\text{g/g}$ (peso seco). En general, los pastos tienen

concentraciones promedio más bajas (5 µg/g) que las leguminosas (15 µg/g). Una revisión de varios estudios hechos por Demayo and Taylor (1981) indicaban que la fertilización con desechos de aguas residuales con contaminación de cobre pueden aumentar el contenido de cobre en el suelo considerablemente, pero la acumulación de cobre en las plantas fue relativamente pequeña. En un número de casos, suelos con suplementos de cobre aumentó o no cambió el rendimiento de la planta. Webber (1972) demostró que aguas residuales con alto contenido de cobre aplicado a un terreno a tasas de 20 µg/g de suelo redujo el rendimiento de las betarragas en un 19% y el rendimiento del apio por 13%.

La adición de cobre a suelos forestales se registra que reduce la descomposición de materia orgánica, afección biológica y actividad bioquímica. Mathur and Rayment (1977) notaron alguna reducción en la tasa de mineralización de nitrógeno a una concentración de cobre cerca de 50 µg/g en el suelo el que corresponde a tres veces la concentración base.

2.2. Criterio de Literatura

Los criterios para proteger los cultivos de los efectos dañinos del cobre en aguas de riego se muestran en Tabla 1. Los criterios están en rangos comprendidos entre 200 µg/L para uso de largo plazo en todos los suelos o en cultivos sensibles, hasta 5.000 µg/L para uso de corto plazo en suelos de textura fina. La US EPA y la Island Waters Directorate han derivado sus criterios sobre la base de la acumulación de cobre en el suelo debido a que una gran porción de los datos disponibles especifican la toxicidad del cobre para las plantas en términos de las concentraciones de cobre en el suelo. Por ejemplo, Chaney (1973) asumió que 1 m³ de agua es usada para regar 1 m² de terreno por año. Si la concentración de cobre del agua de riego es de 200 µg/L, la profundidad del suelo 15 cm y la densidad 1,7 Kg/dm³ entonces 0,8 µg/g de cobre fueron agregados al suelo cada año. Ya que la toxicidad umbral de cobre en el suelo para plantas sensibles (verduras) ocurre cerca de 25 a 50 µg/g cuando las condiciones del suelo son favorables para el consumo de cobre por las plantas, entonces 30 años sería necesario antes de que las concentraciones de cobre en el suelo alcancen niveles de toxicidad mínimo si los niveles de cobre base fueron despreciables. En base a estas determinaciones, Demayo y Taylor (1981) concluyeron un el nivel de cobre máximo de 200 µg/L en aguas de riego proveería de un factor de seguridad amplio, incluso si los niveles de cobre bases en el suelo no fueran despreciables.

Tabla 1
Criterio de Cobre para Riego

Criterio	Valores	Jurisdicción	Fecha
Máximo recomendado para aguas de riego de 200 µg/L para uso continuo en todos los suelos	200 µg/L	US EPA	1972
Máximo recomendado para aguas de riego de 5000 µg/L para uso de corto plazo sobre suelos de textura fina	5000 µg/L	US EPA	1972
Niveles de cobre en aguas de riego es 200 µg/L para uso continuo en todos los suelos	200 µg/L	Australia	1974
El objetivo recomendado para cobre total en aguas de riego es: <ul style="list-style-type: none"> • 200 µg/L para uso continuo en todos los suelos o uso intermitente para plantas sensibles al cobre (veruras) • 1000 µg/L para plantas menos sensibles (cereales) • 5000 µg/L para uso de corto plazo 	200 a 5000 µg/L	Canadá	1981
Donde el riego es la única fuente de agua, la concentración aceptable máxima de cobre total es 200 µg/L	200 µg/L	Manitoba	1983
Donde el riego es usado como una fuente suplementaria de agua, la concentración aceptable máxima de cobre total es 5000 µg/L	5000 µg/L	Manitoba	1983
La concentración máxima de cobre en aguas de riego usada continuamente sobre todo el suelo = 200 µg/L	200 µg/L	Ontario	1984
La concentración máxima de cobre usada sobre 20 años en suelos de textura fina de pH 6,0 a 8,5 es 5000 µg/L	5000 µg/L	Ontario	1984
Concentración promedio recomendada de 500 µg/L de cobre total en aguas de riego	500 µg/L	United Kingdom	1984
La concentración total de cobre en aguas de riego no debería exceder 200 µg/L para uso continuo en todos los suelos. Para riego de cultivos que tienen baja sensibilidad al cobre, tales como cereales, una concentración de cobre máxima en aguas de riego de 1000 µg/L es recomendada. La concentración de cobre puede ser incrementada a 5000 µg/L para uso sobre suelos neutro a alcalino por sobre 20 años.	200 µg/L 1000 µg/L 5000 µg/L	CCREM	1987

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

Los efectos del cobre en el uso de agua de riego son resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2
Efectos del Cobre en los Usos del Agua de Riego

Usos de Agua de Riego	Efectos
Aplicación a cultivos comerciales.	El rendimiento de cultivo es afectado por la sensibilidad del cultivo al cobre consumido a través de las raíces de la planta. Calidad del cultivo determinado por la toxicidad para los consumidores
Aplicación para mantener sustentabilidad del suelo regado.	Acumulación en el suelo a concentraciones donde cualquier rendimiento o calidad del cultivo es afectado.
Mantenición de equipos de riego.	Efectos desconocidos.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

2.3. Criterio Recomendado

Un criterio para proteger la vegetación de los efectos nocivos del cobre inducido antropogénicamente en aguas de riego ha sido adaptado de criterios recientemente desarrollados por la Island Waters Directorate:

En aguas de riego, la concentración máxima total de cobre no debería exceder 200 µg/L.

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

Tabla 3
Efectos del Cobre en Rendimiento de Cultivos y Sustentabilidad de Suelos

Rango de Concentración (mg/L)	Efectos	Sustentabilidad
Rango de calidad de aguas objetivo < 0,2	Dependiendo de las especies de plantas, las soluciones que contienen 0,1 – 1,0 mg/L pueden inducir toxicidad del cobre.	La reducción del rendimiento y la falla de los cultivos son los principales efectos de los suelos contaminados con cobre. Generalmente el cobre no se acumula en las partes comestibles de las plantas a niveles dañinos para los consumidores (Cultivos de raíces tales como papas y rábanos han mostrado cobre concentrado)
0,2 – 5,0	Concentración máxima aceptable para suelos neutros a alcalinos de textura fina.	
> 5,0	Aceptable para riego sólo en cortos tiempos en base a un sitio específico.	

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

2.4. Razones

El fundamento para la elección del criterio sobre contenido de Cu en aguas de riego reportado en la literatura está basado sobre cálculos de Chaney (1973) de acumulación de cobre en el suelo a través de prácticas de riego y en la toxicidad umbral de cobre en el suelo para plantas sensibles.

El criterio provee un buen margen de seguridad especialmente en vista de que los cálculos están basados en prácticas de riego para zonas muy áridas tal como California. El tiempo para que las condiciones tóxicas se desarrollen (30 años) es subestimado para la mayoría de las regiones agrícolas en British Columbia, excepto para los cultivos de fruta de Okanagan donde la aplicación de tasas de 100 cm/año pueden llevarse a cabo particularmente en años áridos. En otras regiones de British Columbia, tasas de aplicación de 10 a 40 cm/año son más típicas. Ahora, a una concentración de cobre de 200 µg/L en aguas de riego, los cultivos sensibles al cobre podrían estar creciendo seguramente en la mayoría de las regiones de British Columbia por lo menos un siglo. Además, ya que los cálculos de Chaney no toman en cuenta la extracción perpetua de cobre desde el suelo por las plantas las cuales, cuando son cosechadas, redistribuyen el cobre a través del tejido del alimento, es improbable que el cobre incluso alcanzará niveles tóxicos en los suelos, incluso en regiones áridas.

Como se muestra en la Tabla 1, la Island Waters Directorate recomienda separar en dos criterios para el cobre en aguas de riego dependiendo de la frecuencia de riego, el tipo de suelo y la sensibilidad del cultivo al cobre. Para simplificar esta aproximación y eliminar juicios cualitativos del tipo de suelo y frecuencia de riego, un único criterio de 200 µg/L es recomendado sin tener en cuenta estos factores. Este único criterio protegerá a las plantas sensibles al cobre en todos los suelos, sin tener en cuenta la frecuencia de riego en tanto que la rotación de cultivo puede ser practicada libremente y no restringida por ciertos cultivos tolerantes al cobre debido a la elevada acumulación de cobre en el suelo desde las primeras aplicaciones.

3. REFERENCIAS

- British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks (BC MELP). Water Quality Criteria for Copper. 1987.
- Guidelines for the Interpretation of the Biological Effects of Selected Constituents in Biota, Water, and Sediment. 1998.
- South African Water Quality Guidelines. 1996.