

2. METALES PESADOS EN LA SALUD

El interés en los metales pesados que pueden ingresar a la cadena trófica surge por los problemas que pueden causar a la salud humana y animal. A continuación se analizan los metales pesados de interés en la salud humana.

2.1. Arsénico

El arsénico es un elemento tóxico para los animales y el hombre. El máximo nivel tolerable en la dieta diaria por el ganado, ovejas, cerdos, aves de corral, caballos y conejos es de 50 mg kg^{-1} de As inorgánico y 100 mg kg^{-1} de As orgánico (NCR, 1980). En el suelo el arsénico suele encontrarse como As (III) o As (V); este último tiende a transferirse a la fracción mineral del suelo, lo que baja su absorción por parte de las plantas, pero puede dar lugar a contaminación de acuíferos por lixiviación (Epstein, 2002). Los compuestos inorgánicos son más tóxicos que los orgánicos, y el As (III) es más tóxico que el As (V). El metabolismo del arsénico se caracteriza por dos tipos de reacciones: (1) reducción de As (V) a As (III), y (2) reacciones oxidativas de mutilación. Estas últimas lo transforman en especies menos tóxicas y más fáciles de excretar por los organismos.

La intoxicación humana por arsénico se produce por inhalación o ingestión de As_2O_3 . Los síntomas son fuertes desórdenes gastrointestinales, calambres y colapso circulatorio. La intoxicación crónica puede ser causada por ingesta de alimentos y agua que contienen arseniuros o por exposición laboral al inhalar durante mucho tiempo polvo en el lugar de trabajo. Los síntomas pueden aparecer incluso después de muchos años de latencia. La intoxicación crónica produce pigmentación en la piel, lesiones en la médula ósea, sangre, hígado, vías respiratorias y sistema nervioso central. El potencial de contaminación humana con arsénico por la aplicación de biosólidos al suelo es mínimo debido a que el nivel de arsénico en los biosólidos suele ser muy bajo y se encuentra principalmente en la matriz orgánica, que da al As una biodisponibilidad muy baja. Debido a que el arsénico es fitotóxico para los cultivos consumidos por el hombre y los animales, la cadena trófica está protegida. Además, el arsénico no es fácilmente absorbido por las plantas (Epstein, 2002).

2.2. Cadmio

El cadmio es un elemento que está presente en suelos y rocas en forma natural, pero que también puede ser incorporado al ambiente a través de fertilizantes, plásticos, baterías, pilas, compuestos asociados al zinc, pinturas, aplicación de desechos al suelo y otros.

Es uno de los principales contaminantes de suelos agrícolas de todo el mundo debido a su alta movilidad. El cadmio no es un elemento esencial para los animales y el hombre, pero para ambos puede tener efectos tóxicos agudos de corto plazo y crónicos de mediano y largo plazo. Los últimos por su capacidad de acumularse en órganos como riñón e hígado. Los efectos agudos pueden producir daño severo en varios órganos, entre ellos edema pulmonar, problemas respiratorios, bronconeumonía (Ryan et al., 1982). La acumulación de cadmio en el cuerpo parece incrementar con la edad, disminuyendo después de los 50 años (Elinder et al., 1976). Se ha estimado que la vida media del cadmio en el riñón humano va de los 18 a 33 años. Otros efectos crónicos se relacionan con hipertensión, metabolismo de los carbohidratos, carcinogénesis, teratogénesis y daño testicular.

La adsorción del cadmio se debe a su unión con proteínas de bajo peso molecular, las thioninas, para formar metalothionina que se acumula en la corteza del riñón (Chaney, 1983). Friberg et al (1974) estimaron que la concentración crítica de cadmio que produce daño de la corteza renal es de $200 \mu\text{g g}^{-1}$ (peso húmedo). La máxima dosis diaria referencial en la dieta establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para proteger la exposición humana a cadmio es de $70 \mu\text{g g}^{-1}$.

A pesar de que no hay evidencia que la exposición humana a cadmio por disposición de biosólidos aplicados al suelo haya producido efectos en la salud, hay evidencia de efectos adversos originados por el consumo de alimentos contaminados con cadmio. El caso más conocido ocurrió en Japón en 1955, donde indujo la enfermedad nominada itai-itai, que produce graves problemas a los huesos (Yamagata y Shigematsu, 1970). En 1968 el Ministerio de Salud de Japón señaló que la enfermedad había sido causada por el riego de campos de arroz con agua contaminada por descargas mineras que contenían cadmio. El Zn, Fe, Cu, Ca, ácido ascórbico y las proteínas pueden interactuar con el cadmio (Fox, 1988). Una dieta baja en Fe contribuye al aumento de la retención de cadmio; el aumento de Zn en la dieta induce la biosíntesis de metalothioninas, que se

unen con el cadmio y el zinc; deficiencias de calcio también aumentan la adsorción de cadmio (Chaney, 1983). De ahí que el efecto potencial del cadmio sobre los cultivos no solamente dependa de la concentración en ellos, sino que además de la biodisponibilidad y condiciones de nutrición humanas.

2.3. Cobalto

El cobalto es un elemento que ocurre naturalmente y que tiene propiedades similares al hierro y al níquel. Se encuentra en forma natural en el suelo, rocas, aire, agua, plantas y animales. El cobalto que se deposita en el suelo generalmente se adhiere fuertemente a las partículas del suelo. Las plantas pueden acumular cantidades muy pequeñas de cobalto desde el suelo en las partes comestibles como fruta, granos y semillas. Aunque los animales que comen estas plantas acumulasen cobalto, éste no se biomagnifica (aumento de la concentración a lo largo de la cadena alimentaria). Las hortalizas, frutas, pescado y carne generalmente no contienen cantidades muy altas de cobalto. El cobalto es un elemento esencial para la salud de seres humanos y animales y, por lo tanto, es importante que los alimentos contengan cantidades adecuadas.

El cobalto tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud. Es beneficioso para seres humanos porque forma parte de la vitamina B₁₂. Además, estimula la producción de los glóbulos rojos en personas con anemia. Es indispensable para el mantenimiento y buen funcionamiento de las células rojas de la sangre. Es un factor hipoglucemiante, y gran parte de las funciones que desempeña la vitamina B₁₂ se realizan gracias a la acción de la porción de cobalto que hay en su molécula. (www.dsalud.com/medicinaorto_numero24_%20b.htm). El cobalto también es esencial para la salud de animales como el ganado vacuno y las ovejas. La exposición de seres humanos y animales a los niveles de cobalto que se encuentran normalmente en el ambiente no produce daño. Sin embargo, cuando el cuerpo absorbe demasiado cobalto pueden ocurrir efectos perjudiciales, principalmente respiratorios lo que ocurre generalmente por inhalación. Además se produce un exceso de glóbulos rojos con mucha hemoglobina, lo que se manifiesta como policitemia (www.encyclopedia.us.es/index.php/Cobalto).

2.4. Cobre

El cobre es un elemento esencial para los animales y humanos. Está asociado con las proteínas y enzimas. También es esencial para la reproducción. El cobre puede ser tóxico para animales. La toxicidad en ganado y ovejas ocurre en concentraciones entre 25 a 100 mg kg⁻¹ peso seco (NRC, 1980). Se acumula en el hígado, cerebro y pelo.

El cobre es tóxico para el hombre pero no venenoso. Dependiendo de la dieta y de la edad se concentra en el hígado (Van Campen, 1991). La enfermedad de Wilson es causada por la acumulación de cobre en el hígado y sistema nervioso central debido a la incapacidad del cuerpo para excretarlo. Los efectos agudos que puede causar incluyen úlceras gastrointestinales, necrosis hepática y daño renal (van Campen, 1991). La deficiencia de cobre puede producir anemia asociada a problemas en la absorción de hierro, desequilibrios mentales o nerviosos, problemas en los huesos y sistema cardiovascular. Sin embargo, no es usual encontrar efectos tóxicos agudos por la capacidad del hígado de reciclarlo.

Las formas solubles e intercambiables de cobre son consideradas fácilmente disponibles para las plantas. En la mayoría de las plantas, la dosis tóxica fluctúa entre 25 a 40 mg kg⁻¹ peso seco. El cobre está presente en proteínas y enzimas de plantas y tiene un papel importante en la fotosíntesis y respiración celular. La deficiencia de cobre puede producir crecimiento lento y problemas en la reproducción de las plantas. La deficiencia de cobre en la planta puede deberse a que el fósforo, Mn o, Zn. compiten con el cobre disponible. Otros factores que afectarían la concentración de cobre en las plantas son la actividad microbiana, la humedad, el pH, el potencial redox y la especie de planta (Epstein, 2002).

2.5. Cromo

El cromo es un elemento esencial para animales y hombre (NRC, 1980). Los humanos son a menudo deficientes en este elemento como resultado de su bajo nivel en las plantas. En forma orgánica el cromo es un cofactor en la respuesta de la insulina al metabolismo de los carbohidratos (Toepfer et al. 1977). Aparentemente el cromo no se acumula en ningún órgano, aunque se han encontrado casos de acumulación en el pulmón. La deficiencia de cromo afecta la intolerancia a la glucosa, eleva el colesterol y los triglicéridos; otras manifestaciones son elevada concentración de insulina en la sangre, glicosuria, hiperglicemia, neuropatías y encefalopatías (Anderson, 1987). La carne, queso, granos, y cerveza constituyen buenas fuentes de cromo.

El cromo también puede ser tóxico. Ciertas formas químicas como el Cr (III) puede provocar efectos cancerígenos o mutagénicos y el Cr (VI) irritaciones cutáneas (Van Campen, 1991).

Para las plantas el cromo no es esencial pero es fitotóxico cuando está en su máximo estado de oxidación (VI), aunque el grado de fitotoxicidad depende de la especie. La fitotoxicidad se manifiesta por una reducción en el crecimiento y desarrollo de las raíces.

2.6. Mercurio

El mercurio es un elemento tóxico y no esencial para humanos, animales y plantas. El mercurio metilado es la forma más tóxica. El metil mercurio (MeHgOH) es neurotóxico (WHO, 1990). Los peces y semillas contaminadas con mercurio han producido serios envenenamiento en humanos (Friberg and Vostal, 1972; Bakir et al., 1973)

El mercurio llega generalmente al suelo por deposición de partículas atmosféricas o por su utilización en agricultura en fungicidas, insecticidas y otros. Tiene la capacidad de reaccionar con la fracción orgánica del suelo, lo que disminuye el riesgo de contaminación de aguas subterráneas ya que forma compuestos químicamente estables. La principal forma de incorporación de mercurio al ambiente es en su estado elemental, pues en condiciones normales está sublimado. Tiene la capacidad de acumularse en los organismos.

2.7. Molibdeno

El molibdeno es esencial para los animales y el hombre. Su función es mantener el nivel de los óxidos de xantina a través de las molibdo flavoproteínas. El molibdeno es tóxico para los animales, especialmente rumiantes. En las ovejas el molibdeno se concentra en el hígado, riñones y pulmones (Grace and Martinson, 1985). La toxicidad del molibdeno en humanos es rara. En el suelo el molibdeno se encuentra asociado a materia orgánica e inorgánica y también a menudo como óxido. El molibdeno es un elemento traza esencial para las plantas formando parte de diversas enzimas. La deficiencia de molibdeno produce malformación de las hojas, clorosis y necrosis (Romheld and Marschner, 1991); también se produce destrucción del embrión. Generalmente ocurre deficiencia en distintos tejidos de la planta cuando las concentraciones de molibdeno varían entre 0,03 y 0,15 mg kg⁻¹ (Epstein, 2002).

2.8. Níquel

Es un elemento esencial para humanos, plantas y animales. Es tóxico para plantas a niveles bastante menores que para animales y humanos lo que constituye un problema en la aplicación de biosólidos al suelo, ya que cuando tienen un alto contenido de níquel pueden afectar negativamente el crecimiento de los cultivos. El Ni se encuentra en la mayoría de los suelos, aunque en concentraciones muy variables. Como la mayoría de los metales, su disponibilidad depende de los componentes del suelo y de sus características físicas y químicas. La presencia de óxidos Fe y Mn afecta la cantidad de Ni extraíble presente en los suelos (Cast, 1976).

El níquel es tóxico para los animales en concentraciones entre 50 a 100 mg kg⁻¹, cuando se encuentra como sal soluble (NRC, 1980). Su toxicidad para los mamíferos es baja, posiblemente por su baja absorción (Gough et al., 1979).

2.9. Plomo

El plomo no es un elemento esencial para humanos, plantas y animales. Es tóxico para humanos, particularmente en los niños. Hay diversas fuentes de exposición que experimenta el hombre, las principales son el aire, agua, polvo, suelo y la dieta. El nivel de plomo aceptable en sangre es de 10 µg dl⁻¹ (CDC, 1991). La toxicidad del plomo para muchos animales es alrededor de 30 mg Pb por kg en la dieta (NRC, 1980).

El plomo está presente en forma natural en la mayoría de los suelos. La principal forma de contaminación proviene del uso de gasolina con agregado orgánico de plomo, práctica que ha disminuido en los últimos años a nivel mundial. Múltiples estudios han demostrado que este metal permanece principalmente en la superficie del suelo (Chaney et al., 1978), lo que representa una ventaja pues minimiza el riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Sin embargo, al permanecer en la superficie aumenta el riesgo de exposición en niños. El plomo afecta el sistema nervioso y causa problemas en el crecimiento. La solubilidad del plomo en el suelo depende de sus características químicas como pH, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, En las plantas suele acumularse en las raíces.

2.10. Selenio

El selenio es un mineral esencial y de gran valor en nutrición humana. Es un elemento traza que actúa conjuntamente con la vitamina E, aumentando la inmunidad y

produciendo enzimas que protegen al organismo de los peróxidos perjudiciales. Las personas con un bajo nivel de selenio en el organismo tienen una mayor probabilidad de contraer cáncer, trastornos cardíacos, enfermedades inflamatorias y cataratas, y de presentar signos de envejecimiento prematuros. Los bajos niveles de selenio en la sangre y en el hígado son comunes en personas que sufren de enfermedades hepáticas crónicas. Una carencia mínima de selenio puede alterar el estado de ánimo, causar estados de angustia y afectar los niveles de energía.

En muchas regiones, se ha encontrado una relación estrecha entre deficiencia de selenio en los cultivos y en el suelo y la tasa de mortalidad por cáncer. El selenio ayuda a evitar el cáncer de esófago, estómago, colon y recto. Por otra parte, en la mujer, el selenio parece ejercer un poderoso efecto contra el cáncer de mama. No se conoce cuál es la ingesta diaria adecuada, aunque es probable que la gente que sigue una dieta balanceada cubra los requerimientos de este mineral.

El selenio puede ser tóxico si se consumen dosis superiores a $900 \mu\text{g d}^{-1}$ durante cierto tiempo. La toxicidad ocasionada por el selenio que contienen los alimentos es poco frecuente. Entre los síntomas ocasionados por exceso de selenio se incluyen depresión, nerviosismo, problemas emocionales, náuseas y vómitos. Las personas que habitan en zonas industriales pueden presentar síntomas de toxicidad causados de selenio tales como trastornos hepáticos y miocardiopatía. Los niños que crecen en zonas ricas en selenio tienen mayor predisposición a caries, piezas dentarias faltantes u obturadas. Las megadosis de selenio son tóxicas, pudiendo causar caída del cabello, pérdida de las uñas, fatiga, náuseas, vómitos y aliento a leche agria. Los operarios que trabajan en fábricas de vidrio, pesticidas, goma, semi-conductores o con cobre se encuentran en mayor riesgo de intoxicación con selenio por inhalación, absorción a través de la piel e ingestión, presentando trastornos tales como bronconeumonía, asma, disminución abrupta de la presión arterial, enrojecimiento de ojos, aliento y orina con olor a ajo, jaquecas, sabor metálico, irritación de nariz y garganta, dificultad respiratoria, vómitos y debilidad.

2.11. Zinc.

Se trata de un mineral esencial para las plantas, los animales y los seres humanos (Hambridge et al. 1987). El zinc está asociado a una gran cantidad de procesos metabólicos importantes, por lo que es un nutriente indispensable para la salud humana y

animal. La cisteína favorece la absorción de este mineral; tras ello, y gracias a los jugos pancreáticos, es transportado a través de las células intestinales. Las mayores concentraciones de este mineral se encuentran en los huesos, músculos, piel y otros tejidos corporales. Es excretado por vía urinaria y por las heces. Aunque es uno de los componentes más importantes de la dieta se ha demostrado que buena parte de la población padece carencias de este mineral.

El zinc desempeña una serie de funciones, ayuda a la formación de insulina, está presente en la contractibilidad de los músculos, es esencial para la síntesis de proteínas, es importante para el equilibrio ácido-alcalino de la sangre, normaliza la función de la glándula prostática, es necesario para la síntesis de ADN, colabora en el desarrollo del esqueleto, sistema nervioso y cerebro del feto. Publicaciones recientes hablan del zinc como elemento importante frente al cáncer. La falta de zinc puede provocar, entre otros, baja tasa de crecimiento, alteraciones mentales, alteraciones en la forma y función de los órganos reproductores masculinos, alteraciones en el sentido del gusto y olfato, depresión inmunitaria, baja tolerancia a la glucosa. El zinc es poco tóxico, salvo cuando se ingieren cantidades elevadas, superiores a 150 mg kg^{-1} . Los síntomas de intoxicación son náuseas, vómitos y fiebre.

2.12. Literatura citada

- Anderson, R.A. 1987. Chromium pp. 225-244. Wertz, W. (Ed) Trace elements in human and animal nutrition. 5th ed vol1. Academic Press, San Diego, CA.
- Bakir, K., Damluji, S.F., Amin-Zaki, L., Murtadha, M., Khalidi, A.K., Al-Rawi, N.Y., Tikriti, S., Dhahir, H.I., Clarkson, T.W., Smith, J.C. and Doherty, R.A.. 1973. Methylmercury poisoning in Iraq. Science 181: 230-241.
- Brady, N.C. and Weil, R.. 2002. The nature and properties of soils. Thirteenth Edition. Prentice Hall, New Jersey, USA. 960 p.
- CAST, 1976. Application of sewage sludge to cropland: Appraisal of potential hazard of the heavy metals to plants and animals. Council for Agricultural Science and Technology. Report 64. AMES, IA.
- CDC. 1991. Preventing lead poisoning in your children. A statement by the Centre of Disease Control. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA.

- Chaney, R.L., Hundemann, P.T., Pamer, W.T., Small, R.J., White, M.C., and Decker, A.M. 1978. Plant accumulation of heavy metals and phytotoxocoty resulting from the utilization of sewage sludge and sludge compost on cropland. Proc. National Conference. on Composting Municipal Residues and Sludges. Information Transfer, Inc, Rockville, MD: 86-96.
- Chaney, R.L. 1983. Potential effects of waste constituents on the food chain. p 152-240, *In*:. Parr, J.B., Marsh, P.B. and Kla, J.M. (Eds), Land treatment of hazardous wastes. Park Ridge, NJ.
- Connell, Does W. 1997. Basic concepts in environmental chemistry. Lewis Publishers, NY, USA. 506 p.
- Elinder, C. G., Kjellstrom, T., Friberg, L., Lind, B., and Linnman, L. 1976. Cadmium in kidneycortex, liver and pancreas from Swedish autopsies. Arch. Environ. Health 31: 293-302.
- Epstein, E. 2002. Land application of sewage sludge and biosolids. Lewis Publishers.CRC Press. Boca Raton, USA. 201p.
- Fox, M.R.S. 1988. Nutritional factors that may influence bioavailability of cadmium, J. Environ. Qual. 17: 175-180.
- Friberg, L, C- Elinder, G., Kjellstrom, T., and Nordberg, G.F.. 1974. Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal. Vol I. Exposure Dose and metabolism, CRC. Boca Raton, FL.
- Friberg, L., and Vostal, J.1972. Mercury in the environment. CRC, Cleveland, OH.
- González, S. 1994. Geoquímica de metales pesados en Chile. pp. 10-29. **En**: Seminario-Taller: Impacto ambiental de metales pesados en Chile. Editado por INIA, INACAP, U. de CHILE y BRITISH COUNCIL, Santiago, Chile, 261 p.
- Gough, L.P., Shacklette, H.T., Case, A.A.. 1979. Element concentrations toxic to plants, animals, and man. U.S. Department of Interior, Geological Survey, Geological Survey Bulletin, 1466, Washington, CD.

- Grace, N.D., and Martinson, P.L.. 1985. The distribution of Mo between the liver and other organs and tissues and live weight gains of grazing sheep. Pp. 534-536 *In*: Mills, C.F. (Ed). Trace elements in man and animals. Tema 5. Commonwealth Agric. Bureaux, Farnham Royal, England.
- Hambridge K. M., Casey, C.W., and Krebs, N. F.,. 1987. Zinc pp. 1-37. Mertz, W. (Ed.) Trace elements in human and animal nutrition. Vol. 2, Academic Press, New York.
- Harter, R.D. 1991. Micronutrients adsorption-desorption reactions in soils, pp. 59-87, *In*: Mortvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., Welch., R.M. (Eds). Micronutrients in agriculture. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- John, D.A. and Leventhal, J.S. 1995. Bioavailability of metals. *In*: Du Bray (Ed.) Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models, Denver, Colorado.U.S. Departament of Interior. U.S. Geological Survery (U.S.G.S) <http://pubs.usg.gov/of/1995/>
- McBride, M.B. 1995. Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge. USEPA regulations protective? J. Environ. Qual. 24: 5-18.
- NCR. 1980. Mineral tolerance of domestic animals, National Research Council. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- Romheld, V. and Marschner, H.. 1991. Function of micronutrients in plants. pp. 297-328, *In*: Mortverdt, J.J, Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch, R.M. (Eds.) Micronutrients in agriculture, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Ryan, J.A., Pahren, H.R., and Lucas, J.B.. 1982. Controlling cadmium in the human food chain: A review and rationale based on health effects. Environ. Res. 28: 251-302.
- Toepfer, E.W., Mertz, W., Polansky, M.M., Roginski, E.E., and Wolf, W.R.. 1977. Preparation of chromium-containing material of glucose tolerance factor activity from brewer's yeast extracts and by synthesis. J. Agr. Food. Chem. 25:162-166.
- Van Campen, D. R. 1991. Trace elements in human nutrition pp. 663-701.. *In*: Mortverdt, J.J, Cox, F.R., Shuman, L.M., and Welch, R.M. (Eds.) Micronutrients in agriculture, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- WHO, 1990. Environmental health criteria 101: Methylmercury, World Health Organization, Geneva, Switzerland.

Yamagata, N., Shigematsu, I. 1970. Cadmium pollution in perspective. Bull. Inst. Public Health 19: 1-27.

www.dsalud.com/medicinaorto_numero24_%20b.htm

www.encyclopedia.us.es/index.php/Cobalto

<http://www.envtox.ucdavis.edu/cehs/toxins/selenium.htm>