



ESTUDIO DE PROPIEDADES MAGNÉTICAS EN RIÑÓN E HÍGADO DE *Mus musculus* PARA LA DETECCIÓN DE ELEMENTOS TÓXICOS

R. Cejudo^{1*}, M. Gonsebatt², F. Bautista³, A. Gogutchaisvili¹, J. Morales¹, C. Delgado⁴, H. Rivas²

¹ Instituto de Geofísica Unidad Michoacán, LUGA-UNAM, Morelia, México.

² Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM, Ciudad de México, México.

³ Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, CIGA-UNAM, Morelia, México.

⁴ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México.

* e-mail: ruben@geofisica.unam.mx

ABSTRACT

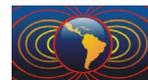
In humans, the particulate matter less than 2.5 μm (PM_{2.5}) can enter into the body by different ways. Many of these particles can contain magnetic material and toxic elements that may accumulate in different type of organs, which represent a risk to health. The purpose of this study was to determine whether there is an accumulation of magnetic particles in kidney and liver of *Mus musculus* and the possible relationship with the concentration of toxic elements. Forty samples of tissues were collected (20 samples of kidney and 20 samples of liver) to which was measured magnetic susceptibility (κ) at low frequency (0.46 kHz) and curves of isothermal remanent magnetization were acquired. The determination of concentration of Cu and Zn was performed by atomic spectroscopy absorption. Lineal regressions were obtained for: Zn ($Zn = 13.00 + 12.82 * MRI_{(700mT)}$) and for Cu ($Cu = 2.30 + 1.46 * MRI_{(700mT)}$). The analyses of variance showed no significant difference between the groups dosed with soils varying concentration of magnetic minerals. This study showed that there is a relationship between the values of MRIS with the concentration of Cu and Zn in liver of *Mus musculus*, so this magnetic parameter can be used for determining the concentration of toxic elements in organs.

Keywords: Lineal regression, Remanent magnetization, Toxic elements in organs

RESUMEN

En humanos, las partículas de tamaño menor a 2.5 μm (PM_{2.5}) son capaces de ingresar al organismo por diferentes vías; muchas de estas partículas pueden contener material magnético y metales tóxicos que podría acumularse en diferentes tipos de órganos, lo que representa un riesgo a la salud. El objetivo de este estudio fue determinar si hay una acumulación de partículas magnéticas en el riñón e hígado de *Mus musculus* y su posible relación con la concentración de elementos tóxicos. Se obtuvieron 40 muestras de tejido (20 muestras de hígado y 20 muestras de riñón) a las que se les midió susceptibilidad magnética (κ) a baja frecuencia (0.46 kHz) y se adquirieron curvas de magnetización remanente isoterma. La determinación de la concentración de Cu y Zn fue realizada por espectrometría de absorción atómica. Se obtuvieron regresiones lineales para: Zn ($Zn = 13.00 + 12.82 * MRI_{(700mT)}$) y para Cu ($Cu = 2.30 + 1.46 * MRI_{(700mT)}$). El análisis de varianza no presentó una diferencia significativa entre los grupos dosificados con suelos con concentración variable de minerales magnéticos. Este estudio mostró que existe una relación entre los valores de MRIS con la concentración de Cu y Zn en el hígados de *Mus musculus*. De esta manera es posible emplear este parámetro magnético para determinar la concentración de elementos tóxicos en órganos.

Palabras Clave: Regresión lineal, Magnetización remanente, Elementos tóxicos en órganos



Introducción

Existe una gran cantidad de trabajos que emplean parámetros magnéticos para determinar de forma indirecta la concentración de ciertos elementos tóxicos (Cr, Co, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb, V y Z) para diversas muestras ambientales (suelos, polvo urbano y material botánico); las relaciones encontradas presentan valores estadísticamente aceptables (Evans, Heller, 2003; Morton-Bermea et al., 2009, Guzmán-Morales *et al.*, 2011; Qiao *et al.*, 2011, Bautista *et al.*, 2014). Los parámetros magnéticos que han mostrado una mejor correlación lineal con la concentración de elementos tóxicos son: susceptibilidad magnética (κ_{if}) y valores de la magnetización remanente (MRI) en campos entre 0.2 y 1.0 T (Jordanova *et al.*, 2008; Aguilar *et al.*, 2011, 2013; Cejudo *et al.*, 2015). La hipótesis de estos estudios es que las partículas magnéticas son capaces de adsorber y absorber metales potencialmente tóxicos a su estructura, por lo que, generalmente, existe una relación lineal entre las concentraciones de elementos tóxicos y los valores de κ_{if} y MRI (Morton *et al.*, 2009, 2011; Aguilar *et al.*, 2011). En humanos, las partículas de tamaño menor a $2.5\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) son capaces de ingresar al organismo por diferentes vías; estas partículas finas pueden contener material magnético y elementos tóxicos que pueden estar acumulándose en diferentes tipos de órganos y afectar la retención de otros elementos, lo que representa un riesgo a la salud (Aguilar *et al.*; 2011, Tang *et al.*, 2014). En zonas donde se registra alta concentración de material magnético puede haber concentraciones altas de elementos tóxicos, por lo que los organismos podrían estar mayormente expuestos a este tipo de partículas. El objetivo de este estudio fue determinar si hay una acumulación de partículas magnéticas en el riñón e hígado de *Mus musculus* y su posible relación con la concentración de elementos tóxicos, con la finalidad de determinar si es posible diagnosticar la presencia de elementos potencialmente tóxicos en órganos por medio de parámetros magnéticos.

Metodología

Se recolectaron tres muestras de suelo de aproximadamente 20 g, las cuales presentaron valores de susceptibilidad magnética volumétrica (κ) entre 496 a 116 SI (suelo #1(alto), $\kappa_{if} = 496$ SI; suelo #2 (medio), $\kappa_{if} = 300$ SI y suelo #3 (bajo), $\kappa_{if} = 116$ SI) y magnetización remanente isoterma a 700 mT (suelo #1, $\text{IRM}_{700\text{mT}} = 7.86 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$; suelo #2, $\text{IRM}_{700\text{mT}} = 4.5 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$; suelo #3, $\text{IRM}_{700\text{mT}} = 2.11 \text{ mAm}^2 \text{ kg}^{-1}$). Se preparó una solución de cada suelo; para ello, cada muestra de suelo fue secada por dos semanas en ausencia de luz y pulverizada en un mortero de porcelana. Con el material obtenido se prepararon tres soluciones de agua y una solución salina sin suelo como control. Se formaron cuatro grupos (grupo control, suelo #1, suelo #2 y suelo #3) de 5 especímenes de *Mus musculus* y a cada grupo se le dosificó por vía oral un solo tipo de solución por 12 días. Una vez transcurrido el tiempo, se extrajeron los dos riñones e hígado de cada lote. Se obtuvieron 20 muestras de tejido (20 de hígado y 20 pares de riñones). Los órganos fueron encapsulados en cajas de plástico de 8 cm^3 especiales para hacer pruebas magnéticas; adicionalmente se preparó un contenedor de plástico sin muestra como control de medición. El peso promedio del hígado fue 1 g y el peso aproximado de los riñones fue de 0.2 g.

Las mediciones de susceptibilidad magnética (κ) fueron hechas en un medidor de susceptibilidad Bartington MS2 con sensor dual MS2B a baja frecuencia (0.46 kHz) y se adquirieron curvas de magnetización remanente isoterma, para lo cual, cada muestra fue magnetizada en campos magnéticos de 25, 50, 75, 100, 200, 300, 500 y 700 mT por medio de un magnetizador de pulsos ASC Scientific modelo IM-10 a temperatura ambiente. La magnetización remanente (MRI) fue medida en un magnetómetro de giro Minispin ASC Scientific. El valor de la magnetización adquirida a 700 mT fue considerada en este trabajo como el valor de la magnetización remanente isoterma de saturación (MRIS). Las concentraciones de Cu, Pb y Zn de las muestras fueron obtenidas por espectrometría de absorción atómica en un equipo Thermo Scientific en el Laboratorio Estatal de Seguridad Pública de Michoacán. Para ello las muestras fueron digeridas en una solución de ácido nítrico (9 ml) y ácido clorhídrico (3 ml) y colocadas en digestor de microondas a 120°C ; posteriormente, la solución fue filtrada y aforada con agua des-ionizada a 100 ml. El análisis de varianza fue realizado por medio del software Statgraphic para determinar si hay una diferencia significativa entre los lotes para cada parámetro medido.



Resultados

Los resultados magnéticos de los órganos de *Mus musculus* no están normalizados a masa debido al poco material que se obtuvo de los órganos. Los resultados promedios de las mediciones magnéticas y la concentración de Cu y Zn en muestras de hígados se presentan en la Tabla 1. El análisis de varianza simple

Tabla 1. Resultados promedio de parámetros magnéticos y concentración de Cu y Zn en hígado de *Mus musculus*

Solución	N	κ SI	MRI _{700mT} mA m ⁻¹	Cu μg kg ⁻¹	Zn μg kg ⁻¹
Control	5	$-4.9 \pm 4.5 \times 10^{-06}$	1.4 ± 0.4	4.6 ± 1.1	40.5 ± 10.5
Suelo 1	5	$-6.0 \pm 4.8 \times 10^{-06}$	0.9 ± 0.2	3.3 ± 0.4	25.4 ± 4.3
Suelo 2	5	$-3.7 \pm 6.3 \times 10^{-06}$	1.1 ± 0.2	4.0 ± 1.5	20.4 ± 1.7
Suelo 3	5	$-1.2 \pm 4.6 \times 10^{-06}$	2.2 ± 1.0	4.4 ± 1.2	22.2 ± 11.02

mostró que únicamente la concentración de Zn en muestras de hígado presentó una diferencia significativa entre los grupos (sus valores estadísticos mostraron valor-P de la prueba-F menor que 0.05 con un nivel del 95.0% de confianza). El valor de la mediana se diferencia claramente del grupo conformado por el suelo 1, suelo 2 y suelo 3 de la mediana del grupo control (Fig. 1). Las regresiones lineales obtenidas entre

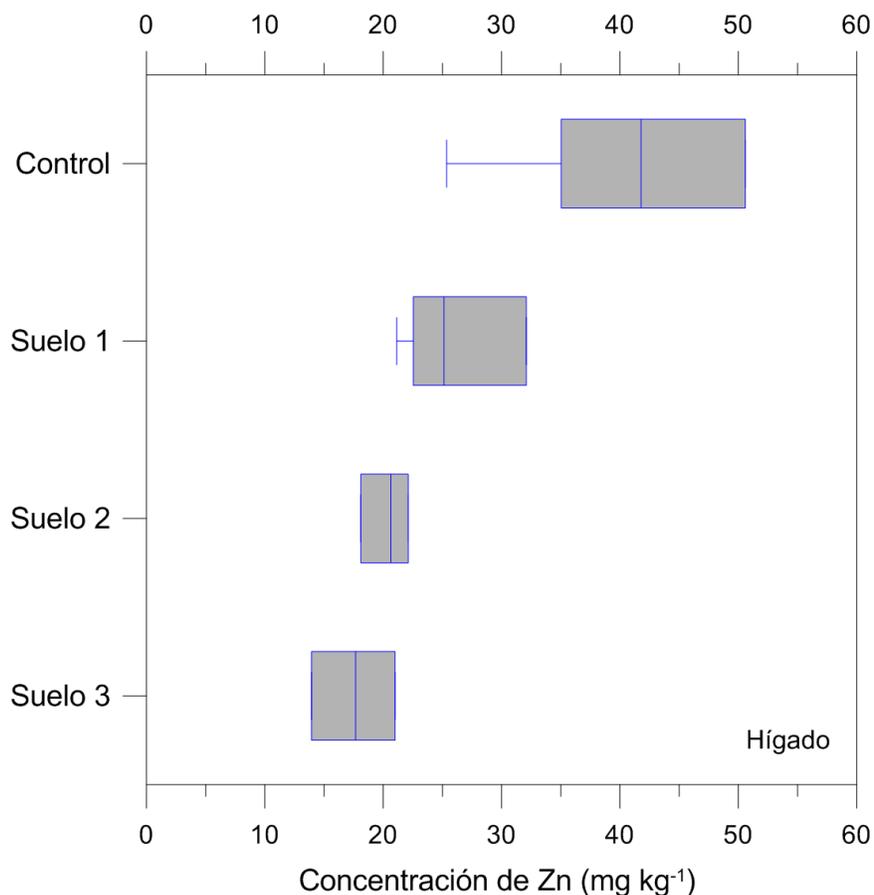


Figura 1. Gráfica de barras y bigotes para valores de concentración de Zn en Riñones de *Mus musculus*.



los valores de MRIS con Cu y Zn presentaron un coeficiente de correlación (CC) mayor que 3 y valor de P menor a 0.05. La ecuación del modelo ajustado para Cu (CC de 0.50 y P valor <0.05) es: $Cu = 2.30 + 1.46 * MRI_{(700mT)}$ y para Zn (CC de 0.52 y P valor <0.05) es: $Zn = 13.00 + 12.82 * MRI_{(700mT)}$ (Fig. 2).

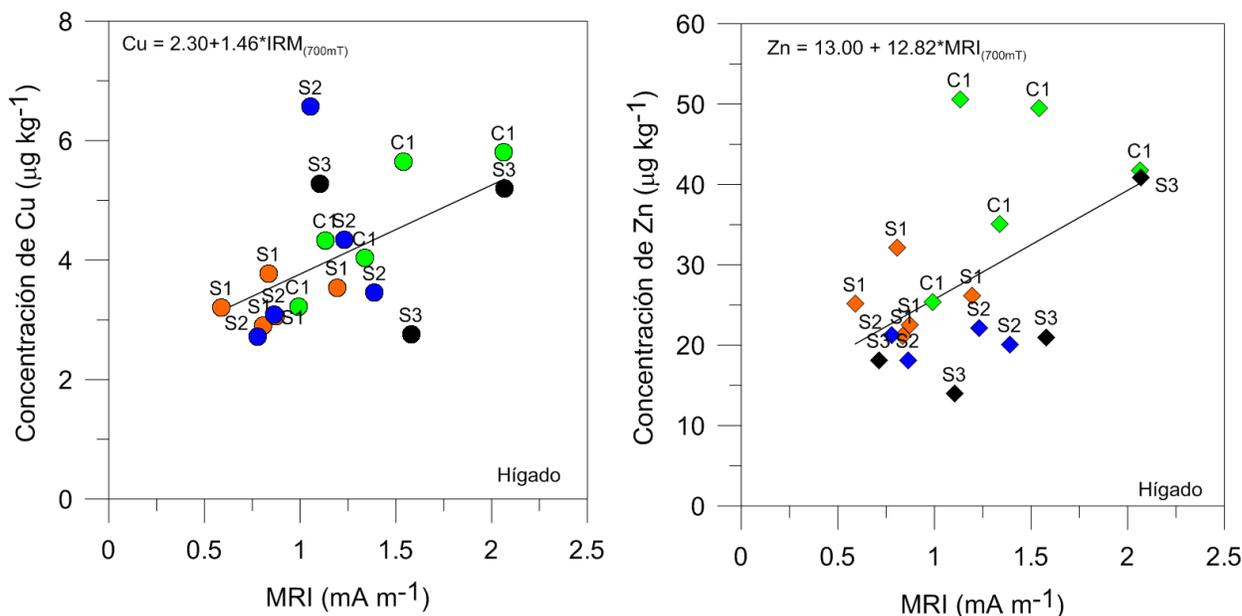


Figura 2. Regresiones lineales entre MRI vs concentración de Cu y Zn en hígados de *Mus musculus*.

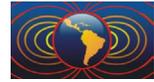
Los resultados promedio de las mediciones magnéticas y concentración de Cu y Zn en riñones se presentan en la Tabla 2. Muchos de los riñones mostraron valores atípicos e incluso ausencia de Cr y Zn, por lo que

Tabla 2. Resultados promedio de parámetros magnéticos y concentración de Cu y Zn en riñones de *Mus musculus*

Solución	N	κ SI	MRI_{700mT} mA m-1	Cu $\mu g\ kg^{-1}$	Zn $\mu g\ kg^{-1}$
Control	5	$-7.3 \pm 4.0 \times 10^{-06}$	9.4 ± 2.1	2.4 ± 1.7	2.0 ± 8.0
Suelo 1	5	$-7.3 \pm 4.0 \times 10^{-06}$	1.3 ± 5.4	4.0 ± 3.3	9.3 ± 3.7
Suelo 2	5	$-3.4 \pm 2.9 \times 10^{-06}$	1.5 ± 6.7	7.0 ± 9.9	4.1 ± 2.4
Suelo 3	5	$-3.9 \pm 5.2 \times 10^{-06}$	1.2 ± 5.5	5.3 ± 2.9	1.9 ± 6.9

se observan desviaciones estándar altas. El análisis de varianza simple para Zn en muestras de riñón mostro una diferencia significativa entre los grupos conformados por suelo 1 y suelo 2 ($6.71\ \mu g\ kg^{-1}$) con el grupo conformado con suelo control y suelo 3 ($19.63\ \mu g\ kg^{-1}$), al presentar valor-P de la prueba-F menor que 0.05 con un nivel del 95.0% de confianza. El modelo de regresión lineal para establecer una relación entre la concentración de elementos tóxicos con parámetros magnéticos no pudo establecerse para este órgano, ya que nos se cumplió con los criterios de coeficiente de correlación (CC) mayor que 3 y valor de P menor a 0.05.

La detección de Pb solo fue registrada en algunos hígados y riñones: En el hígado del espécimen #2 de control (C1H2) con $49.50\ \mu g\ kg^{-1}$ y en el hígado del espécimen #3 del suelo 3 (S3H3) con $8.74\ \mu g\ kg^{-1}$. En los riñones del espécimen #1 del control (C1R1) con $26.07\ \mu g\ kg^{-1}$ y en los riñones del espécimen #2 del suelo 3 (S3R3) con $23.26\ \mu g\ kg^{-1}$.



Conclusiones

En este estudio se observó que existe la presencia de material magnético de características ferrimagnéticas en el hígado y riñones de *Mus musculus*; sin embargo, su origen no pudo ser determinado con precisión, ya que los resultados del análisis de varianza no muestran diferencias significativas entre los grupos dosificados, por lo que no se muestra una relación clara entre la dosis de agua contaminada y el aumento de partículas magnéticas en los órganos de los ratones y concentración de Zn y Cu. Por lo tanto, la retención y concentración de materiales magnéticos y elementos tóxicos puede deberse a otros factores. La disminución en la retención (acumulación) de Zn en los órganos de los ratones expuestos a los suelos 1 y 2 sugiere la presencia de otros metales como Cd que pueden desplazar la retención de Zn. Por otra parte, los análisis de regresión simple mostraron que se puede establecer una relación entre los valores de MRIS con la concentración de Cu y Zn en el hígado de *Mus musculus*. De esta manera es posible emplear el parámetro magnético de MRIS para determinar concentración de elementos tóxicos en el hígado.

Referencias

- Aguilar B., Bautista F., Goguitchaichvili A., Morales J., Quintana P., Carvalho, C., Battu J., 2013. Rock-magnetic properties of topsoils and urban dust from Morelia (>800,000 inhabitants), Mexico: Implications for anthropogenic pollution monitoring in Mexico's medium size cities. *Geof. Intern.*, 52, 121-133
- Aguilar B., Bautista F., Goguitchaichsvili A., Morton O., 2011. Magnetic monitoring of top soils of Merida (south Mexico). *Stud. Geophys. Geod.*, 55, 361-372
- Bautista F., Cejudo R., Aguilar B., Goguichaisvili A., 2014. El potencial del magnetismo en la clasificación de suelos: una revisión. *Bull. Soc. Geol. Mex.* 66, (2), 365-376
- Cejudo R., Bautista F., Quintana P., Delgado A., Aguilar A., Goguitchaisvili A., Morales J., 2015. Correlación entre elementos potencialmente tóxicos y propiedades magnéticas en suelos de la Ciudad de México para la identificación de sitios contaminados: definición de umbrales magnéticos. *Rev. Mex. Cienc. Geol.*, 32, (1), 50-61
- Evans M.E., Heller F., 2003. Environmental Magnetism-Principles and Applications of Enviromagnetics. *Int. Geophysics Ser.*, 86, Academic press, Amsterdam, 293 pp.
- Guzmán-Morales J., Morton-Bermea O., Hernández-Álvarez E., Rodríguez-Salazar M., García-Arreola M., Tapia-Cruz V., 2011. Assessment of Atmospheric Metal Pollution in the Urban Area of Mexico City, Using *Ficus benjamina* as Biomonitor. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 86, 495-500
- Jordanova N., Jordanova D., Tsacheva T., 2008. Application of magnetometry for delineation of anthropogenic pollution in areas covered by various soil types. *Geoderma*, 144, 557-571
- Morton-Bermea O., Hernández E., Martínez-Pichardo E., Soler-Arechalde A., Lozano-Santa-Cruz R., González-Hernández G., Beramendi-Orosco L., Urrutia-Fucugauchi J., 2009. Mexico City topsoils: Heavy metals vs magnetic susceptibility. *Geoderma*, 151, 121-125.
- Qiao Q., Zhang C., Huang B., Piper J., 2011. Evaluating the environmental quality impact of the 2008 Beijing Olympic Games: magnetic monitoring of street dust in Beijing Olympic Park. *Geophys. J. Int.*, 187, 1222-1236
- Tang L., Qiu R., Tang Y., Wang S., 2014. Cadmium-zinc exchange and their binary relationship in the structure of Zn-related proteins: a mini review. *Metallomics*, 6, 1313-1323