

**DETERMINACIÓN DE MICROELEMENTOS Y MINERALES TRAZA  
EN SUELOS ALEDAÑOS A LA EMPRESA  
ELECTROQUÍMICA DE SAGUA, CUBA**

**DETERMINATION OF MICROELEMENTS AND TRACE MINERALS IN  
SURROUNDING SOILS OF SAGUA ELECTROCHEMICAL COMPANY, CUBA**

*Pedro César Quero-Jiménez<sup>1,2\*</sup>, Margie Zorrilla Velazco<sup>1</sup>, Sergio Morales Fernández<sup>3</sup>,  
Jorge de la Torre<sup>4</sup>, Idolina Acosta<sup>1</sup> y Ángel Mollineda Trujillo<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>Centro de Estudios de la Química Aplicada. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup>Centro de Bioactivos Químicos. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>3</sup>Departamento de Licenciatura en Farmacia. Facultad de Química - Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>4</sup>Departamento de Licenciatura en Química. Facultad de Química - Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>5</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Recibido: Septiembre 6, 2018; Revisado: Octubre 18, 2018; Aceptado: Noviembre 14, 2018

**RESUMEN**

En el presente trabajo se determinó el contenido de cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr) total, cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y cinc (Zn) en muestras de suelo provenientes de la vaquería que se localiza en los alrededores de la Empresa Electroquímica de Sagua, mediante Espectroscopía de Absorción Atómica. Los niveles encontrados en las diferentes muestras no superaron los valores límites de referencia (Cd (6,1 mg.kg<sup>-1</sup>), Co (253,3 mg.kg<sup>-1</sup>), Cr (4418,3 mg.kg<sup>-1</sup>), Cu (269,9 mg.kg<sup>-1</sup>), Ni (3030,8 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (113,6 mg.kg<sup>-1</sup>), Zn (260,1 mg.kg<sup>-1</sup>) para suelos cubanos. Las tendencias en cuanto a la distribución de los metales en los suelos de dicha vaquería es a aumentar su concentración con la profundidad, siendo más pronunciado para el Ni y el Zn.

**Palabras clave:** Contaminación; microelementos; minerales traza; suelos.

Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

\* Autor para la correspondencia: Pedro C. Quero-Jiménez, Email: [pquero@uclv.cu](mailto:pquero@uclv.cu)

## **ABSTRACT**

In the present work the content of cadmium, copper, chromium, lead, nickel and zinc in soil samples from a dairy located in surroundings of Sagua electrochemical company was determined by atomic absorption spectroscopy. The levels found in different samples do not exceed the reference limit values: Cd ( $6.1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Co ( $253.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Cr ( $4418.3 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Cu ( $269.9 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Ni ( $3030.8 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Pb ( $113.6 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), Zn ( $260.1 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) for Cuban soils. Trends in distribution of metals in soils of this dairy is to increase its concentration with depth, being more pronounced for nickel and zinc.

**Key words:** pollution; microelements; trace minerals; soils.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los microelementos (Cd, Co, Cr, Ni, Pb) y los minerales traza (Cu y Zn) participan en un conjunto de funciones vitales; muchas de ellas como componentes de importantes sistemas enzimáticos que se vinculan con la inmunidad, metabolismo y las funciones reproductivas (Pogge et al., 2012). En Cuba, el 66 % de los suelos están catalogados entre muy poco productivos y poco productivos, con las siguientes limitantes: salinidad, sodicidad, erosión, mal drenaje, baja fertilidad y bajo contenido de materia orgánica (ONEI, 2007). Los suelos destinados a la ganadería se clasifican como: Ferralíticos cuarcíticos, Amarillos lixiviados, Pardos, Escabrosos, Vérticos, Fersialíticos, Hidromórficos y Aluviales.

El deterioro paulatino de la base alimentaria, el mal manejo de los pastos, la reducción de la dinámica del suelo y la inexistencia de suplementación mineral, especialmente de microelementos, son condiciones objetivas para la existencia de insuficiencias minerales (Alfonso y col., 2007; ONEI, 2007). Cuando ocurre lo contrario; es decir, el aumento de las concentraciones de los minerales traza en el sistema suelo-planta-animal debido a actividades antropogénicas, los daños causados son incalculables y con consecuencias devastadoras para los ecosistemas y las poblaciones que son sometidas a sus efectos.

La ciudad de Sagua la Grande en la región central del país es una de los municipios más industrializados de la provincia Villa Clara. Cuenta con importantes industrias como la Empresa Electroquímica de Sagua, la cual tiene una capacidad diaria de producción de 48 toneladas de cloro gaseoso y 108 toneladas de sosa cáustica. Los lodos mercuriales generados del proceso productivo en la planta "Elpidio Sosa" (ELQUIM) durante la etapa de purificación de la salmuera representan un foco significativo de contaminación por mercurio (Hg). Una vez formado el lodo, se realiza un proceso de estabilización con la adición de sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), antes de disponerlo en nichos de concreto. El almacenamiento inadecuado de este lodo puede provocar que cantidades significativas de Hg y otros metales pesados puedan lixiviar hacia los suelos circundantes. La ocurrencia con regularidad de desastres naturales, como los huracanes, agravan los riesgos de dispersión del Hg y otros metales en el ambiente, Busto (2012). El presente trabajo tiene como objetivo determinar los niveles de los microelementos Ca, Co, Cr, Ni y Pb; y de los minerales traza Cu y Zn, en suelos de la vaquería aledaña a la Empresa Electroquímica de Sagua.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Muestreo

Las muestras fueron recolectadas en terrenos aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande. Debido a las características del suelo, las muestras fueron tomadas a dos niveles de profundidad: en la superficie, 0-2 cm; y en la zona intermedia del perfil de suelo, 20 cm. En cuanto al tamaño de la muestra, se tomó una porción de suelo de un kilogramo, lo cual satisface las exigencias analíticas específicas para la realización de los estudios. En la preparación de muestras, el aspecto fundamental fue lograr representatividad de la muestra preparada con relación al suelo a que corresponde, pues de ello dependerá la veracidad del resultado del ensayo a realizar (NC10:1998). Los suelos a evaluar se agruparon de acuerdo a la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 2015). La Figura 1 muestra el mapa de la región en escala (1/25 000 m) donde se observan los puntos de muestreo.



**Figura 1.** Mapa de la región en escala (1/25 000)

Las muestras analizadas constituyen los perfiles 200 (125 m en dirección norte a partir de la fuente de contaminación) y 201 (125 m en dirección oeste), según la clasificación definida en la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Instituto de Suelos, 2015). Estos perfiles muestran altos contenidos de carbonatos y arcillas, son de topografía llanos o casi llanos, y, a su vez, presentan una humedad de alta a mediana. Para representar estos perfiles es común usar la notación que se ofrece a continuación.

$$\text{Perfil 200} \rightarrow XA7_4 \frac{p^3 h^2 L^4}{CX_5 W_4} 30 t_2 \quad (1)$$

X- Pardo con carbonato (Tipo)

A-Típico (Sub tipo)

7- Caliza suave (Género)

4- Carbonatado (Grado de Saturación)

p<sup>3</sup>- Poco Profundo (Especie)

h<sup>2</sup>-Humificado

L<sup>4</sup>- Carbonatado

C- Arcilla (Variedad)

X<sub>5</sub>- Muy poca graviliosidad

W<sub>4</sub>- Moderadamente pedregoso

30-Poco Profundo (Profundidad efectiva)

t<sub>2</sub>- Llano (Topografía)

$$\text{Perfil 201} \rightarrow XVIK12_3 \frac{p^2 h^3}{a} 25 t_3 \quad (2)$$

XVI- Oscuro plástico Gleysoso (Tipo)

K-Negro Grisáceo (Sub tipo)

12- Material transportado arcilloso generalmente (Género)

3- Saturado (Grado de Saturación)

p<sup>2</sup>- Medianamente profundo (Especie)                      25-Poco Profundo (Profundidad efectiva)  
h<sup>3</sup>- Medianamente humificado                              t<sub>3</sub>- Casi llano (Topografía)  
a- Arcilla (Variedad)

En la preparación de las muestras se siguieron los procedimientos descritos por Rodríguez (2000), las que después de secadas a temperatura ambiente durante siete días, y se tamizaron empleando un tamiz de 0,5 mm.

## **2.2. Digestión de las muestras**

Para lograr la digestión de los suelos, se realiza un tratamiento con agua regia mediante el siguiente procedimiento:

1. Fue transferido 1,000 g de tierra secada a 105°C durante 1 h a un erlenmeyer o frasco de digestión. La porción fue humedecida con 2-3 mL de agua y se le agregó consecutivamente 7,5 mL de ácido clorhídrico y 2,5 mL de ácido nítrico concentrado. Se trabajó bajo campana.
2. Se cubrió el recipiente con un vidrio del reloj y se permitió reaccionar toda la noche bajo la campana (el mínimo 12 h).
3. Fueron conectadas las columnas refrescantes, se calentó progresivamente y bajo reflujo por 2h. Al terminar se permitió refrescar progresivamente a temperatura ambiente, enjuagándose la columna refrescante con un máximo de 30 mL y recuperando el agua de enjuague en el vaso de la digestión.
4. Fue filtrado el extracto en un filtro antiácido en un frasco volumétrico de 50 mL.
5. Se procedió entonces a enjuagar el vaso de la digestión y el residuo en el filtro varias veces con cantidades pequeñas (10 mL) de ácido nítrico (2M) caliente (50°C).
6. Se permitió refrescar y diluir a 50 mL con la solución de ácido nítrico (2M).

## **2.3. Análisis de las muestras**

Las muestras analizadas fueron las tomadas en las direcciones norte y oeste que es donde la probabilidad de encontrar contaminación es mayor. Además, en las direcciones sur y este se realizan actualmente movimientos de tierra y labores constructivas, para lo que será la nueva planta de cloro-álcali con tecnología de membrana, por lo que se decidió no muestrearlas. Para la determinación de Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn se utiliza el método de espectrometría de absorción atómica, utilizándose las longitudes de onda a las cuales se le hace corresponder la máxima absorción del elemento: Cd (228,8 nm), Co (240,7 nm), Cr (357,9 nm), Cu (324,8 nm), Ni (232,0 nm), Pb (283,3 nm) y Zn (213,9 nm). Para llevar a cabo la cuantificación de estos metales, se construyen las correspondientes curvas de calibración usando patrones de grado analítico.

Para el procesamiento estadístico se utilizó el paquete de programas profesional STATGRAPHICS Centurión versión 15.2 y Microsoft Office Excel y se emplearon los análisis de correlación y regresión simple, escogiéndose las ecuaciones de mejor ajuste.

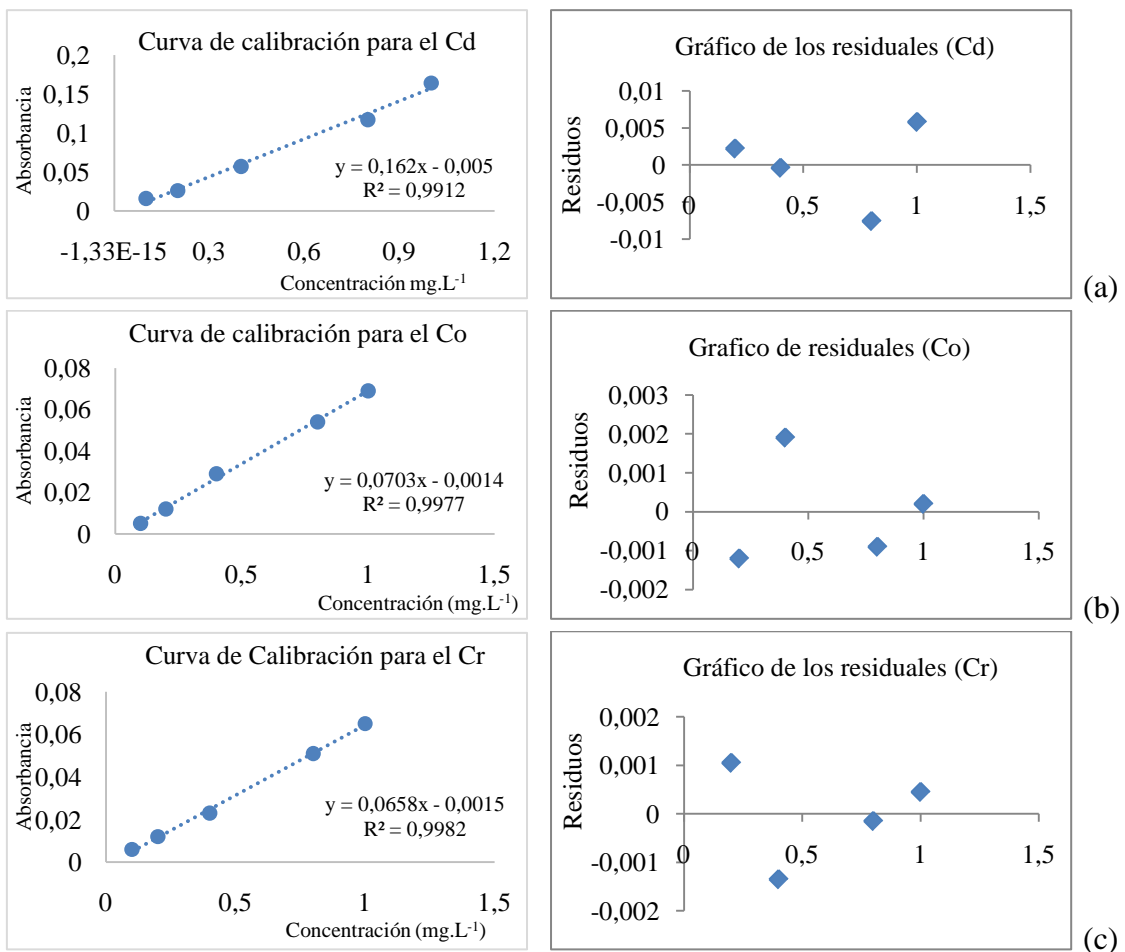
### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

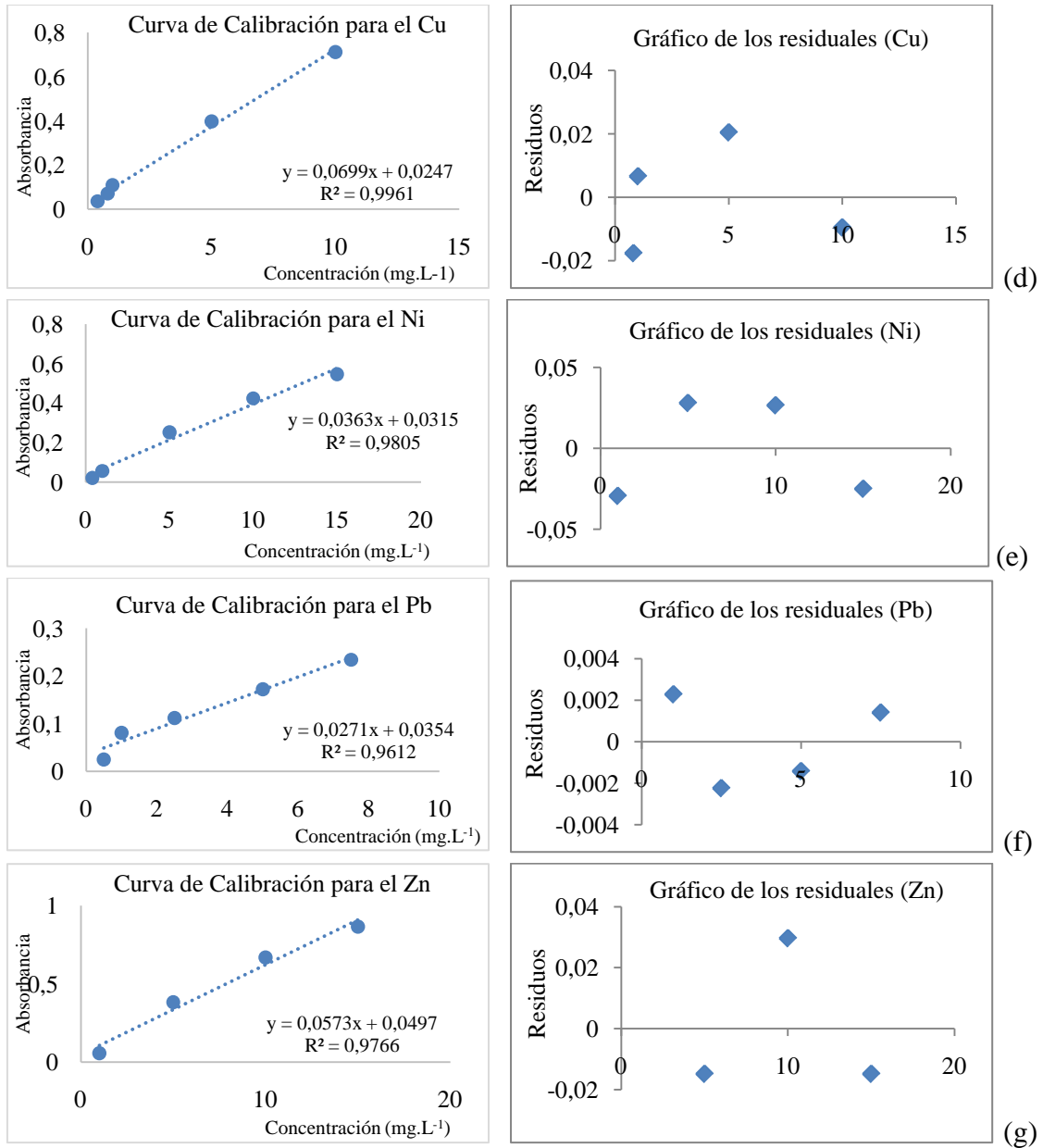
#### 3.1. Análisis de la linealidad de las curvas de calibración

En todos los casos existe una dependencia lineal entre las variables absorbancia y concentración de cada elemento en los intervalos de concentración estudiados como se puede apreciar en la Figura 2. En este sentido, los valores del coeficiente de determinación lineal ( $R^2$ ) fueron mayores que el valor establecido (0,990), lo que indica que existe una alta correlación entre las variables estudiadas (NCTS-368:2010; Jurado, 2017). En la Tabla 1 se puede apreciar que como valor de la prueba F se obtiene que  $F_{cal} > F_{crítica}$  en todos los casos, elemento adicional que reafirma que la posible variabilidad en la curva de calibración no afecta la linealidad. Teniendo en cuenta lo antes expuesto y los análisis de los gráficos de residuos mostrados también en la Figura 2, se demuestra un alto grado de correlación lineal en los intervalos de concentración estudiados.

**Tabla 1.** Test de Fisher en el análisis de linealidad de las curvas de calibración

Parámetro	Test de Fisher ( $F_{cal} > F_{crítica}$ )
Cd	234,2240 > 0,0042
Co	654,9491 > 0,0015
Cr	1140,0634 > 0,00087
Cu	615,00008 > 0,00162
Ni	89,9150 > 0,0109
Pb	1942,4034 > 0,00051
Zn	88,3558 > 0,0674





**Figura 2.** Curvas de calibración y gráficos de los residuales

### 3.2. Interpretación de los resultados

En el análisis de la Figura 3 (a) puede observarse que los menores contenidos de microelementos y minerales traza en suelos se encuentran en la dirección norte, a la profundidad de 0-2 cm, donde la mayor concentración la presenta el Zn (0,8014 mg.kg<sup>-1</sup>) en la muestra tomada en la propia cerca perimetral de la empresa. Sin embargo, a la profundidad de 2-20 cm, los contenidos de metal son mayores, donde el Ni con 0,1354 mg.kg<sup>-1</sup> y el Zn con 0,1307 mg.kg<sup>-1</sup> poseen las mayores concentraciones, respectivamente.

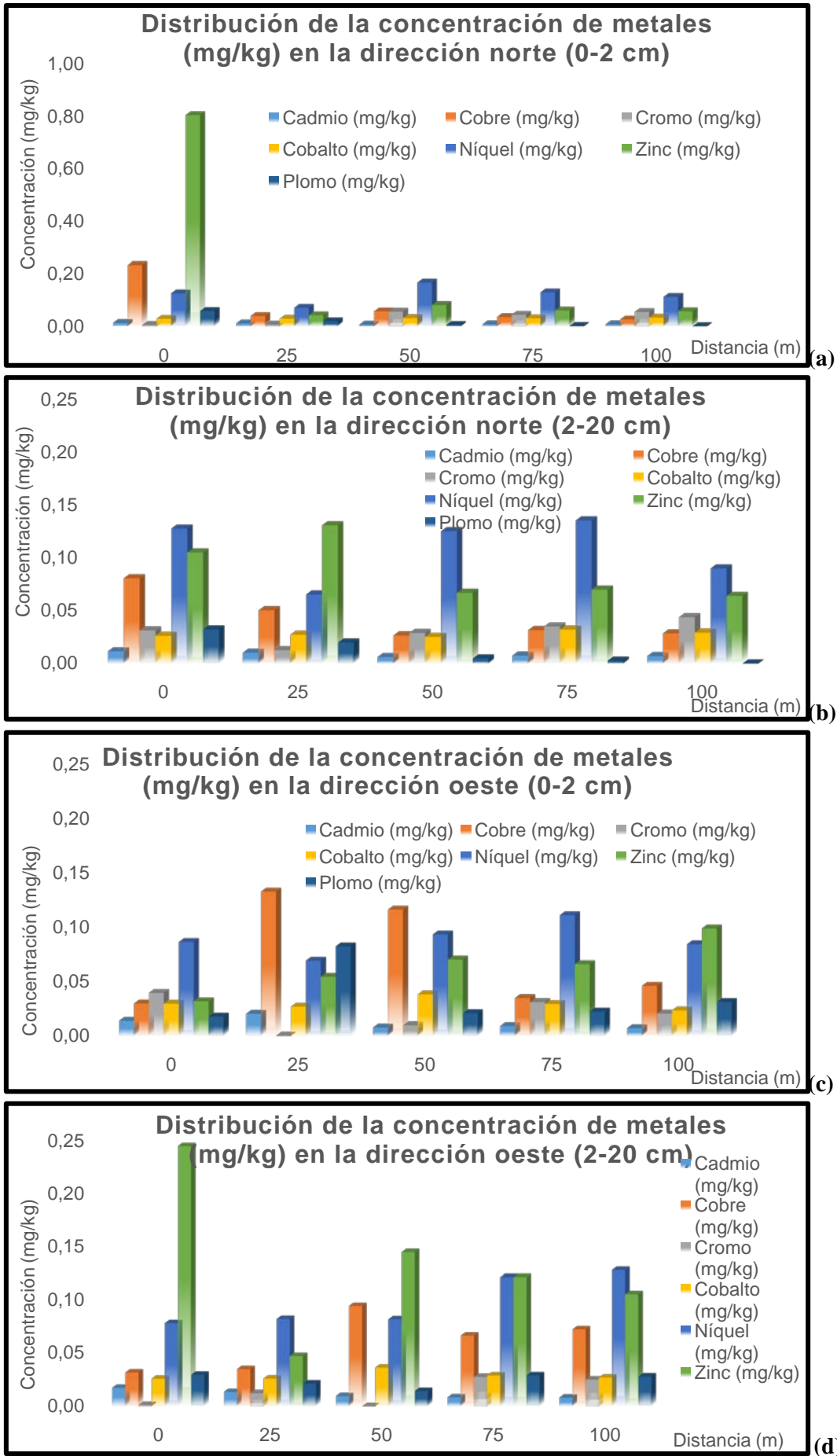


Figura 3. Comparación de las concentraciones de microelementos y minerales en suelos

En la dirección norte, de manera general, puede observarse que a medida que existe un alejamiento de la empresa, el contenido de microelementos y de los minerales traza se comporta irregularmente, debido, tal vez, a un lavado lateral fuerte y continuo, producido por los lixiviados de la misma, siendo los elementos predominantes el Zn y el Ni, al estar sometidos a condiciones de reducción, aumenta su solubilidad y pueden ser movidos tanto vertical como lateralmente. Algo similar ocurre para el Cu que es soluble en condiciones de anaerobiosis (Pessarakli, 1999; Holland et al., 2005; Okbah et al., 2008). Para el Cr se observa que existe un aumento de la concentración mientras aumenta la distancia a la empresa, alcanzando su mayor concentración (0,0439 mg.kg<sup>-1</sup>) a los 100 m de la cerca perimetral.

En la dirección oeste, el comportamiento de las concentraciones de los metales es semejante a las profundidades analizadas: las mayores concentraciones se obtienen para el Cu a los 25 m (0,1323 mg.kg<sup>-1</sup>) y a los 50 m (0,1162 mg.kg<sup>-1</sup>) respectivamente, a la profundidad de 0-2 cm. El Ni, a esa misma profundidad alcanza su mayor concentración (0,1111 mg.kg<sup>-1</sup>) a los 75 m de distancia de la empresa, mientras que, a la profundidad de 20 cm, este microelemento tiende a aumentar con la distancia, consecuencia del fuerte y continuo lavado lateral. Para el caso del Zn, se observa que sus concentraciones a la profundidad de 0-2 cm son semejantes, alcanzándose la mayor concentración (0,0989 mg.kg<sup>-1</sup>) a los 100 m de distancia de la cerca perimetral. A la profundidad de 20 cm este metal tiene un comportamiento diferente, ya que su tendencia es a la de disminuir a medida que se avanza en distancia desde la empresa, con la mayor concentración a cero metros de distancia con 0,24483 mg.kg<sup>-1</sup>. De modo general, los contenidos de los metales tienden a aumentar con la profundidad. Dicho aumento es más pronunciado para el Ni y el Zn. Esta contaminación puede considerarse muy dinámica porque, al moverse en el terreno a través de las capas más permeables, se facilita su dispersión y aumenta el área afectada.

Las muestras analizadas presentan un contenido de microelementos y metales traza que es fácilmente detectable por espectrometría de absorción atómica, sin la necesidad de preconcentrar antes de llevar a cabo el análisis; aunque las concentraciones de los mismos son bajas en comparación con otros sitios estudiados en Cuba, como muestra la tabla 2.

**Tabla 2.** Concentración de microelementos y metales traza en diferentes ciudades de Cuba

<i>Sitio</i>	<i>Elementos (mg.kg<sup>-1</sup>)</i>						<i>Ref.</i>
	<i>Co</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Ni</i>	<i>Pb</i>	<i>Zn</i>	
Las Tunas	14 ± 2	97 ± 30	94 ± 26	35 ± 36	42 ± 99	199 ± 87	a
Cienfuegos	NA	NA	82 ± 72	47 ± 31	225 ± 313	277 ± 242	b
La Habana	13,9 ± 4,1	NA	101 ± 51	66 ± 26	101 ± 161	240 ± 132	c
	8,4 ± 2,7	NA	252 ± 80	50 ± 27	276 ± 140	489 ± 230	d
Moa	14 ± 1,63	1528,57 ± 377,35	NA	445,14 ± 152,48	NA	NA	e



\*NA-No analizado

a (Díaz-Rizo et al., 2013b), b (Díaz-Rizo et al., 2013a), c (Díaz-Rizo et al., 2011b), d (Díaz-Rizo et al., 2012), e (Díaz-Rizo et al., 2011a)

Del análisis de la tabla anterior se infiere la alta contaminación que presentan los suelos urbanos de Cuba, presentando los de Cienfuegos una elevada contaminación por Pb, Zn y Cu (Díaz-Rizo et al., 2013a), siendo menor la contaminación por Ni. También se demuestra que no todas las ciudades importantes del país han sido estudiadas, o al menos no se encuentran publicados dichos estudios, así como tampoco existen referencias acerca de la contaminación por estos elementos en sitios de interés económico. Solamente se encontró un estudio realizado por (Reeves et al., 1999; Ugarte et al., 2015) que demuestra evidencias de la hiper-acumulación de Ni en la flora serpentina de Cuba, no existiendo investigaciones para otros elementos, ni otras especies de la flora. Tampoco existen publicaciones que hayan analizado el Cd en la matriz objeto de estudio. También se destaca que el elemento Cd ha sido estudiado poco en los suelos de Cuba.

Es de destacar que los niveles encontrados en las diferentes muestras no superan los valores límites de referencia (Cu (269,9 mg.kg<sup>-1</sup>), Co (253,3 mg.kg<sup>-1</sup>), Cr (4418,3 mg.kg<sup>-1</sup>), Cd (6,1 mg.kg<sup>-1</sup>), Ni (3030,8 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (113,6 mg.kg<sup>-1</sup>), Zn (260,1 mg.kg<sup>-1</sup>) para suelos cubanos (Alfaro et al., 2015). A pesar de ello, prevalece el riesgo de que la baja concentración encontrada en suelo se deba a la acumulación de dichos elementos en plantas, atendiendo a que estas vegetaciones están siendo ingeridas por el ganado e indirectamente puede llegar al consumo humano.

#### **4. CONCLUSIONES**

1. Los suelos aledaños a la Empresa Electroquímica de Sagua no sobrepasan los límites considerados en las normas internacionales para los elementos Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, así como de los valores de referencia para suelos cubanos; sin embargo, se encuentran cerca de dicho valor.
2. La tendencia en cuanto a la distribución de los metales en los terrenos de la vaquería aledaña a la Empresa Electroquímica de Sagua es a aumentar su concentración con la profundidad, siendo más pronunciado este aumento para el Ni y el Zn, esto es consecuencia de la profundidad de los nichos y de la poca movilidad que deben presentar en la matriz los elementos que estuvieron sujetos a estudio.

#### **REFERENCIAS**

- Alfaro, M.R., Montero, A., Muñiz, O., Araújo do Nascimento, C.W., de Aguiar, A.M., Miranda, C., Agra, Y.J., Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba., *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 187, No. 1, 2015, pp. 4187-4198.
- Alfonso, A., Figueroa, A., García, T., Rodríguez, I., Donatín, M., Influencia de la época, momento del servicio post-parto y eficiencia del celaje sobre el comportamiento reproductivo del Siboney de Cuba., *Memorias del V Congreso de Ciencias Veterinarias.*, Palacio de las Convenciones, La Habana, 2007, Cuba.

- Busto, Y., Thermal treatment for decontamination of mercury containing wastes from chlor-alkali industry., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Especialidad Ingeniería Química en la Universidad de Ghent, Bélgica, 2012.
- Díaz-Rizo, O., Quintana, E., Alonso, C.M., Cartas, H., D'Alessandro, K., López, N., Arado, J.O., Niveles de radionúclidos naturales y metales pesados en suelos urbanos de la ciudad de Cienfuegos., *Ciencias Nucleares*, Vol. 54, 2013a, pp. 17-22.
- Díaz-Rizo, O., Fonticiella, D., Arado, J. O., Borrell, J.L., D'Alessandro, K., López, N., Spatial Distribution and Contamination Assessment of Heavy Metals in Urban Topsoils from Las Tunas City, Cuba., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 91, No. 1, 2013b, pp. 29-35.
- Díaz-Rizo, O., Coto, I., Arado, J. O., Díaz, O., López, N., D'Alessandro, K., Chromium, Cobalt and Nickel Contents in Urban Soils of Moa, Northeastern Cuba., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 86, No. 2, 2011a, pp. 189-193.
- Díaz-Rizo, O.D., Echeverría, F., Arado, J.O., Hernández, M., Assessment of Heavy Metal Pollution in Urban Soils of Havana City, Cuba., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 87, No. 4, 2011b, pp. 414-419.
- Díaz-Rizo, O., Hernández, M., Echeverría, F., Arado, J.O., Assessment of Metal Pollution in Soils from a Former Havana (Cuba) Solid Waste Open Dump., *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, Vol. 88, No. 2, 2012, pp. 182-186.
- Holland, H.D., Lollar, B.S., and Turekian, K.K., *Environmental Geochemistry*, Elsevier, Treatise on geochemistry, 2005, pp. 41-65.
- Instituto de Suelos., Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba., Ministerio de la Agricultura, Ciudad de La Habana, 2015, pp. 50-64.
- Jurado, J.M., Aplicación de Microsoft Excel a la Química Analítica, Validación de métodos analíticos, Sevilla, 2017, pp. 1-47.
- NC10:1998., Geotecnia. Preparación de muestras de suelo., La Habana, Cuba, 1998, pp. 1-13.
- NCTS-368:2010., Guía para la Validación de métodos de ensayos químicos para alimentos., La Habana, Cuba, 2010, pp. 1-48.
- Ogbah, M.A., Nasr, S.M., and Kasem, S.M., Heavy metals availability (Fe, Mn, Zn, Cu and Cr) in Aden Gulf sediments under aerobic and anaerobic conditions., *Chemistry and Ecology*, Vol. 24, No. 2, 2008, pp. 109-117.
- ONEI, 2007., Clasificación agroproductiva de los suelos de Cuba, 2001, pp. 17-19.
- Pessaraki, M., *Handbook of Plant and Crop Stress.*, Marced Lekkerin, C., Second Edition, 1999, pp. 287-293.
- Pogge, D.J., Richter, E.L., Drewnoski, M.E., Hansen, S.L., Mineral concentrations of plasma and liver after injection with a trace mineral complex differ among Angus and Simmental cattle., *Journal of Animal Science*, Vol. 90, No. 8, 2012, pp. 2692-2698.
- Reeves, R.D., Baker, A.J.M., Borhidi, A., Berazai, R., Nickel Hyperaccumulation in the Serpentine Flora of Cuba., *Annals of Botany*, Vol. 83, No.1, 1999, pp. 29-38.
- Ugarte, O.M., Rodríguez-Alfaro, M., Montero, A., Estévez, J., de Aguiar, A.M., Araujo, C.W., El Níquel en suelos y plantas de Cuba., *Cultivos Tropicales*, Vol. 36, No. especial, 2015, pp. 25-33.