

Fraccionamiento de metales pesados en suelos cultivados con tabaco en Pinar del Río, Cuba

Fractionation of heavy metals in soils grown with tobacco in Pinar del Río, Cuba.

Alexei Yoan Martínez Robaina. ¹, Nelson Moura B. do Amaral Sobrinho. ², José M. Febles González. ³, Erica Souto Abreu Lima. ⁴, Mileisys Benítez Odio ⁵,

¹ Universidad de Pinar del Río. ✉ amartinez@upr.edu.cu

² Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. ✉ nmbdas@gmail.com

³ Universidad de la Habana. ✉ febles@rect.uh.cu

⁴ Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. ✉ ericaabreulima@gmail.com

⁵ Universidad de Pinar del Río. ✉ mileysis@upr.edu.cu

Rec.: 04-08-2019 Acep.: 10-07-2020

Resumen

El conocimiento de la presencia de metales pesados en suelos de zonas agrícolas es importante para prevenir su acumulación en las plantas cultivadas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar las concentraciones totales y las fracciones de los metales pesados Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr y Co de la zona tabacalera Pinar del Río (Cuba) y su relación con las propiedades fisicoquímicas del suelo. Para el estudio fueron recolectadas a 20 cm de profundidad 59 muestras de tres tipos de suelos. Las concentraciones pseudototales de los metales en los suelos son bajas e inferiores a los valores de prevención registrados para suelos cubanos. En general los metales pesados estudiados presentan una alta afinidad por las fracciones más estables del suelo, lo cual significa un bajo riesgo de transferencia al cultivo del tabaco o de acumulación en aguas subterráneas. Las concentraciones pseudototales de metales pesados fueron bajas, inferiores a los valores de alerta establecidos para los suelos en la región. Los metales pesados estudiados estuvieron asociados principalmente con la fracción residual, la segunda fracción de mayor asociación con los metales fue la ligada a óxidos de manganeso y de hierro. El análisis de componente principales mostró que su principal fuente de procedencia es pedogenética y que estos elementos están estrechamente relacionados con la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de calcio.

Palabras clave: disponibilidad, fraccionamiento, metales pesados, suelo, tabaco.

Abstract

Knowledge of heavy metals presence in agricultural soils is important to prevent accumulation in cultivated plants. The objective of this research was to evaluate the total concentrations and fractions of the heavy metals Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, Cu, Cr and Co from Pinar del Río, Cuba, tobacco crop and their relationship with soil physicochemical properties. For the study, 59 samples of three types of soils were collected at 20 cm depth. The pseudo-total concentrations of the metals in the soils are low and lower than the prevention values registered for Cuban soils. In general, heavy metals studied have a high affinity for the most stable fractions of the soil, which means a low risk of transfer to tobacco cultivation or accumulation in groundwater. Pseudo-total concentrations of heavy metals were low, below the alert values established for soils in the region. Assessed heavy metals were mainly associated with a residual fraction, the second fraction with the highest association with metals was that linked to manganese and iron oxides. The principal component analysis showed that its main source of origin is pedogenetics and that these elements are closely related to cation exchange capacity and calcium content.

Key words: availability, fractionation, heavy metals, soil, tobacco.

Introducción

Los metales pesados (MPs) son elementos químicos nocivos para la salud que pueden entrar a la cadena alimentaria con capacidad para acumularse en los organismos vivos (Taghipour et al., 2013). De acuerdo con Kabata-Pendias (2004) los suelos son la principal fuente de entrada de MPs a la planta, tanto por causas naturales como antropogénicas. Otra fuente de acumulación de MPs son los agroquímicos aplicados en los suelos (Amaral Sobrinho et al., 2009), cuya disponibilidad para las plantas está determinada por la forma como se encuentra en el reservorio medioambiental (Gasparatos et al., 2015).

En Cuba existen estudios de la presencia de MPs en los suelos y su fraccionamiento químico (Pérez et al., 2012); no obstante, los suelos de la Llanura Sur de la provincia Pinar del Río, destinados al cultivo del tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), han sido poco estudiados. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar las concentraciones seudototales y el fraccionamiento geoquímico de los MPs: Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, Cu Cr y Co en esta zona y su relación con las propiedades fisicoquímicas de la cobertura edáfica.

Materiales y métodos

Área de estudio y muestreo de suelo

La investigación se realizó en zonas destinadas al cultivo del tabaco en nueve entidades agrícolas representativas, ubicadas en los municipios de Consolación del Sur, Pinar del Río, y San Juan y Martínez, pertenecientes a la llanura sur de la provincia Pinar del Río (Figura 1) en una extensión de 550 km².

En total fueron recolectadas 59 muestras en igual número de sitios (Tabla 1) ubicados en suelos FeRojizo Arralítico Amarillento Lixiviado (FRAL), Alítico de baja actividad arcillosa marillento (ABA-RA) y Arenosol; de acuerdo con la clasificación de Hernández et al. (2015); Acrisol Crómico Férrico, Nitisol Ródico y Arenosol respectivamente, según la IUSS (2007).

Cada submuestra fue tomada en forma aleatoria entre 0 y 20 cm de profundidad en el suelo. La muestra final consistió en 1 kg de suelo a partir de 20 submuestras que fueron secadas al aire, trituradas y tamizadas con un diámetro de 2 mm.

Análisis químico

Para este análisis se utilizó la metodología propuesta por Embrapa (1997). El pH se determinó con potenciómetro en relación

suelo:agua (1:2.5). La materia orgánica (M.O.) se determinó por oxidación húmeda (método-Walkley Black).

Los cationes Ca y Mg intercambiables se determinaron con una solución extractora de KCl 1M y análisis por espectrofotometría de absorción atómica con llama (EAA). La extracción del P asimilable e intercambiable se realizó por el método Mehlich-I con una solución de HCl (0.05 N) y H₂SO₄ (0.025 N). La medición del P asimilable se realizó con el espectrofotómetro UV-VIS; mientras que el K se determinó con el espectrofotómetro de llama Digimed.

Concentraciones seudototales y fraccionamiento de metales pesados

Para determinar las concentraciones seudototales de MPs se tomó 1 g de la muestra de suelo tamizada, digeridas mediante el calentamiento con el Digestor MARS Xpress®, Método USEPA 3051A utilizando agua regia invertida (ISO 11466, 1995). Los extractos resultantes fueron analizados por EAA en un equipo VARIAN-55B donde se cuantificaron los elementos metálicos Cd, Pb, Zn, Fe, Mn, Ni, Cu Cr y Co.

Posteriormente se tomó 1 g de suelo y se realizó la extracción secuencial según el método BCR descrito por Ure et al. (1993) adicionando la fracción hidrosoluble. Las muestras blanco (testigo) sin adición de suelo fueron analizadas empleando el procedimiento anterior para cada etapa de análisis en tres repeticiones. El procedimiento utilizado, los reactivos y las cinco fracciones obtenidas se incluyen en el Tabla 2.

Los contenidos de MPs en los extractos fueron cuantificados con Espectrómetro de Emisión por Plasma (ICP-OES). El límite de detección (LD) del método fue calculado por la media de los valores de los blancos más tres veces la desviación estándar del blanco de todos los análisis (10 repeticiones). Finalmente, se determinó el factor de movilidad (FM) mediante la diferencia de las fracciones lábiles o móviles del metal y el resultado del esquema de extracción completo. Para esto se utilizó la ecuación 1, propuesta por Iwegbue, (2013):

$$FM = \frac{F1+F2}{F1+F2+F3+F4+F5} * 100 \quad \text{Ec. 1}$$

donde, *FM* es el factor de movilidad de las fracciones; *F1...Fn* son las fracciones geoquímicas del metal.

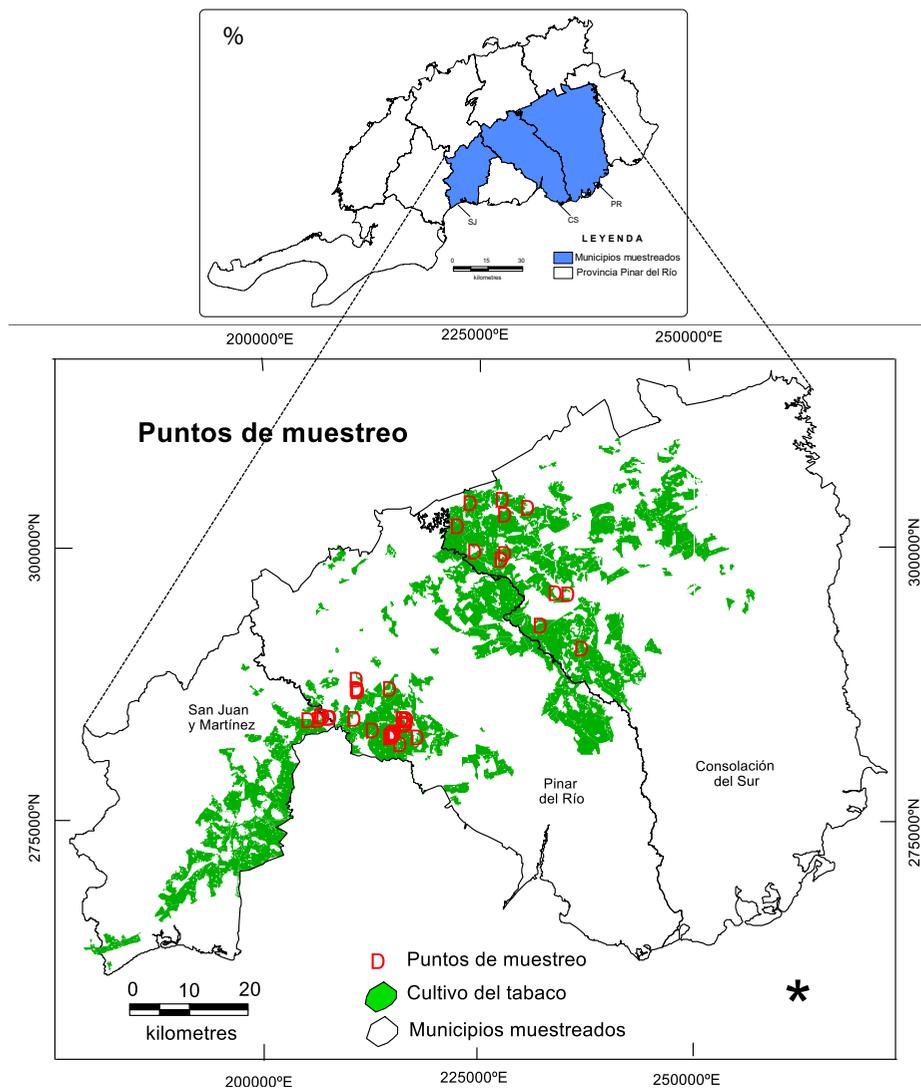


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Tabla 1. Distribución de los sitios de muestreo por tipo de suelo, provincia Pinar del Río (Cuba).

Municipio	Tipo de suelo*	Puntos de muestreo Prof. (0-20 cm)
Consolación del Sur	FRAL	12
	ABA-RA	2
	Arenosol	3
Pinar del Río	FRAL	27
	Arenosol	3
San Juan y Martínez	FRAL	5
	ABA-RA	7
Total	—	59

*FRAL- Ferralítico Amarillento Lixiviado, ABA-RA- Alítico de Baja Actividad Arcillosa Rojo Amarillento.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados por el método descriptivo y análisis multivariado de componentes principales (ACP) (Hair et al., 1999). El procesamiento estadístico se realizó empleando el SPSS v.22 para Windows.

Resultados y discusión

Propiedades del suelo y concentración de metales pesados

Los suelos se caracterizan por su baja fertilidad y contenido de arcilla, el pH ligeramente ácido (5.5 – 6.5) (Mesa et al., 1984) (Tabla 3), contenido de M.O \leq 1% debido laboreo intensivo que ha contribuido a la degradación (García- Carrasco et al., 2014). El contenido de bases cambiables y la capacidad de intercambio catiónico son bajos, lo cual es común en suelos cultivados con tabaco

Tabla 2. Esquema empleado para la extracción secuencial de MPs, según el método BCR.

Fraciones	Reactivos/concentración/pH
F1 - Hidrosoluble	H ₂ O (1 hora)
F2 - Ácido soluble	CH ₃ COOH 0.11 M
F3 - Ligada a óxidos de hierro y manganeso	NH ₂ OH.HC, 0,1 M pH = 2
F4 - Asociada a la M.O.	H ₂ O ₂ 8.8 M (pH=2, T=85°C, 2h) + CH ₃ COONH ₄ 1 M (pH 2)
F5 - Residual o cantidad total*	Agua regia (invertida) 9mL HNO ₃ + 3mL HCl

*F5-Residual se obtuvo mediante la resta de los contenidos de MPs de las cuatro etapas anteriores.

en la provincia de Pinar del Río (Amaro-Aroche y Vitoria-Doria, 2013). Los valores de P soluble son ≥ 45 mg/dm³, como resultante de la aplicación de fertilizantes y la tendencia a la acumulación de este elemento en el suelo (Cánepa-Ramos et al., 2015). Las concentraciones seudototales de los metales estudiados en el suelo son menores que las establecidas como valores de prevención para suelos cubanos (Rodríguez-Alfaro et al., 2015) (Tabla 4).

Con excepción del contenido de Co en el suelo ABA-RA (23 mg/kg), en los demás este metal presentó valores diferentes al valor de prevención (25 mg/kg). El Cd es el metal de menor concentración en el suelo con valores < 1 mg/kg. En este suelo se presentaron valores superiores en todos los casos, lo que puede ser debido a que no obstante tener una textura similar a los demás, presenta un contenido mayor de arcilla. Además, exhibe valores ligeramente más elevados de Fe y Mn. Según Amaral-Sobrinho et al. (2009) los óxidos de Fe y Mn tienen un efecto significativo en la absorción de los MPs.

En el análisis de las concentraciones seudototales de MPs de manera general se encontró que estos elementos están asociados al material parental, los procesos pedogenéticos, y las condiciones geomorfológicas y climáticas de cada región. En estudios similares a la presente investigación, Fässler et al. (2010) y Rashid y Bashir (2012) en suelos destinados al cultivo del tabaco encontraron bajas concentraciones de MPs, con valores inferiores a los de prevención establecidos por las normas de varios países. Al tomar como referencia las concentraciones totales de estos MPs reportados por varios autores, en suelos destinados al cultivo del tabaco, se evidenció que, a pesar del uso intensivo, este cultivo no ha provocado incrementos significativos en las concentraciones de MPs.

El fraccionamiento geoquímico permitió conocer las asociaciones principales de los MPs en el suelo (Figura 2). El patrón de distribución de Cu indicó una mayor asociación con la fracción residual, con valores $> 60\%$, seguido de

Tabla 3. Propiedades físico-químicas de los suelos^a en zonas destinadas al cultivo del tabaco. Pinar del Río (Cuba).

Propiedades	Tipo de suelo ^b		
	FRAL (n=132)	ABA-RA (n=27)	Arenosol (n=18)
pH (H ₂ O)	6.1 \pm 0.80a*	6.4 \pm 0.20a	5.5 \pm 0.20b
MO (%)	0.9 \pm 0.30a	1 \pm 0.20a	0.7 \pm 0.10b
Ca	3.23 \pm 1.57b	7.5 \pm 0.55a	2.49 \pm 0.79b
Mg ²⁺	1.43 \pm 0.80a	1.66 \pm 0.39a	0.6 \pm 0.26b
K ⁺	0.38 \pm 0.24a	0.22 \pm 0.09b	0.23 \pm 0.09b
Al ³⁺	0.42 \pm 1.42	ND	0.20 \pm 0.30
CIC	11.29 \pm 1.72b	14.95 \pm 1.105a	9.74 \pm 1.18c
pH 7.0			
P	177.57 \pm 133.80a	82.24 \pm 7.56b	47.09 \pm 22.15b
Arcilla	8.56 \pm 1.57a	9.20 \pm 2.67a	6.94 \pm 1.46b
Limo	30.43 \pm 9.18a	30.16 \pm 5.24a	28.59 \pm 7.80a
Arena	61.02 \pm 8.88b	60.66 \pm 5.84b	64.46 \pm 8.76a
Clase textural	Franco arenoso	Franco arenoso	Arena arcillosa

^aValores promedios \pm desviación estándar.

* Letras diferentes en la fila indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

^bFRAL- Ferralítico Amarillento Lixiviado, ABA-RA- Alítico de Baja Actividad Arcillosa Rojo Amarillento. CIC- capacidad de intercambio catiónico.

Tabla 4. Concentraciones seudototales de MP en suelos destinados al cultivo del tabaco en Pinar del Río (Cuba).

MPs	Tipo de suelo			Valor de prevención ¹
	FRAL (n=132)	ABA-RA (n=27)	Arenosol (n=18)	
Cu	11.23 \pm 4.8	15.56 \pm 1.24	6.42 \pm 1.20	150
Zn	33.27 \pm 15.83	49.72 \pm 5.56	16.2 \pm 4.80	300
Cd	0.07 \pm 0.09	0.33 \pm 0.04	ND	2
Pb	13.97 \pm 9.04	28.17 \pm 2.94	10.52 \pm 4.83	72
Fe	11.38	19	13.76	-
Mn	335.6 \pm 232.43	1401.37 \pm 315.03	89.82 \pm 49.03	-
Ni	12.4 \pm 6.24	37.88 \pm 5.18	8.9 \pm 1.50	300
Cr	21.58 \pm 12.26	33.31 \pm 4.24	26.4 \pm 7.61	300
Co	5.77 \pm 3.17	22.99 \pm 4.86	3.33 \pm 0.90	25

FRAL- Ferralítico Amarillento Lixiviado, ABA-RA- Alítico de Baja Actividad Arcillosa Rojo Amarillento.

¹Valor de prevención propuesto para suelos cubanos (Rodríguez-Alfaro et al., 2015).

la fracción unida a la M.O. Estos metales pueden encontrarse absorbidos en la superficie de las arcillas de tipo caolinita, en óxidos, o unidos a la M.O. formando quelatos (Chaignon, et al., 2003). En la fracción reducible ligada a óxidos de estos suelos solo se encontró 10% de este elemento; por otra parte, en las fracciones soluble

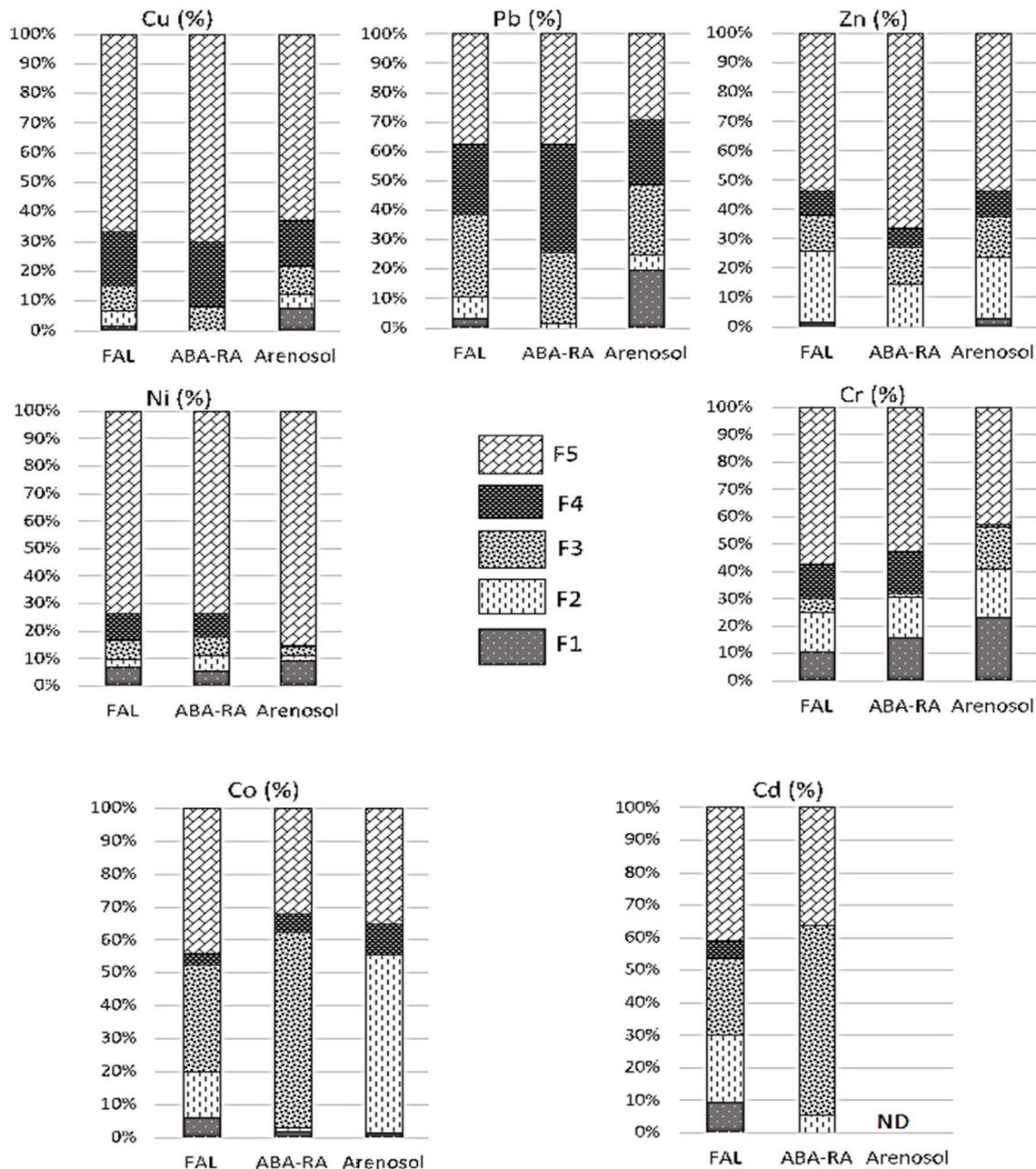


Figura 2. Fracciones de los metales Cu, Pb, Zn, Ni, Cr, Co y Cd en los suelos: FRAL-Ferralítico Amarillento Lixiviado, ABABA-Alítico de Baja Actividad Arcillosa Rojo Amarillento. F1 fracción soluble en agua, F2 fracción ácido soluble, F3 fracción reducible ligada a óxidos de hierro y manganeso, F4 fracción oxidable unida a la materia orgánica y F5 fracción residual. ND- no detectado.

e intercambiables se encontraron porciones muy pequeñas, lo que indica un riesgo bajo de contaminación, si se mantienen las mismas prácticas agrícolas.

El Pb se encontró asociado principalmente con la fracción residual (F5) y unido a la materia orgánica (F4). Li et al. (2007) encontraron bajas concentraciones de este elemento en el suelo, principalmente en la fracción residual. En la medida que las concentraciones totales incrementaron pasaron a la fracción

intercambiable. En la fracción ligada a óxidos de hierro y manganeso (F3) se encontraron valores entre 24 y 28%. Los MPs presentes en esta fracción pueden pasar a formas biodisponibles, si cambian las condiciones de oxidación-reducción (Szolnoki y Farsang, 2013). En las fracciones más lábiles (hidrosoluble y ácido-soluble), los valores encontrados fueron bajos y no superaron 10%, excepto en el Arenosol, donde se registró un valor de 20%; lo anterior puede deberse a que este suelo presenta el pH más bajo (5.5). Se ha demostrado que el pH está negativamente

correlacionado con la movilidad de Pb; ya que en estas condiciones este metal aparece en forma de iones libres, incrementando su biodisponibilidad (Martínez y Motto, 2000; McLaughlin et al., 2011; Zeng et al., 2011).

El fraccionamiento del Zn indicó que este metal está vinculado en más de 50% con la fracción residual. Existe una tendencia de los minerales arcillosos a absorber Zn irreversiblemente por penetración en la red cristalina (Gasparatos et al., 2015), razón por la que el suelo ABA-RA tiene el mayor porcentaje de este elemento. En la fracción unida a la M.O y a óxidos se observaron valores aproximados de 7% y 11%, respectivamente. La fracción ácido soluble (F2) mostró valores superiores a 15%. Estos valores coinciden con los hallazgos de Kennou et al. (2015) en condiciones similares a las de este estudio. La fracción hidrosoluble fue baja con valores < 3%. Los valores bajos en esta fracción son comunes debido a que, en suelos minerales no contaminados el Zn se encuentra asociado principalmente con la fracción reducible unido a óxidos de Fe, Mn y Al y sus formas móviles son menos frecuentes (Iwegbue, 2013; Gasparatos et al., 2015). No obstante, este resultado puede variar si cambian las propiedades del suelo, en especial el pH (Houben, 2013; Kushwaha et al., 2018).

El Ni presentó la mayor afinidad por la fracción residual, con valores elevados superiores a 70% en los suelos estudiados. En suelos no contaminados este metal se encuentra principalmente en esta fracción, lo que indica su procedencia litogénica (Szolnoki y Farsang, 2013; Gasparatos et al., 2015). Sin embargo, la presencia de este elemento en las fracciones más lábiles y biodisponibles (F1 + F2), con valores cercanos a 10%, indicó que este metal presenta riesgos de acumulación en formas disponibles para la planta. En Pinar del Río (Cuba) la mayor parte de Ni se encontró en formas no asimilables por las plantas. No obstante, los suelos de textura arenosa por sus características químicas y físicas mantienen en forma disponible para las plantas una mayor proporción de Ni que en otros tipos de suelos (Muñiz et al., 2015).

El Cr igualmente presentó mayor afinidad por la fracción residual. Este elemento se encontró en bajas concentraciones seudototales (Tabla 4) y su contenido obedece principalmente al material de origen. También se observó cierta afinidad con la fracción ligada a la M.O, siendo el suelo FRAL el de mayor afinidad, con un valor de 20%. Los suelos no mostraron afinidad con la fracción ligada a óxidos. La suma de las fracciones móviles (F1 + F2) mostraron valores cercanos o mayores que 25%; sin embargo, la biodisponibilidad de este elemento generalmente es baja, presentando

valores que no sobrepasan 3% del total en el suelo (Szolnoki y Farsang, 2013).

El Co presentó una tendencia diferente a los demás MPs. La asociación con la fracción residual fue ligeramente inferior a los valores registrados en el resto de los metales, con valores entre 32 y 44%. La fracción unida a la M.O. fue baja en los tres tipos de suelos con valores < 10%. La fracción ligada a óxidos presentó valores elevados en los suelos FRAL (33%) y ABA-RA (59%); sin embargo, en el caso del Arenosol no se observó asociación con esta fracción. Las fracciones que determinan la movilidad del metal (F1 + F2), presentaron valores discrepantes entre los principales tipos de suelo en comparación con otros metales. En el Arenosol el Co mostró la mayor movilidad, con 55% en ambas fracciones, seguido del suelo FRAL con 20%. Estos resultados permiten inferir que en estas condiciones este metal puede representar riesgos de transferencia al cultivo de tabaco o a otras especies cultivadas.

El Cd mostró alta afinidad por las fracciones residual y la reducible unida a óxidos. No obstante, este elemento también mostró una alta asociación con las fracciones más móviles (F1 + F2), con un valor aproximado a 30% en el suelo FRAL. En suelos cultivados con tabaco, Ortega et al. (2013) encontraron que la fracción de Cd era la segunda de mayor concentración y biodisponibilidad, seguida de la fracción unida a carbonatos; en Arenosoles este metal no fue detectado. El Cd en condiciones naturales se encuentra asociado principalmente a los carbonatos y a la fracción orgánica (Rosen y Chen, 2014). El elevado contenido de arena en estos suelos determina la baja reserva y capacidad buffer para retener cationes fundamentalmente el Cd (Freitas et al., 2017).

A partir del análisis de los datos obtenidos se registraron diferencias en el factor de movilidad (FM) de los MPs en estudio, de acuerdo con el orden siguiente: Cd > Cr = Zn = Co > Pb = Ni > Cu (Tabla 5). El FM fue alto para Cd, Cr, Zn y Co con valores superiores a 10%, lo que indica que estos metales potencialmente pueden ser extraídos y acumulados por la planta de tabaco o ser lixiviado en aguas subterráneas como posibles vías de contaminación.

Tabla 5. Factores de movilidad para los metales pesados incluidos en el estudio. Suelos cultivados con tabaco, Pinar del Río (Cuba). (n = 177)

	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr	Co
	%						
Mediana	60a*	8.7c	2.6d	21.8b	8.5c	26.8b	20.6b
RIC ^a	85.7	17.2	6.4	19.0	14.8	38.0	36.4

^aRIC: Rango intercuartil. *Valores seguidos de letras diferentes en la misma fila difieren entre sí (P < 0.05).

Entre los MPs estudiados, el mayor FM (> 50%) se observó en Cd, lo cual indicó que este metal, a pesar de los bajos contenidos seudototales en los suelos, se acumula en formas disponibles para la planta y puede constituir un riesgo para el cultivo del tabaco. El Cd es conocido por ser un elemento más móvil y soluble que muchos otros MPs en el suelo. El alto FM de este metal es común en suelos arenosos, donde predominan las fluctuaciones de pH, siendo este un factor clave en el control de su disponibilidad (Chen et al., 2009). El elevado FM de otros elementos, como el Cr, no es común, siendo este uno de los elementos metálicos más estables en suelos de Cuba. Los resultados del contenido de Cr en las fracciones más lábiles en suelos no cultivados de Cuba no superan 3% del Cr total (Rodríguez-Alfaro et al., 2015).

El Zn igualmente presenta alta movilidad y es uno de los elementos que comúnmente presentan alteraciones en su ciclo biogeoquímico en el suelo, debido a causas antropogénicas (Sposito, 2008). Sin embargo, es esencial para el desarrollo de la planta y no es tóxico en bajas concentraciones. El Co es un elemento que aparece ocluido en minerales secundarios en forma de co-precipitado generalmente con óxidos de manganeso. El elevado FM observado en este estudio puede estar dado por transformaciones en las condiciones del suelo, como los cambios de pH, que provocan la solubilidad de estos precipitados. Las propiedades de absorción iónica de los óxidos de Fe y Mn dependen, en gran medida, del pH (Kabata-Pendias, 2004), es por ello que en el Arenosol (pH 5.5) se registró la mayor cantidad de Co (55%) en las fracciones F1 y F2.

No obstante, la alta movilidad de los MPs antes mencionados, debido a sus bajas concentraciones en el suelo tienen una baja biodisponibilidad para la planta de tabaco. El resto de los MPs presentaron baja movilidad siendo el Cu el elemento de mayor estabilidad en el suelo. La baja movilidad de este elemento es común en suelos minerales con bajo contenido de materia orgánica.

El Análisis de Componentes Principales (ACP) permitió identificar tres componentes, que representaron 78.7% de la varianza total de los datos originales (Tabla 6). El primero permitió explicar el 47.5 % de la varianza total. Las variables que aparecen en este análisis con mayor carga son la CIC y contenido de calcio, además de todos los MPs en estudio, estos últimos con una carga > 0.7, excepto Cu y Cr. La fuente fundamental de estas variables en este componente puede deberse a causas naturales. Los MPs pueden ser adsorbidos en la superficie

Tabla 6. Matriz de componentes rotados y varianza total explicada de las variables en estudio. Pinar del Río (Cuba).

	Componentes		
	1	2	3
M.O	0.167	0.081	0.908
P	-0.237	0.793	0.354
pH	0.400	0.712	-0.310
CIC _{pH=7}	0.735	0.153	0.565
Ca	0.853	0.238	0.184
Ni total	0.943	0.033	0.111
Co total	0.913	-0.035	-0.001
Cd total	0.740	0.354	0.046
Cu total	0.647	0.603	0.257
Zn total	0.716	0.592	0.089
Pb total	0.742	0.379	0.194
Cr total	0.663	0.033	0.051
Varianza total explicada, suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación de cada componente:			
Total	5.705	2.209	1.529
Porcentaje de la varianza	47.540	18.407	12.741
Porcentaje acumulado	47.540	65.947	78.688

de las arcillas, o en oxihidróxidos de hierro y manganeso y también pueden estar presente en la red cristalina de minerales primarios y secundarios tales como carbonatos, sulfatos y óxidos (Kennou, et al., 2015).

Conclusiones

Las concentraciones seudototales de los metales Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Mn, Ni, Cr y Co en los suelos cultivados con tabaco en Cuba son bajas e inferiores a los valores de prevención registrados para estos suelos.

En general los metales pesados estudiados presentan una alta afinidad por las fracciones más estables del suelo (F3, F4 y F5) lo cual representa un bajo riesgo de transferencia al cultivo de tabaco o acumulación en las aguas subterráneas.

La asociación de todos los metales pesados en el componente principal 1 evidencia que su principal fuente de procedencia es pedogenética y que estos elementos están estrechamente relacionados con la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de calcio.

Agradecimiento

Al Departamento de Suelos de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Brasil, y al Convenio CAPES/MES-CUBA por el financiamiento para el desarrollo de la investigación.

Referencias

- Amaral-Sobrinho, N. M. B.; Barra, C.M. y L. Á, O.R. 2009. *Química dos metais pesados nos solos*. In: Melo, V.F.; Alleoni, L.R. *Química e mineralogia do solo: Aplicações*. Parte II. v. 2. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Brazil. p. 249-312.
- Amaro-Aroche, E. J.; Vitoria-Doria, J. A. 2013. Manejo del suelo para una producción sostenible. *Avances*, 15(2),156-265. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5350872.pdf>
- Cánepa-Ramos, Y.; Trémols-González, A. J.; González-Mederos, A.; Hernández-Jiménez, A. 2015. Situación actual de los suelos tabacaleros de la empresa “Lázaro Peña” de la provincia Artemisa. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 78-82. http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36n1/en_ctr10115.pdf
- Chaignon, V.; Sánchez-Neira, I.; Herrmann, P.; Jaillard, B.; Hinsinger, P. 2003. Copper bioavailability and extractability as related to chemical properties of contaminated soils from a vine-growing area. *Environmental Pollution*, 123(2), 229-238. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00374-3](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00374-3)
- Chen, Z.; Zhao, Y.; Li, Q.; Qiao, J.; Tian, Q.; Liu, X. 2009. Heavy metal contents and chemical speciations in sewage-irrigated soils from the eastern suburb of Beijing, China. *Journal of food, agriculture and environment*, 7(3-42), 690-695. https://www.researchgate.net/publication/255613566_Heavy_metal_contents_and_chemical_speciations_in_sewage-irrigated_soils_from_the_eastern_suburb_of_Beijing_China
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA. 1997. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ed. EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, Brasil. 212p. https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/e+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf
- Fässler, E.; Robinson, B. H.; Gupta, S. K.; Schulin, R. 2010. Uptake and allocation of plant nutrients and Cd in maize, sunflower and tobacco growing on contaminated soil and the effect of soil conditioners under field conditions. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87, 339-352. <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9342-z>
- Freitas-Melo, V.; Buschle, B.; Paula-Souza, L. C.; Janice-Bonfleur, E. 2017. Reference values for potentially harmful elements in soils from Atlantic Rainforest, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, 181, 138-147. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.07.009>
- García-Carrasco, M.; Díaz-Pita, A. L.; Valdés-Sáenz, M. A. 2014. El mejoramiento de los suelos: una experiencia desde la agroecología en la Cooperativa de Producción Agropecuaria “Celso Maragoto Lara”. *Avances*, 16 (4), 317-328. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5350836>
- Gasparatos, D.; Mavromati, G.; Kotsovilis, P.; Massas, I. 2015. Fractionation of heavy metals and evaluation of the environmental risk for the alkaline soils of the Thriassio plain: a residential, agricultural, and industrial area in Greece. *Environmental Earth Sciences*, 74, 1099-1108. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4096-1>
- Hair, J. F.; Anderson R. E.; Tatham R. L.; Black W. C. 1999. *Análisis Multivariante*. 5 ed. Prentice Hall Iberia. Madrid. 832 p.
- Hernández, A.; Pérez, J.; Bosch, D.; Castro, N. 2015. *Clasificación de los suelos de Cuba*. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p.
- Houben D. 2013. *Heavy metal mobility in contaminated soils as affected by plants, amendments and biochar Implications for phytostabilization*. Tesis. Universidad Católica de Louvain Bélgica. pp. 220. <http://hdl.handle.net/2078.1/123342>
- International Standards Organization.1995. ISO 11466. International Standard: Soil Quality-Extraction of trace elements soluble in aqua regia. First edition. 6 p. <https://www.iso.org/ics/13.080.10/x/>
- Iwegbue, C. M. A. 2013. Chemical fractionation and mobility of heavy metals in soils in the vicinity of Asphalt plants in Delta State, Nigeria. *Environmental Forensics*, 14(3), 248-259. <https://doi.org/10.1080/015275922.2013.814178>
- Kabata-Pendias, A. 2004. Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue. *Geoderma*, 122(2-4), 143-149. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.004>
- Kennou, B.; El Meray, M.; Romane, A.; Arjouni, Y. 2015. Assessment of heavy metal availability (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn) and speciation in contaminated soils and sediment of discharge by sequential extraction. *Environmental Earth Sciences*, 74, 5849-5858. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4609-y>
- Kushwaha, A.; Hans, N.; Kumar, S.; Rani, R. 2018. A critical review on speciation, mobilization and toxicity of lead in soil-microbe-plant system and bioremediation strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 147, 1035-1045. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.049>
- Li, J. X.; Yang, X. E.; He, Z. L.; Jilani, G.; Sun, C.Y.; Chen, S. M. 2007. Fractionation of lead in paddy soils and its bioavailability to rice plants. *Geoderma*, 141 (3-4), 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.05.006>
- Mesa, A.; Naranjo, M.; Cancio, R.; Martí, A.; Clemente, B.; Suárez, O.; Pacheco, E. 1984. *Manual de interpretación de los índices físico-químicos y morfológicos de los suelos cubanos*. Ed. Ministerio de la Agricultura. Dirección General de Suelos y Fertilizantes: Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. 136pp.
- Martínez, C. E.; Motto, H. L. 2000. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils. *Environmental Pollution*, 107(1), 153-158. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00111-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00111-6)

- McLaughlin, M.J.; Smolders, E.; Degryse, F.; Rietra, R. 2011. *Uptake of metals from soil into vegetables*. pp 325-367. In: Swartjes, F.A. Eds. *Dealing with Contaminated Sites*. Springer, Dordrecht. 1114 p. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9757-6_8
- Muñiz, O.; Rodríguez, M.; Montero A.; Estévez, J.; De Aguiar A. M.; Araujo, C. W. 2015. El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36, 25-33. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v36s1/ctr03s115.pdf>
- Ortega, E.; Lozano, F. J.; Asensio, C. M.; Montoya, S.; Lorenzo, M. L. 2013. Cadmium Distribution in Tobacco Growing Soil Fractions: its influence on dried leaf contents. *Journal of Environmental Protection*, 4, 1-7. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.411A2001>
- Pérez, Y.; Amaral, N.; Balbín, M. I.; Carmenate, R.; Lima, O. 2012. Contenido de elementos metálicos en suelos característicos del municipio San José de las Lajas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 21(1), 43-46. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21n1/rcta08112.pdf>
- Rashid, S.; Bashir, A. 2012. Speciative distribution and bioavailability of metals in agricultural soils receiving industrial wastewater tobacco. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184, 4609-4622. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2289-y>
- Rodríguez-Alfaro, M.; Montero, A.; Muñiz-Ugarte, O.; Araujo-do Nascimento, C. W.; De Aguiar-Accioly, A. M.; Miranda-Biondi, C., Agra-Bezerra da Silva, I. J. 2015. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(1), 4198. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4198-3>
- Sposito, G. 2008. *The Chemistry of Soils*. 2nd Ed. Oxford University Press, New York. 330 p. <https://global.oup.com/academic/product/the-chemistry-of-soils-9780195313697?cc=us&lang=en&>
- Szolnoki, Z.; Farsang, A. 2013. Evaluation of Metal Mobility and Bioaccessibility in Soils of Urban Vegetable Gardens Using Sequential Extraction. *Water, Air y Soil Pollution*, 224,1737. <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1737-4>
- Taghipour, H.; Mosaferi, M.; Armanfar, F.; Gaemmagami, S. J. 2013. Heavy metals pollution in the soils of suburban areas in big cities: a case study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 243-250. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0143-6>
- Ure, A. M.; Quevauviller, P.; Muntau, H.; Griepink, B. 1993. Speciation of heavy metals in soils and sediments. An account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the Commission of the European Communities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 51 (1-4), 135-151. <https://doi.org/10.1080/03067319308027619>
- United States Environmental Protection Agency-U.S. EPA. 2007. Method 3051A (SW-846): Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. Revision 1. Washington, USA. <http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>
- IUSS Working Group WRB. 2007. World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/images/resources/pdf_documents/wrb2007_red.pdf
- Zeng, F.R.; Ali, S.; Zhang, H.T.; Ouyang, Y.N.; Qiu, B.Y.; Wu, F.B.; Zhang, G.P. 2011. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution*, 159(1), 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.09.019>
- Zhou, F; Guo, H. C.; Liu, L. 2007. Quantitative identification and source apportionment of anthropogenic heavy metals in marine sediment of Hong Kong. *Environmental Geology*, 53, 295-305. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0644-7>