Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu

Artículo original

Los ambientes geológicos en la acumulación de metales pesados en suelos de Pinar del Río

José Manuel Febles-González[1*]

A.Y. Martínez-Robaina[2]

Nelson Moura Brasil Amaral-Sobrinho[3]

José Miguel Febles-Díaz[1]

Everaldo Zonta[3]

[1]Universidad de La Habana, Calle 16 no.114 e/1ra y 3ra, Miramar. Playa, La Habana, Cuba, CP 10300
[2]Facultad de Ciencias Forestales y Agropecuarias, Universidad de Pinar del Río, Calle Martí Nº 270 F. Pinar del Río, Cuba, CP 10400
[3]Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro, Seropédica Seropédica-Río de Janeiro, CEP: 23.897-000, Brasil

[*]Autor para correspondencia: febles@rect.uh.cu, jmifebles@cim.uh.cu

RESUMEN

La investigación se realizó en la Llanura Sur de la provincia Pinar del Río con el objetivo de evaluar integralmente los ambientes geológicos de formación de los suelos y su influencia en los procesos erosión–sedimentación-contaminación por metales pesados (MPs), en localidades destinadas al cultivo del tabaco. Con tal fin fueron seleccionadas dos unidades con diversos grados de intervención: la superficie erosiva (unidad Consolación del Sur) y la superficie erosivo–acumulativa (unidades de Pinar del Río, San Juan y Martínez y San Luís). El trabajo de prospección pedológica identificó cuatro tipos principales de suelos que fueron descritos y muestreados a la profundidad de 0-20 cm, para caracterizar las principales propiedades que influyen en la acumulación de MPs en los suelos. El análisis realizado indicó que las condiciones naturales no ejercen una influencia marcada en la acumulación y disponibilidad de MPs, donde los valores de referencia de Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cr y Co son inferiores a los estándares de calidad establecidos para los suelos cubanos.

Palabras clave: tabaco, contaminación, formación de suelo, degradación de suelos

Recibido: 05/11/2019
Aceptado: 12/05/2020

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados (MPs) están presentes en los suelos de manera natural. El aumento en sus concentraciones puede ocurrir por procesos naturales o producto de las actividades antropogénicas [1,2]. La concentración total natural de MPs en los suelos depende, principalmente, del material de origen, de los procesos de formación y la proporción de los componentes de la fase sólida, esta concentración es menos evidente en los suelos que se originan sobre sedimentos [3,4].

La concentración natural de MPs en los suelos tiene dos orígenes principales: la meteorización del material parental en ambiente tropical modulada por distintas manifestaciones de la erosión (actual y geológica) y los procesos de degradación generados por la actividad humana, en especial la agricultura [5]. Los incrementos en las concentraciones por causas naturales están determinados por la composición químico–mineralógica del material pétreo subyacente, así como la dinámica de los procesos pedogénesis–morfogénesis [6,7] donde la fijación por minerales arcillosos y la complejación por la materia orgánica desempeñan un papel fundamental [8,9] (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos de concentraciones de metales pesados en los tipos de rocas más abundantes

Metales pesados	Rocas ígneas			Rocas sedimentarias		
	Ultra básicas	Básicas	Granitos	Caliza	Arenisca	Esquisto
Cd	0.12	0.13-0.2	0.09-0.20	0.028-0.10	0.05	0.20
Co	110-150	35-50	1	0,1-40	0,30	19-20
Cr	2000-2980	200	4	10-11	35	90-100
Cu	10-42	90-100	10-13	5.5-15	30	39-50
Hg	0.004	0.01-0.08	0.08	0.05-0.16	0.03-0.29	0.18-0.5
Mn	1040-1300	1500-2200	400-500	620-1100	4 – 60	850
Ni	2000	150	0.50	7-12	2-9	68-70
Pb	0.10-140	3-5	20-24	5.7-7	8-10	20-23
Sn	0.50	1-1.5	3-3.50	0.5-4	0.50	4-6
Zn	50-58	100	40-52	20-25	16-30	100-120

Fuente: [9]

En este contexto, quedan por precisar aún las regularidades y nexos genéticos de los procesos de sedimentación y contaminación, con las manifestaciones de la erosión de los suelos, sean de carácter geológico en ambientes poco perturbados o inducida por la actividad agropecuaria [10]. Teniendo en cuenta los antecedentes anteriores, este trabajo tiene por objetivo, evaluar integralmente los ambientes geológicos y su influencia en los procesos erosión–sedimentación-contaminación por MPs en los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río.

Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Llanura Sur de la provincia Pinar del Río (Figura 1) en la región conocida como "Macizo Tabacalero de Vuelta Abajo", en la que a nivel local fueron seleccionadas dos unidades representativas de los ambientes histórico – naturales de formación de los suelos en localidades poco perturbadas: la superficie erosiva (unidad Consolación del Sur) y la superficie erosivo – acumulativa (unidades de Pinar del Río, San Juan y Martínez y San Luís).

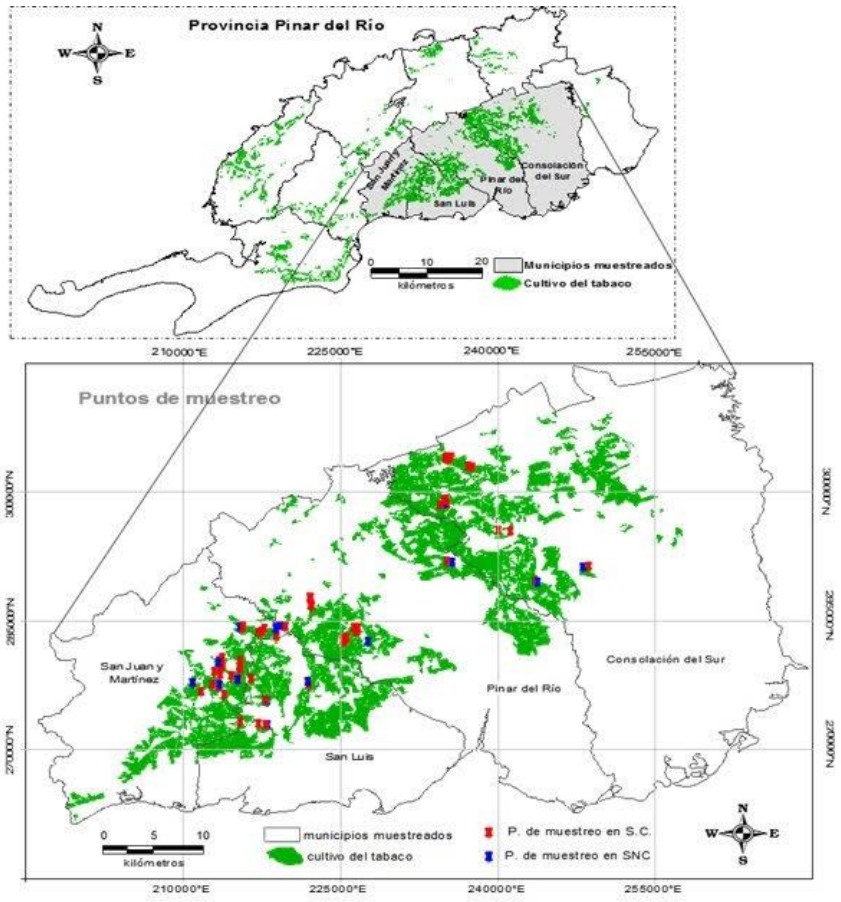


Figura 1. Distribución espacial de los puntos de muestreo de suelos en la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

En las mismas fueron caracterizados doce perfiles principales y se tomaron muestras de suelos en el sector superior, medio e inferior de las flexuras del microrelieve, para examinar mediante el método descriptivo - comparativo a la profundidad de 0–20 cm, la dinámica, manifestación e intensidad de los procesos morfogénéticos, en correspondencia con las variaciones geólogo - geomorfológicas y uso agrícola, que influyen en la acumulación de

MPs en los suelos (Tabla 2). Para el análisis químico y las concentraciones seudototales de MPs fueron colectadas un total de 60 muestras en igual número de puntos de muestreo, en cinco agrupamientos de suelos no cultivados en zonas cubiertas por vegetación espontánea o fragmentos forestales con un determinado nivel de equilibrio morfogenético. La muestra final de 1 kg de suelo, se obtuvo a partir de 20 submuestras tomadas en forma de zig-zag; que fueron secadas al aire, trituradas y tamizadas a un diámetro de 2 mm.

Tabla 2. Clasificación de los suelos de la subregión investigada de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

Nº	Extensión superficial (ha)	Porcentaje del área total	Clasificación Genética Suelos de Cuba [11]	Clasificación de los Suelos de Cuba [12]	Base Mundial de Referencia del Suelo [13]
1	10 026	59,5	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado	Ferralítico Amarillento Lixiviado	Acrisol Crómico,
2	2 608,2	5,12	Ferralítico Cuarcítico Amarillo Rojizo Lixiviado	ABA Rojo Amarillento	Acrisol Alúmico
3	1 609,2	15,5	Arenoso Cuarcítico	Arenosoles	Arenosoles
4	1 237,2	9,54	Aluvial	Fluvisol	Fluvisol
5	863,4	7,34	Pardo con carbonatos	Pardo	Cambisol Eútrico

Fuente: Elaboración propia

Los análisis se realizaron en laboratorios del Instituto de Agronomía de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, Brasil, entre los años 2016 y 2018, según criterios y valores orientadores de calidad de suelos [14]. El pH se determinó con potenciómetro en relación suelo agua 1:2,5. La materia orgánica (M.O) se determinó por oxidación con dicromato de potasio (0,2 mol L^{-1}) en medio ácido, valorándose el exceso con sulfato ferroso amoniacal. El calcio y magnesio intercambiables se extrajeron empleando una solución de KCl 1 mol L^{-1} y el análisis se efectuó por el método complexométrico con EDTA.

La extracción del fósforo asimilable y potasio intercambiable se realizó empleando una solución de Mehlich-1 (HCL 0,05 mol L^{-1} y H_2SO_4 0,025 mol L^{-1}); la lectura se realizó el fotocolorímetro para el fósforo y fotómetro de llama para el potasio. Las evaluaciones se realizaron según el Manual de Abonado y Encalado del Estado de Río de Janeiro [15]. Para determinar las concentraciones seudototales de MPs se tomó 1 g de la muestra del suelo tamizada, digeridas mediante el calentamiento con el Digestor MARS Xpress®, Método USEPA 3051A utilizando agua regia invertida [16]. 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. Para los análisis estadísticos se emplearon la media aritmética y la desviación estándar; la comparación de las medias se realizó mediante las pruebas ANOVA y Tukey ($p < 0,05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia de las condiciones geólogo–geomorfológicas en la acumulación de metales pesados en los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río

La cobertura edáfica "archiva" rasgos y propiedades heredadas de fases climáticas y geológicas pasadas, que no están en equilibrio con los procesos edafogénicos actuales [17], donde la estructura geológica influye en el origen de los MPs presentes hoy día en los suelos de acuerdo a su distribución zonal–espacial (Tabla 3).

Tabla 3. Principales rocas y composición mineralógica de las regiones investigadas

Formación	Litología/diagnóstico	Edad	Espesores
Guane (gne N_2^2 Q_1^1)	Arenas silíceas, arcillas arenosas, gravas (angulosas y subangulosas), débilmente cementadas por arcillas con una estratificación indefinida lenticular.	Plioceno Superior - Pleistoceno Inferior	Puede alcanzar hasta 50 m.
Guevara (gv Q_1^{1-2})	Arcillas plásticas (montmorilloníticas y montmorillonito - caoliníticas), arenas silíceas, gravas finas, fragmentos de corazas ferríticas (hardpan) con una estratificación indefinida, paralela.	Pleistoceno Inferior - Medio.	No excede los 50 m.
Depósitos aluviales y palustres (alQ_2 y pQ_2)	Los depósitos aluviales (alQ_2), están asociados con los valles y terrazas fluviales de ríos y arroyos, constituidos por arenas cuarcíferas principalmente. También se documentan arenas arcillosas y arcillas arenosas con intercalaciones de gravas de variada composición y dimensiones. Los sedimentos palustres (pQ_2) se distribuyen sólo en las zonas costeras, están representados por arcillas y limos carbonatados con restos vegetales.		

Fuente: [18]

Una característica significativa de los suelos, es su tránsito hacia el material basal o corteza de intemperismo subyacente, la cual se asocia con la eluviación de las arcillas a través del perfil en un ambiente de mayor estabilidad (flexuras cóncavas de las microladeras), dinámica confirmada en las observaciones morfólogo–genéticas efectuadas, corroborándose lo planteado anteriormente [19]. En algunos casos estos sedimentos intemperizados ya sea por

su ubicación en el microrelieve o poseer mayor proporción de arcillas están enriquecidos de MPs, por lo que los suelos pueden ser clasificados como "contaminados" [10]. Sin embargo, estas concentraciones fueron encontradas naturalmente o de baja actividad antrópica, debido a la presencia de estos elementos en los minerales constituyentes de las rocas y depósitos eluvio–deluviales característicos de los ambientes geológicos de formación, coincidiendo con estudios realizados previamente en regiones similares [3].

Dinámica pedogénesis–morfogenésis y su influencia en la acumulación de metales pesados

Mediante un análisis integral, se examina la etapa actual de la morfogénesis y en sentido más amplio, la dinámica de algunas de las propiedades de los suelos que, por su bajo contenido de materia orgánica y textura arenosa entre otras características [20], resultan muy erodables, unidas a prácticas de manejo tradicionales que han conducido al progresivo declive de su fertilidad química, física y biológica [21].

En este contexto a partir de la interpretación de las formas del relieve y en particular del balance pedogénesis-morfogénesis fueron diferenciadas dos subregiones: Noreste (superficie erosivo–acumulativa) y Sur (superficie acumulativa) caracterizadas por una evolución paleo geográfica diferente y compleja tanto por las condiciones geólogo – geomorfológicas, como por las condiciones de uso que contemporáneamente han influido en la distribución zonal - espacial de los MPs (Figura 2), caracterizada por presentar variaciones de la cobertura edáfica, en la que se destacan los suelos alítico de baja actividad arcillosa rojo - amarillento (ABARA), Ferralítico Amarillento Lixiviado (FRAL) y Arenosoles, entre otros tipos como el Fluvisol y Arenosol de acuerdo con lo reportado [12].

Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu

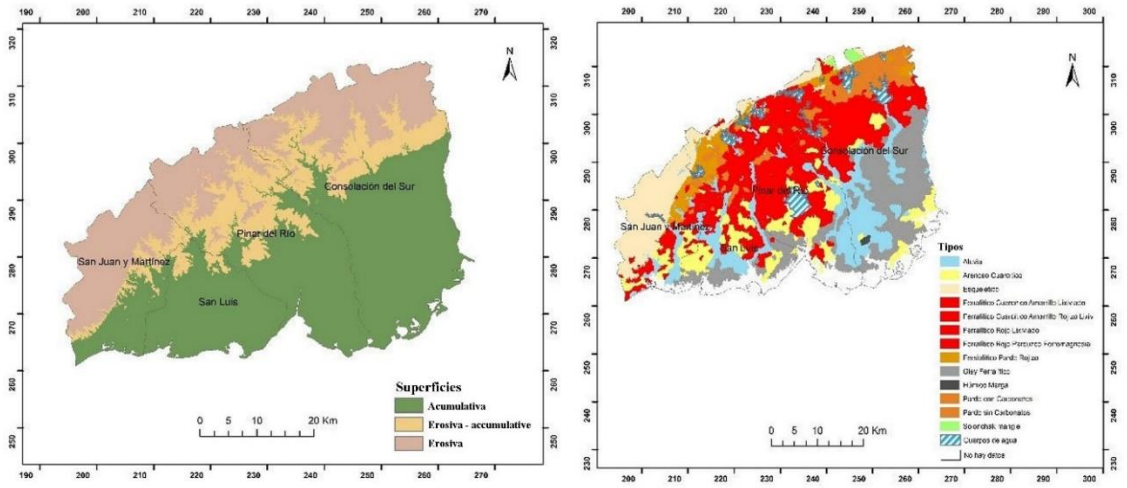
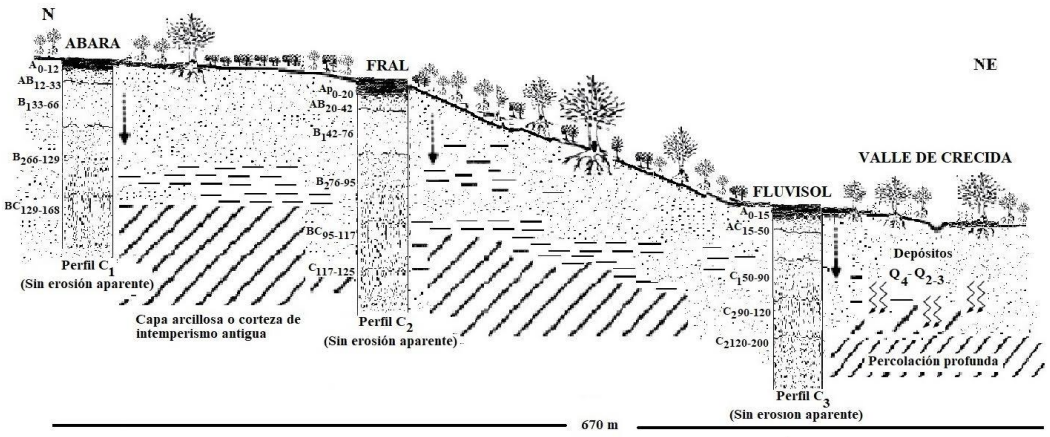


Figura 2. Distribución de los suelos en las principales superficies geólogo - geomorfológicas en la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

Superficie erosivo-acumulativa. Sector superior unidad Consolación del Sur

En la misma se ubican las vertientes más acentuadas tanto por la posición que ocupa en el contexto de la provincia como por los disímiles procesos que se verifican (Figura 3), clasificada como una superficie esparcidora de reptación de acuerdo con [22], donde los procesos de meteorización–erosión han dado origen a cortezas automórficas redepositadas del tipo caolinito–alíticas–férricas a una profundidad entre 40–60 cm, asociadas a mantos de arcillas, cuyos rasgos morfológicos principales se ajustan a un horizonte edáfico de textura ligera, generalmente ácido, poco humificado, de baja capacidad de intercambio catiónico, desaturado con concreciones ferruginosas.



Superficie automórfica. Transitoria – inestable

∅ = 10% Erosión por escurrimiento areal y zanjillos, H = 50 - 100 m

Desmembramiento vertical= 2.5 – 25 m/km^2

Desmembramiento horizontal= 1 m/km^2

Predominio de suelos ABARA

Vegetación natural: Marabú, aroma y pastizales

Superficie semihidromórfica de acumulación

∅ = 8% Erosión por escurrimiento areal y zanjillos, H = 45 – 25 m

Desmembramiento vertical= 2.5 – 25 m/km^2

Desmembramiento horizontal= 1 m/km^2

Predominio de suelos Fluvisol

Vegetación natural: Marabú, aroma y pastizales

Receptora de sedimentos arcillo – arenosos en zonas depresionales

Figura 3. Distribución de los principales suelos en la Unidad Consolación del Sur. Pinar del Río, Cuba

En el desarrollo del perfil han influido causas naturales y factores antropogénicos, que en ocasiones han interrumpido el proceso evolutivo–secuencial descrito, propiciando una combinación de suelos a nivel de tipo genético: Alítico de baja actividad arcillosa rojo-amarillento (ABARA), Ferralítico Amarillento Lixiviado (FRAL) y Fluvisol, donde la diferenciación pedológica es altamente contrastante que se revela por los cambios en la composición químico–mineralógica del material pétreo subyacente y grado de evolución, atendiendo al enclave topográfico que ocupan.

De manera que los perfiles de suelos ABARA y FRAL se distribuyen en un relieve ondulado (Figura 3), donde la configuración espacial de las formas de las pendientes son menos estables (∅=8–10 %; H=50–100 m), mientras que los suelos Fluvisol están básicamente confinados en los valles de crecidas de los ríos y sectores llanos del territorio (∅=2–4 %; H=30–50 m), siendo común los aportes de materiales alóctonos y MPs en el

espesor superior de los perfiles que coinciden con los resultados obtenidos en la Llanura Sur de Pinar del Río [23].

En relación a las propiedades físicas los suelos presentan en general una textura ligera, con porcentaje de arcilla comprendido entre 5–30 % al nivel de los horizontes genéticos $A+B_{0\text{-}50cm}$ que resultan los de mayor importancia para el cultivo del tabaco (Tabla 4), donde el 70–95 % de su masa está constituida por fracciones arenosas, fundamentalmente por caolinita de buena cristalización y en menor proporción illita y vermiculita, con trazas de clorita, siendo una regularidad el aumento de dichos minerales en profundidad de acuerdo a la posición que ocupen en el microrelieve. Este horizonte iluvial eventualmente aflora en superficie cuando la erosión es muy fuerte.

Tabla 4. Propiedades físicas de los principales suelos en ambientes poco perturbados. Localidades del municipio Consolación del Sur

Horizonte/ Profundidad (cm)	Porcentaje de las fracciones en mm					Mg.m^{-3}		Color Munsell
	A. Gruesa 2 - 0.2	A. Fina 0.2 - 0.02	Limo G. 0.02 - 0.01	Limo F. 0.01 - 0.002	Arcilla < 0.002	Densidad Del suelo	Fase sólida	
Perfil C_1 (Sin erosión aparente)								
- ALÍTICO DE BAJA ACTIVIDAD ARCILLOSA ROJO – AMARILLENTO –								
A_1(0 – 12)	0.30	76.10	4.82	5.18	13.60	1.49	2.62	7.5YR 5/7
AB(12 – 33)	2.70	65.80	3.60	6.60	21.10	1.48	2.63	5YR 4/6
B_1(33 – 45)	3.40	53.88	4.12	5.80	32.80	1.49	2.64	7.5 YR 6/8
(45 – 66)	1.60	49.40	5.30	5.90	37.90	1.50	2.66	2.5YR 5/7
B_2 (66 – 96)	0.10	46.42	5.72	7.53	38.87	1.52	2.67	2.5 YR 6/8
(96 – 129)	0.30	47.68	5.72	7.10	39.20	1.51	2.66	2.5 YR 6/8
BC(129 – 168)	0.10	40.50	7.20	7.22	47.00	1.52	2.67	2.5 YR 5/8
Perfil C_2 (Sin erosión aparente)								
- FERRALÍTICO AMARILLENTO LIXIVIADO -								
Ap(0- 20)	31.63	33.47	8.78	10.54	13.56	1.42	2.62	10 YR 6/4
AB(20 -42)	23.23	41.77	8.45	11.13	13.42	1.43	2.63	10 YR 7/5
B_1(42 -76)	20.59	39.29	10.26	11.94	17.90	1.50	2.65	10 YR 7/8
B_2 (76 -95)	34.61	26.04	8.71	12.83	17.81	1.45	2.67	10 YR 6/8
BC(95 – 117)	44.59	23.63	7.77	12.69	19.30	1.48	2.67	10 YR 7/6
C(117 – 125)	48.36	25.45	6.54	12.46	21.19	1.50	2.70	7.8 YR 7/6
Perfil C_5 (Sin erosión aparente)								
- FLUVISOL -								
A(0 -15)	11.02	81.78	0.80	3.50	3.90	1.40	2.67	10 YR6/8
AC(15 – 50)	9.72	74.28	11.10	2.40	2.50	1.42	2.67	10 YR7/9
C_1(50 -90)	13.02	68.28	5.30	0.90	12.50	1.46	2.66	10 YR6/9
C_2(90 – 120)	10.12	67.38	5.12	2.38	15.00	1.42	2.65	10 YR6/10
C_3(120 – 200)	11.03	60.41	5.82	2.73	20.01	1.42	2.67	10 YR6/10

El análisis de las propiedades físico – química y químicas (Tabla 5), denota un valor promedio de la materia orgánica de 3.44 % calificándose de media según [15], donde el suelo ABARA presenta el menor valor como manifestación del desarrollo y mantenimiento de las vertientes, grado de erodabilidad y de uso señalados. La capacidad de intercambio catiónico muestra un valor promedio de 15.69 $cmol_c\ kg^{-1}$ (bajo) en correspondencia con el porcentaje de arcilla y el pH en los primeros horizontes, unido a los contenidos medios de las bases cambiables (fundamentalmente el Ca y Mg) y textura arenosa [23].

Tabla 5. Propiedades físico – químicas y químicas de los suelos en ambientes poco perturbados en la Llanura Sur de Pinar del Río. Cuba

Parámetros	pH	Ca	Mg	K	CIC[1]	M.O[2]	P_2O_5	Arcilla
	(H_2O)	---------- $cmol_c kg^{-1}$----------				%	$mg.kg^{-1}$	%
FRAL (n = 24). Unidades Consolación del Sur – San Juan y Martínez								
Media	6.1	6.83	1.85	0.74	15.68	3.07	95.24	5.9
ABARA (n = 12). Unidades Consolación del Sur – San Juan y Martínez								
Media	7.36	8,2	1.67	0.6	13.38	2.85	45.43	5.3
ARENOSOLES (n = 6). Unidad San Luís								
Media	7.33	10.8	2.8	0.73	17.09	3.22	57.99	4.6
FLUVISOL (n = 18). Unidad Consolación del Sur								
Media	6.99	10.93	1.52	0.76	15.1	4.63	37.48	9.1
Media (n=60)	6,95	9,19	1,96	0,71	15,31	3,44	59,04	6,23
Desv. Est.	0,59	2,01	0,58	0,07	1,54	0,81	25,57	1,99

[1]Capacidad de intercambio cambio catiónico, [2]materia orgánica, Desv. Est. – desviación estándar

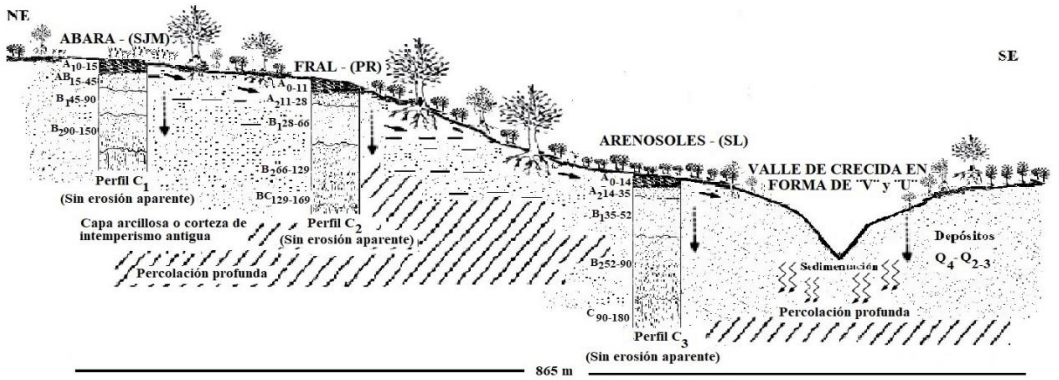
Superficie acumulativa. Sector medio – inferior unidades Pinar del Río, San Juan y Martínez y San Luís

Esta superficie muestra diferencias en las propiedades de los suelos determinadas principalmente por la configuración espacial de las pendientes a nivel de meso y micro relieve (Figura 4), que desde el punto de vista geológico se asocian a la Formación Guane + Guevara [24].

Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu



Superficie automórfica. Transitoria – inestable

Aporta sedimentos. Puede presentar karst cubierto

∅=10 % Erosión por escurrimiento areal, reptación H = 30 - 50 m

Desmembramiento vertical = 2.5–5 m/km^2

Desmembramiento horizontal= 1 m/km^2

Predominio de suelos ABARA

Vegetación natural: Marabú, aroma y pastizales, que actúa como una barrera geológica

Superficie semihidromórfica de acumulación

Acúmulo de sedimentos areno-arcillosos

∅=2-6 % Erosión por escurrimiento areal y sedimentación en los valles de crecidas H=20-30 m

Desmembramiento vertical = <1 m/km^2

Desmembramiento horizontal: 0.5 m/km^2

Predominio de suelos Arenosoles

Vegetación natural: Marabú, aroma y pastizales

Sedimentos arcillo–arenosos (indiferenciados)

Figura 4. Distribución de los principales suelos. Unidades Pinar del Río, San Juan y Martínez y San Luís, Cuba

La misma abarca las unidades (SJM y PR), con una hipsometría comprendida entre H=30–50 m; donde los sedimentos se caracterizan por sus semejanzas morfológicas y texturales, pero con diferentes edades dada la acción conjunta de los procesos de erosión–transporte–sedimentación, con funciones interrelacionadas que representan una barrera geomorfológica, que ha conllevado a una diferenciación de síntesis y descomposición de la materia orgánica, propiciando la formación de los suelos ABARA, FRAL y Arenosoles con un marcado contraste y en estrecha relación con las condiciones litogeomorfológicas, dinámica que se corresponde con las descritas por [25].

Por otra parte, los suelos ABARA y FRAL del sector medio–inferior ocupan la mayor extensión del área (Tabla 6), donde los materiales formadores son consecuencia de la redeposición de eluvios intemperizados que contienen ciertas cantidades de mica, provenientes de los esquistos cuarcíticos de las regiones más altas, mientras que los

Arenosoles se distribuyen en alturas entre 20–40 m y se caracterizan por una diferenciación pedológica de la capa cobertora a nivel de meso relieve en los valles de crecida de los ríos (espacios interfluviales 250–450 m) que interceptan el territorio.

Tabla 6. Propiedades físicas de los principales suelos en ambientes poco perturbados. Municipios de Pinar del Río y San Juan y Martínez y San Luís

Horizonte/ Profundidad (cm)	Porcentaje de las fracciones en mm				Mg.m^{-3}		Color Munsell
	A. Gruesa 2 - 0.2	A. Fina 0.2 - 0.02	Limo 0.02 - 0.002	Arcilla < 0.002	Densidad Del Suelo	Fase sólida	
Perfil C_1 (Sin erosión aparente)							
- ALÍTICO DE BAJA ACTIVIDAD ARCILLOSA ROJO – AMARILLENTO – (SJM)							
A_1 $_{(0 – 15)}$	10.08	62.29	13.33	13.31			7.5YR 5/7
AB$_{(15 – 45)}$	31.57	37.26	7.59	23.62			5YR 4/6
B_1 $_{(45 – 90)}$	5.90	42.12	7.83	44.15			7.5 YR 6/8
B_2 $_{(90- 150)}$	4.05	35.07	8.72	52.16			2.5 YR 6/8
Perfil C_2 (Sin erosión aparente)							
- FERRALÍTICO AMARILLENTO LIXIVIADO – (PR)							
A$_{(0 – 11)}$	1.30	75.10	9.00	12.60		2.60	10 YR 6/4
A_2 $_{(11 – 28)}$	2.60	65.90	10.40	21.10	1.50		9.5YR 7/5
B_1 $_{(28 – 44)}$	3.45	53.44	10.01	33.00	1.66	2.66	9 YR 7/8
$_{(44 – 66)}$	1.50	49.39	11.10	38.00			10 YR 6/8
B_2 $_{(66 – 96)}$	0.11	48.39	12.30	38.60	1.67	2.67	10 YR 7/6
$_{(96 – 129)}$	0.29	48.8	12.11	39.17			
BC $_{129 – 169}$	------	39.5	15.50	45.00	-----	------	7.8 YR 7/6
Perfil C_5 (Sin erosión aparente)							
- ARENOSOLES – (SL)							
A_1 $_{(0 -14)}$	0.40	84.6	5.50	9.50	1.54	2.55	10 YR6/8
A_2 $_{(14 – 35)}$	0.50	88.1	4.40	7.00	1.59	2,60	10 YR7/9
B_1 $_{(35 -52)}$	0.40	86.9	4.20	8.50	1.60	2.60	10 YR6/9
B_2 $_{(52 – 90)}$	1.90	72.3	6.40	19.40	1.60	2.63	10 YR6/10
C$_{(90 – 180)}$	1.90	72.4	3.10	22.60	1.65	2.65	10 YR6/10

En profundidad se manifiesta una reducción del diámetro de los poros al hacerse más compactos originado por las acumulaciones de las fracciones más finas (< 0.002 mm) en el perfil que ocupan el espacio poral a partir de los 50 cm de profundidad (Tabla 6); que limita la penetración de las raíces o lo hacen revistiendo los agregados, comprimiéndose, comportamiento reportado en parcelas de tabaco [(26)].

Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu

Acumulación de metales pesados y su distribución espacial en los principales suelos de la Llanura Sur de Pinar de Río

En cuanto a la procedencia de los principales elementos metálicos ha resultado estratégico considerar la evolución paleogeográfica de la Llanura Sur de Pinar del Río, para conocer los orígenes del comportamiento geoquímico actual de los principales suelos. Una característica frecuente es el tránsito abrupto del horizonte B a la corteza intemperismo antigua (ferralitizada), ya sea *in situ* o redepositada que regularmente constituye el horizonte C de los suelos [27], generalmente de muy poca actividad biológica y en la mayoría de los casos yacente entre los 120 - 150 cm de profundidad.

Las bajas concentraciones naturales de MPs (Tabla 7) se deben a que estos suelos están sustentados fundamentalmente sobre materiales transportados de origen silíceo y arcilla caolinizada que no retienen gran cantidad de cationes metálicos, debido al bajo contenido de arcilla y materia orgánica [28], ya que suelos muy evolucionados y formados bajo fuertes procesos de intemperismo presentan bajas concentraciones naturales de MPs, criterio que coincide con investigaciones similares realizadas [29].

Tabla 7. Valores naturales de MPs en los suelos en ambientes poco perturbado en la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

	Cd	Pb	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Cr	Co
	---------- mg kg^{-1} ----------				------- g kg^{-1}------		----------mg kg^{-1}----------		
FRAL (n = 24). Unidades Consolación del Sur – San Juan y Martínez									
Media	0,02a	7,40cd	8,29a	26,72[a]	9,86c	0,42ab	11,09ab	16,39b	7,06a
Desv. Est.	0,22	4,53	2,49	15,46	2,72	0,41	6,01	6,10	7,46
ABARA (n = 12). Unidades Consolación del Sur – San Juan y Martínez									
Media	nd	14,62bc	10,30a	32,41[a]	14,67bc	0,63a	15,15ab	22,46b	5,60a
Desv. Est.		3,19	1,48	3,12	2,41	0,15	1,50	1,94	0,81
ARENOSOLES (n = 6). Unidad San Luis									
Media	nd	1,72d	9,27a	32,17[a]	19,90b	0,69a	16,02a	19,46b	6,23a
Desv. Est.		2,67	5,31	14,45	6,40	0,20	3,31	24,41	1,42
FLUVISOL (n = 18). Unidad Consolación del Sur									
Media	0,31a	15,29b	12,06a	40,36[a]	15,22bc	0,34ab	12,72ab	27,22b	5,79a
Desv. Est.	0,41	0,28	1,48	5,14	3,17	0,11	2,56	3,11	1,00
[1]SUELOS CUBANOS. (n = 33)									
Media	0,6	50	83	86	-	-	170	150	25

[1]Valores natural promedio de suelos cubanos [15], Medias con letras iguales en la misma columna no difieren entre sí. (Tukey; $p < 0,05$)

El Cr, Ni, Cu, Co y Zn están asociados a minerales primarios o coprecipitados con otros secundarios o fuertemente ligados a óxidos de Fe, Mn y Al, también se acumulan en las zonas donde se producen deposiciones de suelos removidos por procesos de erosión hídrica donde son lixiviados los compuestos metálicos, dinámica que corrobora las investigaciones realizadas en regiones similares [30].

En el caso del Cd las concentraciones son muy bajas, solo se observan ciertas acumulaciones en los suelos FRAL, ABARA y Fluvisol, con valores inferiores a la unidad (Tabla 7). Al comparar las concentraciones de este elemento con los valores naturales promedios reportados para los suelos cubanos [31], se advierte que los suelos del municipio Consolación del Sur poseen concentraciones inferiores de este elemento. El Cu y Zn presentaron los valores más elevados en el Fluvisol sin diferencias con el resto de los suelos, por lo que se puede afirmar que el comportamiento de ambos elementos es semejante.

El Pb muestra un comportamiento heterogéneo, en conformidad con los contenidos de óxidos de Fe y Mn dada su fuerte capacidad para adsorber este elemento; algo similar ocurre con la materia orgánica y las condiciones de pH elevado que favorecen la formación de quelatos estables de Pb, resistentes a la lixiviación (32). El suelo FRAL presenta los valores más bajos de este elemento, situación que se expresa igualmente en su distribución espacial (Figura 5). Los suelos ABARA (14.62 mg kg^{-1}) y Fluvisol (15.29 mg kg^{-1}) presentan contenidos similares, en las unidades de Consolación del Sur–San Juan y Martínez respectivamente, debido a las similitudes entre las características de estos dos agrupamientos en ambas superficies.

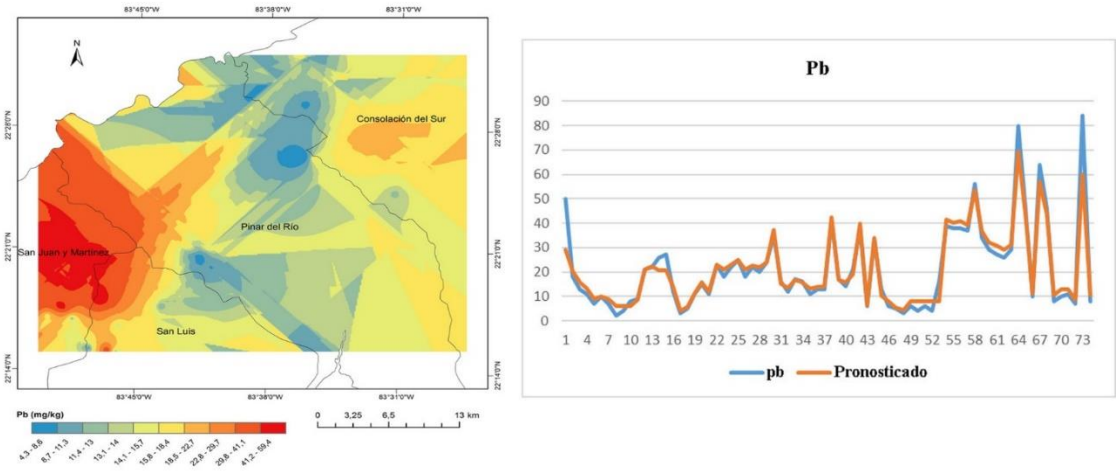


Figura 5. Comportamiento espacial del Pb en los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

Cultivos Tropicales, 2020, vol. 41, no. 2, e05
ISSN impreso: 0258-5936
ISSN digital: 1819-4087

abril-junio
Ministerio de Educación Superior. Cuba
Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas

http://ediciones.inca.edu.cu

Es decir; en los suelos ABARA debido a la posible influencia de la corteza de intemperismo de composición montmorillonítica y montmorillonito–caolinítica, que en ocasiones aflora o se muestra próxima a la superficie producto de la erosión, mientras que en el suelo Fluvisol es resultado del acúmulo de sedimentos de textura areno - arcillosos y arcillo - arenosos con intercalaciones de gravas de variada composición y dimensiones, dado su enclave en las zonas depresionales como ha sido indicado.

Mientras el Fe y Mn mostraron valores elevados y diferentes de acuerdo al tipo de suelo (Figuras 6 y 7), especialmente concentraciones elevadas en suelos FRAL debido a la propia naturaleza del material de origen y proceso de formación; donde estos elementos se encuentran fundamentalmente en forma de óxidos, hidróxidos u oxihidróxidos y están presentes en casi todos los suelos [33].

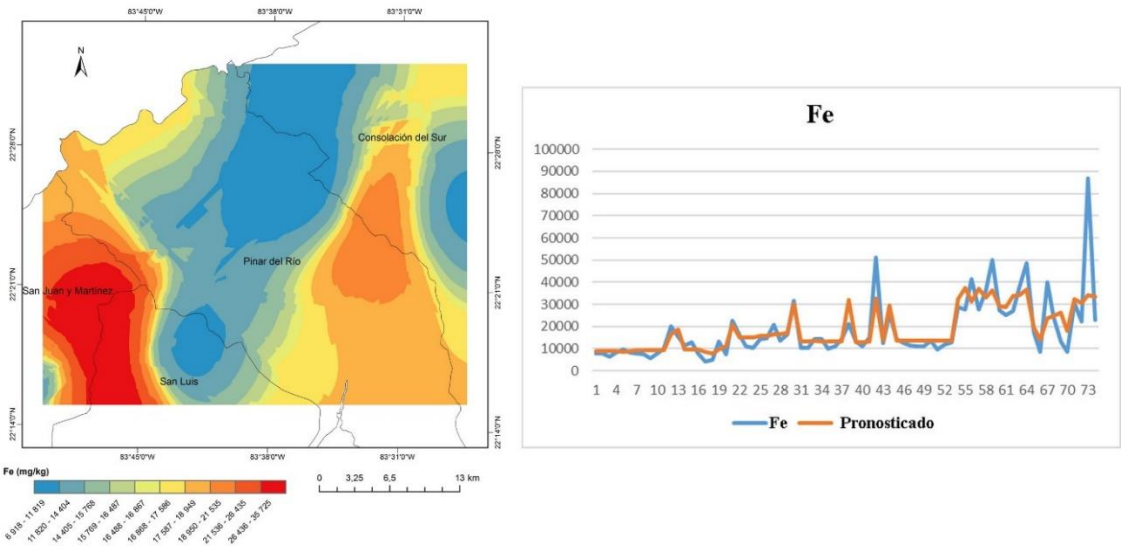


Figura 6. Comportamiento espacial del Fe en los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

En cuanto a su distribución espacial en los suelos los MPs Fe y Mn presentan comportamientos de similares en ambos sectores de la Llanura Sur, al estar sustentados sobre materiales con una composición químico–mineralógica semejante.

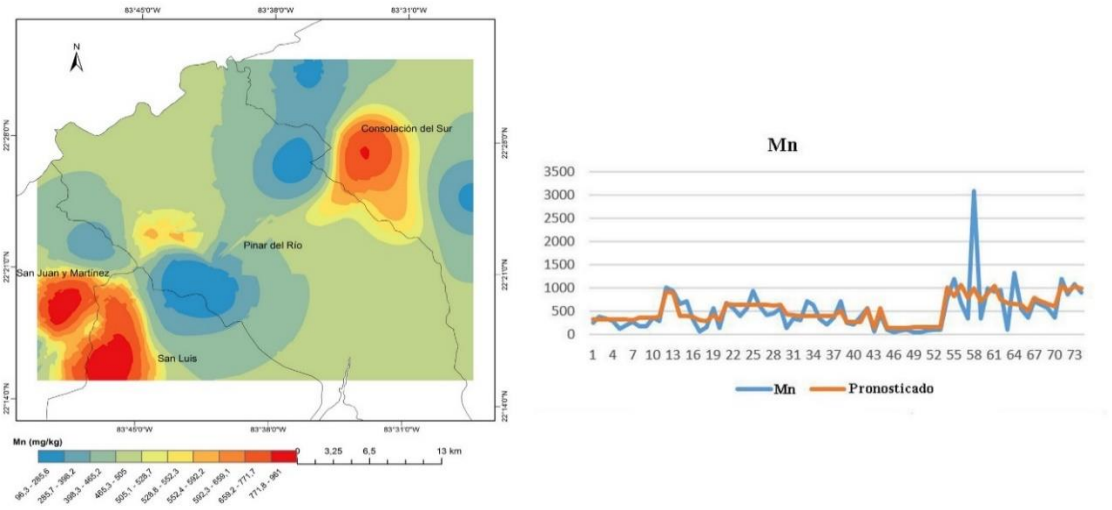


Figura 7. Comportamiento espacial del Mn en los suelos de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba

Este condicionamiento geólogo-geomorfológico ofrece un ambiente favorable para el equilibrio ambiental, siempre que sean adoptadas estrategias agroecológicas para el manejo de los suelos. No obstante, en el "Macizo Tabacalero de Vuelta Abajo" ha representado una práctica común entre los agricultores la recultivación, que consiste en recolectar sedimentos de las vertientes cercanas a los ríos y aplicarlo aguas arriba. Estos sedimentos por lo general están enriquecidos con MPs, compuestos orgánicos tóxicos, nutrientes y materia orgánica, que podrían activar los compuestos tóxicos retenidos, poniendo en riesgo la calidad de las producciones y la salud humana, lo cual se corrobora con lo informado [34] en otras regiones del país.

CONCLUSIONES

- Los ambientes geológicos en la Llanura Sur de Pinar de Río han ejercido tanto en el contexto actual como paleo geográfico, una notable influencia en la composición, distribución espacial y acúmulo de metales pesados, que muestran en general bajas concentraciones naturales en comparación con suelos de otras regiones del país.
- Los resultados de este trabajo constituyen una aproximación para diseñar sistemas de manejo más equilibrados en escenarios de riesgo del macizo tabacalero de la Llanura Sur de Pinar del Río y para otros con características edafoclimáticas y productivas similares.

BIBLIOGRAFÍA

1. Verma P, Agrawal M, Sagar R. Assessment of potential health risks due to heavy metals through vegetable consumption in a tropical area irrigated by treated wastewater. Environment Systems and Decisions. 2015;35(3):375–88.
2. Corrêa RM, Freire MBG dos S, Ferreira RLC, Freire FJ, Pessoa LGM, Miranda MA, et al. Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2009;33(2):305–14.
3. Fadigas F de S, Sobrinho N, do Amaral MB, Mazur N, dos Anjos LH, Freixo AA. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2006;10(3):699–705.
4. Amundson R, Berhe AA, Hopmans JW, Olson C, Sztein AE, Sparks DL. Soil and human security in the 21st century. Science. 2015;348(6235):1261071.
5. Siddiqa A, Faisal M. Heavy Metals: Source, Toxicity Mechanisms, Health Effects, Nanotoxicology and Their Bioremediation. In: Contaminants in Agriculture. Springer; 2020. p. 117–41.
6. Wang F, Guan Q, Tian J, Lin J, Yang Y, Yang L, et al. Contamination characteristics, source apportionment, and health risk assessment of heavy metals in agricultural soil in the Hexi Corridor. CATENA. 2020;191:0341–8162.
7. Yang Y, Yang X, He M, Christakos G. Beyond mere pollution source identification: Determination of land covers emitting soil heavy metals by combining PCA/APCS, GeoDetector and GIS analysis. Catena. 2020;185:104297.
8. Sungur A, Vural A, Gundogdu A, Soylak M. Effect of antimonite mineralization area on heavy metal contents and geochemical fractions of agricultural soils in Gümüşhane Province, Turkey. Catena. 2020;184:0341–8162.
9. Peng S, Wang P, Peng L, Cheng T, Sun W, Shi Z. Predicting heavy metal partition equilibrium in soils: Roles of soil components and binding sites. Soil Science Society of America Journal. 2018;82(4):839–49.
10. Febles G, Amaral S, Pérez L, Zoffoli JH, Magalhães ML, Guedes N. Relation among the processes of erosion-sedimentation-pollution in soils from the Distrito Pecuario" Alturas de Nazareno", Cuba. Cuban Journal of Agricultural Science. 2014;48(2):173–9.

11. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Rivero L, Camacho E, Ruiz J. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos. Ministerio de la Agricultura. AGRINFOR. Ciudad de La Habana, Cuba. 1999;
12. Hernández JA, Pérez JJM, Bosch ID, Castro SN. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA. 2015;93.
13. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Roma; 2015.
14. CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente Resolução n. 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. publicada no Diário Oficial da União em Brasília, DF; 2009.
15. Freire LR. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro. Embrapa Solos-Livro técnico (INFOTECA-E). 2013;
16. Technical Committee ISO/TC 190 S quality. Soil quality: Extraction of Trace Elements Soluble in Aqua Regia. International Organization for Standardization; 1995.
17. Alekseev AO, Kalinin PI, Alekseeva TV. Soil indicators of paleoenvironmental conditions in the south of the East European Plain in the Quaternary time. Eurasian Soil Science. 2019;52(4):349–58.
18. Peñalver-Hernández LL, Alonso JA, Rodríguez García A, Pérez Pupo R, Cruz Dávila F. Sobre la existencia de la Formación Camacho en la llanura sur de Pinar del Río. In: V Congreso Cubano de Geología y Minería, Memorias Geomin. 2003. p. 24–8.
19. Marrero A. Principales tipos de suelos de la cobertura de suelos de la llanura sur de Pinar del Río. [Tesis a Doctor en Ciencias Agrícolas]. [Habana]: Instituto de Suelos, Geografía de suelos; 1984.
20. Téllez OF, García JC, Obregón EF, García AT, Aguilar RL, Muñoz JM. Selección de alternativas en el tratamiento de suelos degradados utilizando métodos multicriterio. La Técnica. 2017;(17):6–17.
21. Hernández JML, Carcedo EC, de la Nuez Hernández E. Influencia de la agricultura de conservación sobre el suelo y el cultivo del tabaco en San Juan y Martínez, Cuba. Avances. 2015;17(4):318–26.
22. Loye A, Jaboyedoff M, Theule JI, Liébault F. Headwater sediment dynamics in a debris flow catchment constrained by high-resolution topographic surveys. Earth Surface Dynamics. 2016;4(2).

23. Robaina M, Yoán A, Febles González JM, do Amaral Sobrinho NM, Benítez Odio M, Morejón García M, et al. Alternancia de cultivos, su efecto sobre el suelo en zonas dedicadas a tabaco negro en Pinar del Río. Centro Agrícola. 2018;45(1):69–77.
24. Estévez Cruz E, Ordaz Hernández A, Hernández Santana JR. Deformaciones neotectónicas en el relieve fluvial de la Llanura Sur de Pinar del Río, Cuba. Investigaciones geográficas. 2017;(94).
25. Jaimez E, Ortega F. Paleorégimen hídrico en suelos con relictos edáficos. In: Implicaciones en la reconstrucción paleoclimática del Pleistoceno superior para Cuba Occidental. IV Congreso de Geología y Minería (CD-Room. Textos/Geología del Cuaternario/210 html). La Habana. 2001.
26. Aroche EJA, Reina EM, Hernández JML. Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado. Avances. 2019;21(1):129–38.
27. Hernández Jiménez A. Pinar del Río-La Habana. Grabacion, Tour 4. La Habana ,Cuba; 1994.
28. Ramírez MGV, Barrantes JAG, Thomas E, Miranda LAG, Pillaca M, Peramas LDT, et al. Heavy metals in alluvial gold mine spoils in the peruvian amazon. Catena. 2020;189.
29. do Amaral Sobrinho NMB, Chagas CI, Zonta E. Impactos ambientais provenientes da produção agrícola: experiências argentinas e brasileiras. Editora Autografia; 2016.
30. Zhang X, Yang H, Cui Z. Evaluation and analysis of soil migration and distribution characteristics of heavy metals in iron tailings. Journal of Cleaner Production. 2018;172:475–80.
31. Muñiz, O, Estévez, J., Quicute, S., Fraser, T, Vega, E., Montero, A. Contenido de metales pesados en áreas de agricultura intensiva de la Habana y Pinar del Río. [Internet]. 2020 Apr [cited 29/04/2020]. Available from: https://www.google.es/search?hl=es&q=Mu%C3%B1iz,+O.,+Est%C3%A9vez,+J.,+Quicute,+S.,+Biart,+M.,+Fraser,+T.,+Vega,+E.,+%26+Montero,+A.Contenido+de+metales+pesados+en+%C3%A1reas+de+agricultura+intensiva+de+la+Habana+y+Pinar+del+R%C3%ADo.+Informe+final+del+proyecto+07+perteneciente+PR-11:+Recursos+Naturales.,+
32. Huang C, Zeng G, Huang D, Lai C, Xu P, Zhang C, et al. Effect of Phanerochaete chrysosporium inoculation on bacterial community and metal stabilization in lead-contaminated agricultural waste composting. Bioresource technology. 2017;243:294–303.

33. Alfaro MR, Montero A, Ugarte OM, do Nascimento CWA, de Aguiar Accioly AM, Biondi CM, et al. Background concentrations and reference values for heavy metals in soils of Cuba. Environmental monitoring and assessment. 2015;187(1):4198.
34. Ugarte OM, Alfaro MR, Álvarez AM, Álvarez JE, de Aguiar Accioly AM, Do Nascimento CWA. El Níquel en suelos y plantas de Cuba. Cultivos Tropicales. 2015;36:25–33.