

BUENOS SUELOS EN EXTINCIÓN: LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS EN EL OCCIDENTE DE CUBA

Autoría principal

Dr. Cs. José M. Febles González¹, Dra. C. Marina B. Vega Carreño².

Colaboradores

Dr. Alfredo Tolón Becerra³, Nelson Moura Brasil do Amaral Sobrinho⁴, Dr. José Somoza Cabrera¹, Dr. José Reinaldo Díaz Rivera⁵.

Entidad ejecutora principal

¹Centro de Investigaciones Marinas (CIM). Grupo de Medio Ambiente, Universidad de La Habana.

²Facultad de Ingeniería Civil, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echevarría”.

Entidades participantes

³Universidad Almería, España

⁴Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro

⁵Universidad de Pinar del Río

Autor para correspondencia

Dr. Cs. **José M. Febles González**. E - mail: febles@rect.uh.cu

Dra. C. **Marina B. Vega Carreño**. E - mail: mvega@civil.cujae.edu.cu

Aporte científico de cada autor al resultado

✓ Dr. Cs. **José M. Febles González** (60%).

✓ Dra. C. **Marina B. Vega Carreño** (40%).

Resumen

La degradación de los suelos se encuentra entre los problemas más apremiantes de la crisis alimentaria mundial y su protección representa un problema de Seguridad Nacional para el país. Investigaciones realizadas en localidades de referencia de las provincias Mayabeque y Artemisa durante los últimos 30 años, han demostrado que los efectos de la antropogénesis intensiva en los suelos Ferralíticos Rojos en regiones de carso llano y de alturas se han incrementado y provocan una degradación intensa, que pudiera conducir a su extinción. Los resultados de la evaluación de la erosión de estos suelos en nuevos ambientes (carso de altura), la predicción de las pérdidas en escenarios futuros, y la obtención de los valores de referencia de contaminación por metales pesados (MP), hasta el presente no definidos para estos suelos en Cuba, permiten relacionar los procesos de erosión – sedimentación - contaminación de la cobertura ferralítica, con lo cual se reivindica y da continuidad a un premio anterior de la ACC (Febles et al., 2010), en el que se concluyó una tendencia a la degradación. Ahora con nuevos enfoques se ratifica, y se demuestra, el avance hacia la extinción de los suelos Ferralíticos Rojos.

Comunicación Corta

Introducción

La degradación constituye un problema fundamental de la agricultura cubana. Algunos suelos al igual que ciertos animales y plantas, están empezando a escasear y amenazan con “extinguirse”. Actuando como los cimientos de los ecosistemas terrestres, los suelos poseen una conexión íntima con las plantas y los animales que soportan. Cuando estos suelos desaparecen, también lo hacen las plantas que vivían en ellos y que no encontraremos en otros ambientes (Amundson, 2003).

Investigaciones realizadas en localidades de referencia de las provincias Mayabeque y Artemisa durante los últimos 30 años, han demostrado que los efectos de la antropogénesis intensiva en los suelos Ferralíticos Rojos en regiones de carso llano y de alturas se han incrementado y provocan una degradación intensa, que pudiera conducir a su extinción. No obstante, la literatura especializada (Instituto de Suelos, 2009), continúa clasificando a los suelos Ferralíticos Rojos o Ferralsol Rhodic en el World Reference Base (2006) como "*no erosionados*", lo cual ha propiciado la degradación secuencial de los suelos más productivos de Cuba, al considerar la profundidad de los horizontes A + B0-50 cm como uno de los índices fundamentales para evaluar los grados de erosión, desestimando la influencia que ejerce la morfogénesis cársica y no aplicar la metodología propuesta por Febles et. al.; (2008) para tales geoecosistemas.

En este trabajo se exponen los resultados de la evaluación de la erosión de estos suelos en ambientes no investigados anteriormente (carso de altura), se realiza la predicción de las pérdidas en escenarios futuros, y se presentan los valores de referencia de contaminación por metales pesados (MP), hasta el presente no definidos para estos suelos en Cuba, que integralmente permiten relacionar los procesos de erosión – sedimentación - contaminación de la cobertura ferralítica, con lo cual se reivindica y da continuidad a un premio anterior de la ACC (Febles et al., 2010), en el que se concluyó una tendencia a la degradación. Ahora con nuevos enfoques y un conocimiento más profundo de la naturaleza de los geoecosistemas cársicos se demuestra, el avance hacia la extinción de los suelos Ferralíticos Rojos.

Objetivo General: Demostrar el avance secuencial de los procesos de degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en el Occidente de Cuba.

Objetivos Específicos: Evaluar integralmente los nexos de los procesos de erosión - sedimentación - contaminación de los suelos Ferralíticos Rojos por metales pesados en localidades de referencia de las provincias Mayabeque y Artemisa.

Desarrollo

Este trabajo tiene como antecedente el premio ACC (Febles et al., 2010), donde se presentaron nuevos aportes para evaluar la sostenibilidad de los suelos en las regiones cársicas de Cuba. Los resultados que ahora se presentan incorporan la aplicación de metodologías de evaluación cualitativa y cuantitativa en ambientes de carso llano y de alturas, la tendencia futura de la degradación y la evaluación de la contaminación por metales pesados para localidades de referencia de las provincias de Mayabeque y Artemisa, que integralmente reivindican el avance de la degradación de los suelos Ferralíticos Rojos y la tendencia a su extinción.

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA CORINE Y EL MODELO MMF (MORGAN, MORGAN y FINNEY, 1984 Y MORGAN, 2001) EN AMBIENTES DE CARSO LLANO Y DE ALTURAS

La aplicación del modelo de erosión MMF (Morgan, Morgan y Finney 1984 y Morgan, 2001), en regiones de carso llano (Febles et al., 2012) reportó por primera vez en Cuba, pérdidas de suelos entre 12,3 – 13,7 t ha⁻¹ año⁻¹, que sobrepasan los valores umbrales permisibles en términos de erosión. Adicionalmente se analizó la variación de los parámetros morfométricos de las dolinas incluidos en el modelo, lo que permitió identificar los principales efectos que tiene su morfología, en la erosión superficial y subsuperficial de los suelos Ferralíticos Rojos.

En las provincias Mayabeque y Artemisa, además del carso llano, se desarrolla también el carso de alturas. En este ambiente no había sido evaluado el proceso de erosión de los suelos Ferralíticos Rojos. En Vega et al. (2011) se presenta una aplicación de la metodología CORINE (1992) mediante la tecnología SIG, para evaluar cualitativamente la erosión de los suelos en las Alturas de Bejucal – Madruga – Coliseo. Se trabajó a escala 1: 25 000 y como resultado se obtuvieron los mapas de los Índices de Erodabilidad, Erosividad, Topográfico y de Erosión Potencial. El mapa de este último índice puso en evidencia una categoría de erosión potencial alta en las alturas cársicas no reportado con anterioridad.

Este resultado de carácter cualitativo fue complementado con la evaluación cuantitativa de las pérdidas de suelo en las Alturas Bejucal – Madruga – Coliseo. Vega et al. (2013) aplicaron el modelo MMF (Morgan, Morgan y Finney 1984 y Morgan, 2001), en esta localidad y estimaron por primera vez en Cuba, la magnitud de pérdidas de suelos con valor promedio de 12.5 t ha⁻¹ año⁻¹ en la vertiente norte de las alturas, lo cual supera los valores umbrales de tolerancia propuestos por la USLE y las tasas de formación de suelos derivados de rocas calizas en Cuba, que afectan la capacidad productiva de los suelos Ferralíticos Rojos en estos ambientes.

Estas investigaciones demostraron objetivamente que los suelos Ferralíticos Rojos tanto en ambientes de carso llano como de alturas experimentan degradación por procesos de erosión hídrica, erosivo - gravitacionales y cársico – erosivo que coexisten zonal y espacialmente. Estos procesos no representan solo una situación actual, sino que se mantendrán activos y reforzados por la actividad antrópica y los eventos meteorológicos extremos asociados al cambio climático.

ESCENARIOS FUTUROS DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS POR EROSIÓN

Febles et al. (2012) consideraron necesario estimar la tendencia del proceso de degradación en los suelos Ferralíticos Rojos como una estrategia de adaptación al cambio climático. Establecieron el pronóstico de las pérdidas de la cobertura edáfica para escenarios futuros (período de 25 y 50 años), a partir del tratamiento estadístico de los datos de pérdidas de suelos a través de las dolinas obtenidos en las investigaciones descritas anteriormente (Tabla 1).

Tabla 1 Pérdidas de suelos Ferralíticos Rojos y grado de riesgo asociado.

No. Dolina	Pérdidas de suelos (mm año ⁻¹)	Riesgo de erosión	Pérdidas de suelos (mm año ⁻¹)	Riesgo de erosión	Pérdidas de suelos (mm año ⁻¹)	Riesgo de erosión
	1986		1997		2009	
1	1,17	Alto	1,31	Alto	1,29	Alto
2	1,35	Alto	1,24	Alto	1,48	Alto
3	1,57	Muy Alto	1,62	Muy Alto	1,73	Muy Alto
4	1,09	Alto	1,04	Alto	1,04	Alto
5	0,73	Tolerable	0,61	Tolerable	0,87	Alto
6	0,69	Tolerable	0,71	Tolerable	0,76	Tolerable
7	0,78	Alto	1,26	Alto	0,88	Alto
8	0,88	Alto	0,73	Tolerable	0,91	Alto
9	0,66	Tolerable	0,74	Tolerable	0,78	Alto
10	0,78	Alto	0,84	Alto	0,90	Alto
11	1,18	Alto	1,48	Tolerable	1,42	Alto
12	0,95	Alto	0,96	Alto	1,05	Alto
13	1,22	Alto	1,33	Alto	1,38	Alto
14	0,75	Tolerable	0,85	Alto	0,95	Alto
15	-----	-----	-----	-----	1,03	Alto
16	-----	-----	-----	-----	2,712	Muy Alto
Media	0,98	Alto	1,05	Alto	1,20	Alto

Se determinó in situ una tasa media de pérdidas de 1,07 mm año⁻¹ en el período 1986 – 2009 en áreas destinadas al cultivo de pastos, que supera los valores umbrales de tolerancia propuestos por la USLE y las tasas de formación de suelos derivados de rocas calizas en Cuba. De acuerdo con esto, el horizonte A inicial de 490 mm de profundidad pudiera reducirse a 450 mm, de continuar esta tendencia en los próximos 50 años (Tabla 2).

Tabla 2 Pronóstico de pérdidas de suelos en los próximos 50 años

Escenario 1986 – 2009 C ₁ (Sin erosión aparente) Horizonte A (0 – 490 mm)	Escenario año 2034	Escenario año 2059
	C ₁ (Erosión moderada) Horizonte A (0 – 221,50 mm)	C ₁ (Erosión severa) Horizonte A (0 – 39,48mm)
	Pérdidas (mm año ⁻¹)	Pérdidas (mm año ⁻¹)
	268,52	450,52

LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS

Los metales pesados (MP) están naturalmente presentes en los suelos. El incremento en su concentración puede ocurrir por procesos naturales o actividades antrópicas lo cual conduce a su degradación. Para evaluar estos efectos Amaral Sobrinho et al. (2013) determinaron las concentraciones de metales pesados: Cu, Zn, Cd, Pb, Ni y Cr en 11 tipos de suelos representativos, en las provincias Mayabeque y Artemisa, para proponer por primera vez en Cuba, los valores de referencia de calidad. Se demuestra que ocurre una gran variación de los tenores naturales de MP en los diferentes tipos de suelos y muchos de los valores encontrados en la cobertura ferralítica están por encima de los reportados por la literatura internacional especializada, particularmente, los

tenores de Cu, Zn, Cd y Pb. Esto indica el peligro que esos elementos representan en la cadena alimentaria.

DINÁMICA DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN - SEDIMENTACIÓN - CONTAMINACIÓN EN SUELOS

Las Alturas de Bejucal - Madruga - Coliseo constituyen la fuente primordial de sedimentos porosos, que secuencialmente descienden hacia los sectores del relieve de menor hipsometría y estabilidad geomorfológica (Vega et al 2013). Se explican las regularidades y nexos genéticos de los procesos de sedimentación y contaminación, con las manifestaciones de los procesos de erosión hídrica, erosivo - gravitacionales y cársico – erosivos. Estos depósitos suelen presentar altas concentraciones de MP desde la propia superficie (nivel 0 - 30 cm), compuestos orgánicos tóxicos, nutrientes y materia orgánica, donde es necesario tener especial cuidado, ya que cualquier acción no controlada podría activar los compuestos tóxicos retenidos en los sedimentos hacia áreas agropecuarias, al acuífero o zonas urbanas, descritos por Febles et al. (2013).

BUENOS SUELOS EN EXTINCIÓN. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS FERRALÍTICOS ROJOS EN EL OCCIDENTE DE CUBA

Las investigaciones realizadas durante los últimos 30 años en regiones cársicas del occidente de Cuba, revelan los efectos de la antropogénesis intensiva y el cambio climático en la evolución espacio - temporal de las propiedades de los suelos Ferralíticos Rojos. La generalidad de los indicadores muestran una evolución secuencial tendente a la degradación: disminución de los contenidos de materia orgánica, aumentos del pH, valores de compactación con umbrales de densidad aparente superiores a 1,34 Mg/m³, reforzamiento de los procesos cársico - erosivos, salinización, contaminación por metales pesados, entre otros, que coexisten zonal y espacialmente, con marcada tendencia a incrementarse y que los colocan en peligro de extinción (Febles et al. 2014). Se pone en evidencia la necesidad de estudiar de manera sistemática los disímiles factores naturales, sociales y económicos que intervienen en la génesis y evolución secuencial de las propiedades de los suelos presentes en estos geoecosistemas e impedir así, que el temible flagelo de la degradación conduzca de manera acelerada a la morfogénesis de los procesos, desde la fase incipiente a la fase paroxismal, adoptando mecanismos genéricos en su dinámica, lo cual representa el punto culminante de la retrogesión y la inercia edafológica. Solamente el cambio de un sistema de agricultura convencional a una estrategia de manejo agroecológico de acuerdo con Febles et al. (2011), podrá proteger a los suelos Ferralíticos Rojos, los más productivos de Cuba.

Referencias

- [1] Alfonso, C. & Monederos M. 2004. *Uso, Manejo y Conservación de los Suelos*. ACTAF. First Edition. 66 pp.
- [2] Angel, J. C., Nelson, D. O. & Panno, S. V. 2004. Comparison of a new GIS-based technique and a manual method for determining sinkhole density: An example from Illinois' sinkhole plain. *Journal of Cave and Karst Studies*, **66**(1), 9-17.

- [3] Ballesta, R.J., Bueno, P.C., Rubí, J.A.M. & Giménez, R.G. 2010. Pedo-geochemical baseline content levels and soil quality reference values of trace elements in soils from the Mediterranean (Castilla La Mancha, Spain). *Central European J. Geosciences* 2:441.
- [4] Baró. E. A. 2011. Los metales pesados en ocho perfiles de un vertisuelo gris amarillento de la zona del oriente de Cuba. Available: <http://www.inica.minaz.cu/trabajos/40ANIVERSARIO/tcc/t03.htm>. [Consulted: 30/03/2011].
- [5] Bellina, N., Vanackera, V., van Wesemaela, B., Solé-Benetb, A. & Bakker, M.M. 2011. Natural and anthropogenic controls on soil erosion in the Internal Betic Cordillera (southeast Spain). *Catena* 87:190.
- [6] Bosch, D., Camacho, E., & Ortega Sastriques, F. 1984. Influencia de las rocas calizas en la génesis de los suelos Ferralíticos Rojos de las llanuras cársicas de Cuba. *Ciencia de la Tierra y el Espacio* 9: 125.
- [7] Camacho, E., Bosch, D. & Pérez, J. M. 1985. Caracterización de una secuencia de suelos ferralíticos del Sur de La Habana, Cuba. *Coloquio Inter. Suelo y Agua. ORSTOM. Paris.* p. 135-150
- [8] Camacho, E., Bosch, D., & Ruíz, J. 1980. Contenido y formas del hierro en suelos ferralíticos rojos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura* 5: 73
- [9] CENHICA. 1997. Bases de datos de lluvia. INRH. La Habana.
- [10] CETESB. 2005. Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências. Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental Available:
- [11] < http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf > [Consulted: February 15, 2006]
- [12] Chaney, R.F. 1991. Sludge utilization, land application and food chain impact. In: *The biocycle to the art and science of composting.* Pennsylvania, J. G. Press. p. 240-253
- [13] Chlopecka, A. 1996. Assesment of form of Cd, Zn and Pb in contaminated calcareous and gleyed soils in southwest Poland. *Sci. Total Envirom.* 188: 253
- [14] Dang, Z., Liu, C. & Haigh, M.J. 2002. Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils. *Environ. Pollut.* 118:419
- [15] Dzulynski, S., Pszczolkowski, A. & Rudnicki, J. 1984. Observaciones sobre la génesis de algunos sedimentos terrígenos cuaternarios del occidente de Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 9: 75-89.
- [16] EAHH. 2003 Características Hidrogeológicas de las Cuencas Habaneras. Empresa de Aprovechamiento Hidráulico Provincia Habana. Dirección Técnica EAHH.

- [17] EMBRAPA 1997. Manual de métodos de análisis de solos. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária .Segunda Ed. Rio de Janeiro. 214 pp.
- [18] Facchinelli, A., Sacchi, E. & Mallen, L. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metalsources in soils. *Environ Pollut* 114:313
- [19] Fadigas, F.S., Amaral Sobrinho, N.M.B. do, Anjos, L.H.C. & Mazur, N. 2010. Background levels of some trace elements in weathered solis from northern region of Brazil. *Scintia A gricola* 67:53
- [20] Fadigas, F.S., Amaral Sobrinho, N.M.B. do, Mazur, N. & Anjos, L.H.C. 2006. Estimation of Reference Values for Cadmium, Cobalt, Chromium, Copper, Nickel, Lead, and Zinc in Brazilian Soils. *Soil Sci. and Plant Analysis* 37: 945
- [21] FAO-UNESCO. 1989. Carte mondiale des sols. Légende révisée. Rapport sur les ressources en sols du monde. FAO, Rome, 125 pp
- [22] Febles-González, J. M., Tolón, A., Vega, N., Amaral Sobrinho N. M. B., Tolón-Becerra, A. & Lastra-Bravo, X. B. 2012. Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba. *Land Degradation & Development*. doi: 347 10.1002/ldr.2184.
- [23] Febles-González, J. M., Amaral Sobrinho N. M. B., Balbín, M. I., Neira Seijo, X. & Pérez, Y. 2010. Buenos suelos y suelos "vírgenes" en extinción. In: IX Congreso de SEAE "Calidad y seguridad alimentaria". Lleida.
- [24] Febles-González, J. M., Tolón, A., Vega, N., Amaral Sobrinho N. M. B., Tolón-Becerra, A. & Lastra-Bravo, X. B. 2012. Soil loss from erosion in the next 50 years in karst regions of Mayabeque province, Cuba. *Land Degradation & Development*. doi: 347 10.1002/ldr.2184.
- [25] Febles, J. M, Tolón, A. & Vega, M.B. 2009. Edaphic indicators for assesment of soil erosion in karst regions, province of Havana, Cuba. *Land Degradation and Development* 20: 522
- [26] Febles, J.M., Vega, M., Febles-Pérez, G., 2008. Integrating system of qualitative and quantitative methods to assess the erosion of the soils in the karstic regions of cattle rearing use in Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science* 42 (3), 315–319
- [27] Filgueiras, A.V., Lavilla, I. & Bendicho, C. 2004. Evaluation of distribution, mobility and binding behaviour of heavy metals in surficial sediments of Louro River (Galicia, Spain) using chemometric analysis: a case study. *Sci. Total Environ.* 330: 115
- [28] Guerasimov, I. P. 1983. El concepto de suelo "cuerpo natural" y su derivados "suelos-régime", "suelo-reproducibilidad" y "suelo-memoria" *Pochvovedenie* 4: 205
- [29] Guzmán, A.R. 2010. Caracterización agroecológica y procesos morfogénicos actuantes en áreas agrícolas contaminadas con metales pesados en el municipio de San José de las Lajas. III Taller Nacional de Biorremediación

- [30] Hernández, A., Cabrera, A., Ascanio, M., Morales, M. & Rivero, L. 1999. Claves para la nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba (Amaral Sobrinho et al., 2009).
- [31] Herrera SM. 1996. Estudio agroclimático de las áreas cañeras del CAI "Hector Molina Riaño" al Sur de la Provincia de la Habana. M.Sc. Thesis, Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez: Havana.
- [32] INSMET 2012. Datos climáticos. Centro de clima. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba
- [33] Instituto de Suelos. 1973. Génesis y Clasificación de los Suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. 370 pp.
- [34] Jaimez ES. 2006. Los suelos del Parque Nacional Viñales. Pinar del Río. Cuba. Condiciones genéticas y ambientales. Cuadernos Geográficos 38: 195–205.
- [35] Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants. 1 Ed. Boca Raton, CRC Press. 315 pp.
- [36] Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants. 1 Ed. Boca Raton, CRC Press. 315 pp.
- [37] Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 1984. Trace elements in soils and plants. 1 Ed. Boca Raton, CRC Press. 315 pp.
- [38] Kirkby, M.J. & Morgan, R.P. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa, México. 375 pp.
- [39] Lal, R. 1990. Soil erosion in the tropics. Principles and management. McGraw-Hill, Inc. New York, 580 pp.
- [40] Lima-Magalhães. M., Febles-González, J. M., Pérez, Y., Nascimento. J. & Amaral-Sobrinho, N. M. B. 2010. Valores de concentrações naturais de Cd, Cu, Pb, Ni e Zn em dois tipos de solos de Cuba. *Bragantia*, 62(2), 151-159
- [41] Llópiz N. 1982. Fundamento de hidrología cársica. Introducción a la geoespeleología. Ed. Pueblo y Educación. Ciudad de la Habana. 269.
- [42] Milligan, G.W. & Cooper, M.C. 1985. An examination of procedures for determining the number of cluster in a data set. *Psychometrika*, Williamsburg 50:159
- [43] Molerio-León, L. F. & Guerra-Oliva, M. G. 1981. Notas sobre la problemática hidrogeológica de la porción oriental del polje Jaruco-Aguacate, provincias Habana y Matanzas. *Archivo del Instituto Nacional Recursos Hidráulicos*. La Habana. 60 pp. 392
- [44] Monroe, J. S., R. Wicander, R. & Hazlett, R. 2007. Physical geology. Exploring the Earth. Thomson Brooks/Cole 725 pp.

- [45] Morgan, R.P. 1997. Erosión y conservación del suelo. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 343 pp.
- [46] Muñiz, O., Estevez, J., Quicute, S., montero, A., Fraser, T. & Vega, E. 2006. Extracción de Ni y Cd por la patata cultivada sobre suelo Ferralsol Ródico de la provincia Habana. In: Medio Ambiente en Iberoamérica. Visión desde la Física y Química en los albores del siglo XXI. Tomo III. Juan Gallardo (Ed) Badajoz, España. p. 261-266
- [48] Muñiz, O., Molina, J., Estévez, J., Quicute, S., Vega, A., Montero, I. & Padilla, R. 2000. Contaminación por metales pesados en algunos de los agroecosistemas cubanos 2000. Technical report. Archivo del Instituto de Suelos. 44 pp.
- [49] Lamoureux, M. 1972. Etat et comportement du fer dans les sols formés sur roches carbonatées au Liban. Science du Sol 1: 85
- [50] Gutierrez R, Rivero F. 1975. Estudio geológico de la zona de Callajabos Madruga Habana. Serie Geografía 12: 12–16.
- [51] Morgan RPC, Morgan DDV, Finney HJ. 1984. A predictive model for the assessment for soil erosion risk. Journal of agricultural engineering research 30: 245–253.
- [52] Morgan, R. P. C, Morgan, D. D. V. & Finney, H. J. 1984. A predictive model for the assessment for soil erosion risk. J. Agric. Eng. Res. 30: 245
- [53] Febles, J.M., 1988. La erosión de los suelos en las regiones cársicas de la provincia de La Habana. Tesis Doctoral. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba.
- [54] Febles, J.M. & Febles, J.A. 1988. Las causas, factores y procesos que intervienen en la erosión acelerada de los suelos. Monografía. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez". 63 pp.
- [55] Luizao, F., Luizao, R. & Chauvel, A.1992. Premiers résultats sur la dynamique des biomasses racinaires et microbiennes dans un Latossol d' Amazonie centrale (Brésil) sous foret et sous paturage. Cah. Cahiers ORSTOM. Série Pédologie, XXVII(1-2) , 69-386 79. 38
- [56] Gounou, E. 1997. Aplicación del enfoque morfoedafológico al estudio de la variabilidad de algunos suelos en un geosistema cársico (La Habana, Cuba). Ph. D. Thesis. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez".
- [57] Marín, B., Valladon, M., Polve, M. & Mónaco, A. 1997. Reproducibility testing of a sequential extraction scheme for the determination of trace metal speciation in a marine reference sediment by inductively coupled plasma-mass
- [58] Jaimez Salgado, E., & Ortega Sastriques, F. 2001. Paleoregimen hídrico en suelos con relictos edáficos. Implicación en la reconstrucción paleoclimática del Pleistoceno Superior para Cuba Occidental. CD-ROM. Congreso Geología

- [59] Morgan, R. P. C. 2001. A simple approach to soil loss prediction. A revised Morgan–Morgan–Finney model. *Catena* 44:305
- [60] Lobo, D., Lozano, Z. & Delgado, F. 2005. Water erosion risk assessment and impact on productivity of a Venezuela Soil. *Catena* 64:297
- [61] He, Z. L., Yang, X. E. & Stoffella, P. J. 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, v.19, n. 2-3. Pp. 125-140
- [62] Febles, J.M. 2007. Integración de métodos para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársicas de Cuba. PhD Thesis. Universidad Agraria de La Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. La Habana, Cuba
- [63] Febles-González, J. M. 2011. Metodología para caracterizar la contaminación de los suelos en las regiones cársicas de la provincia La Habana: fase de campo. In: III Taller Nacional de Biorremediación. La Habana.
- [64] Febles-González, J. M. 2011. Metodología para caracterizar la contaminación de los suelos en las regiones cársicas de la provincia La Habana: fase de campo. In: III Taller Nacional de Biorremediación. La Habana. 341
- [65] Febles-González, J. M., Vega, M. B., Tolón-Becerra, A. 2011. Edaphic Indicators for 355 Assessment of Soil Erosion in Karst regions, province of Havana, Cuba. *Land 356 Degradation and Development*, 21(5), 522-534.
- [66] Izquierdo, R., Chirino, E., Obregón, A., Frómata, E. & Díaz, A. 1990. El complejo de absorción en una secuencia de suelos Ferralíticos Rojos de las alturas de Cacahual, Cuba. *Cultivos Tropicales* 12:9 ISO 11466. 1995. International
- [67] Muñiz, O., Molina, J., Quicute, S. & Estévez, J. 2001. Heavy metal pollution in a Rhodic Ferralsol of Cuba. In: Horst, W.J. (eds). *Plant Nutrition. Food Security and Sustainability of Agroecosystems*. Kluwer Ac. Press, Netherland 92:994
- [68] Núñez, J. E.V., Amaral Sobrinho, N.M.B. & Mazur, N. 2006. Sistema de preparo do solo e acúmulo de metais pesados no solo e na cultura do pimentão (*Capsum annum* L.). *Ciência Rural*. Santa Maria. 36: 113
- [69] Orellana, R.G. & Moreno, J. 2001. Susceptibilidad de los suelos cubanos a la degradación. *Memorias XV Congreso Cubano de las Ciencias del Suelos*. La Habana, Cuba
- [70] Ortega Sastriques, F. 1984. Las hipótesis paleoclimáticas y la edad de los suelos de Cuba. *Ciencias de la Agricultura* 21: 46
- [71] Paneque J, Fuentes E, Mesa A, Echemendía A. 1991. El Mapa Nacional de Suelos Escala 1:25 000. In XI Congreso Latinoamericano y II Congreso Cubano de la Ciencia del Suelo. Cuba: Proceedings: Havana.

- [72] Rodriguez, L., Ruiz, E., Alonso-Azcarate, J. & Rincon, J. 2009. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb–Zn mine in Spain. *J. Env. Management.* 90:1106
- [73] Sahuquillo, A.; López-Sánchez, J.F.; Rubio, R.; Rauret, G.; Thomas, R. P.; Davidson, C. M.; Ure, A. (1999) : Use of certified reference material for extractable trace metals to assess sources of uncertainty in the BCR three-stage sequential extraction procedure. *Analytica Chimica Acta.*, 382 ; .317-327.
- [74] Sastre, I., Vicent, M.A., Lobo, M.C. 2001. Behavior of cadmium and nickel I a soil amended with sewage sludge. *Land degradation and development.* 12: 27
- [75] Soil Survey Staff. 1990. Keys to soil Taxonomy. Virginia Polytechnic Institute and State University. 422 pp. *spectrometry. Anal. Chim. Acta.*342: 91-112
- [76] Spiridonov A, Busto R, Mateo J. 1976. Las morfoestructuras de la provincia La Habana. *Serie Geografía* 12.
- [77] Tricart J, Kilian J. 1979. *L'écogéographie et la`me`nagement du milieu naturel.* Ed. Maspero. Paris. 3 19.
- [78] Utermann, J., Düwel, O. & Nagel, I. 2006. Contents of trace elements and organic matter in European soils. In: B. M. Gawlik and G. Bidoglio. Eds *Background values in European soils and sewage sludges. Results of a JRCcoordinated study on background values.* Available: <[http:// www.jrc.ec.europa.eu](http://www.jrc.ec.europa.eu)> [Consulted: October 10, 2012].
- [79] Vega, M.B. & Febles, J.M. 2006. Evaluation of the rainfall erosion in cattle regions from the central part of Havana province. *Cuban J. Agric. Sci.* 40:203
- [80] Vega, M.B. 2006. Evaluación de la erosión de los suelos en las regiones cársicas de La Habana mediante el nuevo método EVERC. PhD Thesis. Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría”. La Habana, Cuba
- [81] Vega-Carreño, M. B., Febles-González, J. M., Tolón-Becerra, A. & Lastra-Bravo, X. B. 2011. Potential soil erosion assessment through the CORINE methodology in cattle districts of the Mayabeque province. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 45(4),
- [82] Wang SJ, Liu QM, Zhang DF. 2004. Karst rocky desertification in southwestern China: Geomorphology, landuse, impact and rehabilitation. *Land Degradation Development*, 15: 115–121
- [83] World Reference Base. 2006. Mapa Mundial de Suelos, escala 1: 30 000 000. World Soil Resources. FAO, EC, ISRIC

La novedad e impacto científico de los resultados

1. **Impacto ambiental:** Se demuestra el avance secuencial de los procesos de degradación de los suelos Ferralíticos Rojos en el Occidente de Cuba en diferentes ambientes (carso llano y de alturas), con la integración de los procesos de erosión - sedimentación - contaminación por metales pesados en localidades de referencia de las provincias Mayabeque y Artemisa.

2. **Impacto social:** Se establece que cualquier acción no controlada sobre la cobertura ferralítica podría activar el desplazamiento de los compuestos tóxicos retenidos en los sedimentos hacia áreas agropecuarias, los acuíferos o zonas urbanas densamente pobladas, con impacto negativo en la cadena alimentaria.

Publicaciones

- ✓ *Land Degradation & Development* (2012). Editorial John Wiley & Sons Ltd. Manchester, England. wileyonlinelibrary.com. DOI: 10.1002/ldr.1089
- ✓ *Cuban Journal of Agricultural Science* (2011). Volume 45, Number 4, 423-428, ISSN 0034-7485
- ✓ *Cuban Journal of Agricultural Science* (2013). Volume 47, Number 1, 67-73, ISSN 0034-7485
- ✓ *Land Degradation & Development* (2012). Editorial John Wiley & Sons Ltd. Manchester, England. wileyonlinelibrary.com. DOI: 10.1002/ldr.2184
- ✓ *Cuban Journal of Agricultural Science* (2013). Volume 47, Number 2, 209-216, ISSN 0034-7485
- ✓ *Cuban Journal of Agricultural Science* (2013). Volume 48, Number 2, 173-179, ISSN 0034-7485
- ✓ *Revista Soil Science* (2014). Copyright © 2014 by Lippincott Williams & Wilkins.
- ✓ *Land Use Policy*. (2011). doi:10.1016/j.landusepol.2011.12.008. 28 723–735 (ISSN: 0264-8377). Editorial Elsevier Sci. Ltd. England.